Milton Teodoro Terán Espinoza

INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE MECATRÓNICA: DISEÑO EXPERIMENTAL DE UNA MÁQUINA DE DIRECCIONAMIENTO POR TRES EJES (CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA TRES DIMENSIONES CNC 3D)

Trabajo de Conclusión de Carrera (TCC) presentado como requisito parcial para la obtención del grado en Ingeniería de Gestión Tecnológica de la Facultad de Administración de Ciencia y Tecnología Especialización Sistemas

UNIVERSIDAD DEL PACÍFICO

Cuenca, 2014

TERÁN, Milton T., Investigación en el área de Mecatrónica: diseño y construcción experimental de una maquina de direccionamiento por tres ejes (control numérico por computadora tres dimensiones CNC 3d). Cuenca: UPACÍFICO, 2014, 186P. Ing. Paul Turcotte (Trabajo de Conclusión de Carrera -TCC presentado a La Facultad de la Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la Universidad Del Pacífico).

Resumen: En los últimos tiempos más a menudo se vienen utilizando los sistemas de automatización de todo tipo, incluido en todos los campos de producción industrial, de la medicina, aeroespacial y en especial militar. En este ámbito se encuentra La Mecatrónica, por medio de software serán codificados punto por punto enviados al decodificador de la maquina y convertido en movimiento cinético, dando como resultado una máquina que esculpe o imprime objetos en sus tres dimensiones de la misma manera que una impresora de papel imprime objetos en sus dos dimensiones. Como diseñar y construir una unidad que demuestre el funcionamiento teórico del diseño propuesto con disponibilidad a ponerla a producir.

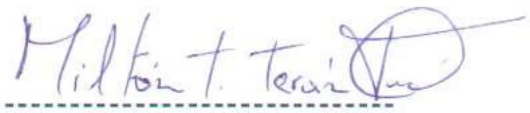
Palabras Claves: Mecatrónica, Cinemática, CNC, Control, Numérico, Computadora, EMC2, Mecanizado.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Milton Terán Espinoza declaro ser el autor exclusivo del presente trabajo de conclusión de carrera.

Todos los efectos académicos y legales que se desprendieren de la misma son de mi responsabilidad

Por medio del presente documento cedo mis derechos de autor a la Universidad Del Pacífico para que pueda hacer uso del texto completo del Trabajo de Conclusión de Carrera a título "**INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE MECATRÓNICA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN EXPERIMENTAL DE UNA MAQUINA DE DIRECCIONAMIENTO POR TRES EJES (CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA TRES DIMENSIONES CNC 3D)**" con fines académicos y/o de investigación



Milton Terán Espinoza
Estudiante de la Universidad del Pacifico cede Cuenca
Cuenca-Ecuador
2014

CERTIFICACIÓN

Yo, Paul Turcotte, Docente de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Del Pacífico, como Director del presente Trabajo de Conclusión de Carrera, certifico que el señor, egresado de ésta institución, es autor exclusivo del presente trabajo, el mismo que es auténtico, original e inédito

---

Ing. Paul Turcotte
Director del presente Trabajo de Conclusión de Carrera
Cuenca-Ecuador
2014

DOCUMENTO DE CONFIDENCIALIDAD

Al presentar este Trabajo de Conclusión de Carrera como uno de los requisitos previos para la obtención del grado de Ingeniería Comercial de la Universidad Del Pacífico, hago entrega del documento en ciernes, a la Biblioteca de la Universidad para que haga de este trabajo investigativo un documento disponible para su lectura.

El estudiante ha certificado estar de acuerdo en que se realice cualquier consulta de este Trabajo de Conclusión de Carrera dentro de las Regulaciones de la Universidad, según como lo dictamina la L.O.E.S. 2010 en su Art. 144.

Conforme a lo expresado, adjunto a la presente, se servirá encontrar cuatro copias digitales de este Trabajo de Conclusión de Carrera para que ingresen a custodia de la Universidad Del Pacífico, los mismos que podrán ser utilizados para fines académicos y de investigación.

Para constancia de esta declaración, suscribe

Mauricio Martinez E

Econ. Abg. Mauricio Martínez E. MAEE
Decano Facultad de Negocios y Economía
Universidad Del Pacífico

Fecha:	Cuenca, 2014
Título Tesis:	Investigación el Área de Mecatrónica: Diseño Experimental De una Máquina De Direccionamiento Por Tres Ejes Control Numérico por Computadora Tres Dimensiones CNC 3D.
Autor:	Terán Espinoza Milton Teodoro
Tutor:	Ingeniero Turcotte Paúl
Miembro del Tribunal:	Ingeniero Webster Oswaldo
Fecha de sustentación y/o fecha calificación:	Octubre de 2013

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi familia.

Por haberme apoyado a lo largo de toda mi trayectoria académica, por sus consejos, valores y amor que me han motivado siempre a seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento:

A mi familia por el apoyo y colaboración en la realización de la presente investigación.

A LA UNIVERSIDAD DEL PACÍFICO – ESCUELA DE NEGOCIOS, y mis profesores quienes sembraron conocimiento durante mi trayectoria universitaria.

RESUMEN EJECUTIVO

La Mecatrónica es una disciplina de ingeniería poco conocida para la gran mayoría pero con grandes ventajas una vez aplicada en todos los campos de la producción e investigación, aventajando al ser humano y por mucho en agilidad, velocidad y precisión pero además librándolo de situaciones potencialmente peligrosas.

Se trata de socializar el conocimiento a cerca de los sistemas de automatización que mas a menudo se los está utilizando incluido en todos los campos de producción industrial, de la medicina, aeroespacial y en especial militar. En este ámbito se encuentra La Mecatrónica, se propone un diseño desarrollado por el autor en su totalidad encaminado a la comunidad estudiantil y de aficionados a la Mecatrónica sin perder ninguna de las características de rendimiento, es decir de tipo industrial .Su funcionamiento parte desde un software; serán codificados punto por punto de una imagen 3D enviados al decodificador de la maquina y convertido en movimiento cinético, dando como resultado una máquina que esculpe o imprime objetos en sus tres dimensiones de la misma manera que una impresora de papel imprime objetos en sus dos dimensiones. Como diseñar y construir una unidad que demuestre el funcionamiento teórico del diseño propuesto con disponibilidad a ponerla a producir.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS 1

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES 5

INTRODUCCIÓN 9

CAPÍTULO I 11

LINEAMIENTOS DEL PROYECTO 11

I.A. Problema 11

I.B. Objetivos 13

I.B.1. General 13

I.B.2. Específico 14

I.C. Justificación 15

I.C. 1. Oportunidad del objetivo 15

I.C.2. Viabilidad del objetivo 15

I.C.3. Importancia del objetivo 16

I.D. Presupuesto e hipótesis 17

I.E. Metodología a utilizar 17

I.E.1. Plan o delineamiento de la investigación 17

I.E.2. Recursos 18

Tabla 1 Detalle de Recursos económicos 19

CAPÍTULO II 20

DESARROLLO DEL CONTROL NUMÉRICO 20

II. A. Explicación de control numérico como antecesor de CNC 20

II. B. Inicios de (CN) 21

II. C. Los primeros indicios de automatización 22

II. C. 1. Sistema de levas 22

II. C. 2. La aplicación de la hidráulica 23

II. C. 3. Servomecanismos 24

II. D. Diseños de los comandos de movimiento por CN 25

II. E. Codificación 28

CAPÍTULO III 33

CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO 33

III. A. Inicios de control numérico computarizado CNC 33

III. B. CNC a investigadores individuales 35

III.C. CNC Software 35

III.C.1. EMC2 35

III.C.2. Software Mach3 38

III.D. Código G 39

CAPÍTULO IV 43

LA MÁQUINA CNC 43

IV.A. Aspectos técnicos 44

IV.A.1. Selección de Software de control 44

IV.A.2. Selección de Software CAD (Computer Aided Design) 46

IV.A.3. Selección de Software CAM (Computer Aided Manufacturing). 47

IV.A.4. Selección de Software CNC 48

IV.B. Colisión de máquina 51

IV.C. Límites de ejes 52

IV.D. Control de laso abierto 52

IV.E. Control de laso cerrado 54

IV.F. Reacción con fuga (Backlash) 55

IV.F.1. Husillo o tornillo 56

IV.G. Tornillo de bolas (Ballscrew) 59

IV.G.1. Tuerca con retorno externo 61

IV.G.2. Tuerca con retorno interno de botón 63

IV.G.3. Tuerca con retorno de tapas finales 63

IV.H. Funcionalidad del tornillo de bolas 64

IV.H.1. Fabricación 65

IV.I. Características ventajas y desventajas 66

IV.I.1. Ventajas 66

IV.I.2. Desventajas 66

IV.J. Husillo de rodillos 67

IV.K. Piñón y cremallera 69

IV.L. Correa de distribución 73

IV.L.1. Construcción 74

IV.M. Rieles o guías lineales de cojinete 77

IV.M.1. Rodamiento lineal de bolas 78

IV.M.2. Cojinetes de bolas 81

IV.M.3. Cojinete de rodillos 82

IV.M.4. Deslizante de cola de Milano 84

CAPÍTULO V 88

DISEÑO DE LA MÁQUINA CNC 88

V.A. El Diseño de la estructura 89

V.B. Diseño bases de ejes 91

V.C. Cabeza cortante 92

V.D. Diseño de recorrido de ejes 93

V.E. Diseño de los actuadores 94

V.E.1. Construcción de mi propio tornillo de bolas recirculantes 97

V.E.2. Tornillo completo y listo para ser instalado en un actuador 106

V.F. Diseño final de la máquina (Versión digital en CAD 3D) 107

CAPÍTULO VI 112

LA ELECTRÓNICA INVOLUCRADA 112

VI.A. Tarjeta de distribución (Breakout Boards) 112

VI.A.1. Aisladores ópticos u opto acopladores 115

VI.B. Controladores (drivers) 121

VI.B.1. Controlador de tipo de dos niveles (Drivers BILEVEL) 126

VI.B.2. Paso completo 127

VI.B.3. Medio Paso (HALF-STEP) 128

VI.B.4. Micro Paso (MICRO-STEP) 128

VI.C. Motor Paso a Paso 128

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 132

BIBLIOGRAFÍA 135

ANEXOS 139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Sistema de software de CNC (Milton Terán) 46

Ilustración 2 Conjunto de tornillo de bolas 61

Ilustración 3 Tuerca con retorno externo 62

Ilustración 4 Tuerca con retorno interno de botón 63

Ilustración 5 Tuerca con retorno de tapas finales 64

Ilustración 6 Husillo de rodillos 69

Ilustración 7 Piñón y Cremallera 72

Ilustración 8 piñones duales con precarga 73

Ilustración 9 Una correa de distribución 76

Ilustración 10 uso de la correa de tiempo ''hobby'' 77

Ilustración 11 Rodamiento lineal de bolas recirculantes 79

Ilustración 12 Partes internas de Rodamiento lineal..... 79

Ilustración 13 estructura de rodamiento lineal..... 80

Ilustración 14 Ensamble de Riel y Rodamiento 80

Ilustración 15 Cojinete de bolas con Riel perfil 82

Ilustración 16 Cojinete de Rodillos 84

Ilustración 17 Cola de Milano (Dovetail)..... 86

Ilustración 18 Cola de Milano..... 87

Ilustración 19 Conjunto deslizante eje X, Y o Z 88

Ilustración 20 tres ejes en el espacio tridimensional 89

Ilustración 21 Estructura de la Maquina 90

Ilustración 22 Base de riel de ejes..... 92

Ilustración 23 Router cabeza cortante..... 93

Ilustración 24 Mesa en eje X. 94

Ilustración 25 Diferencia entre tornillo de bolas y uno normal 96

Ilustración 26 modelo de tornillo cotizado por Hiwin 96

Ilustración 27 Conjunto de sinfín..... 98

Ilustración 28 Maquina de corte con piedra..... 99

Ilustración 29 Arreglo de sinfín y tuerca 100

Ilustración 30 Control de profundidad 101

Ilustración 31 ángulo de corte y profundidad 102

Ilustración 32 Filo cortante de la piedra 103

Ilustración 33 Abrillantado y calzado de rodamientos de fijación 105

Ilustración 34 Tornillo de bolas recirculantes construido en la cochera equivalente a MT2510 x 2.500.0 milímetros..... 106

Ilustración 35 Actuador de eje 107

Ilustración 36 DISEÑO FINAL 108

Ilustración 37 Diseño Vista frontal 109

Ilustración 38 Diseño vista posterior 110

Ilustración 39 Diseño vista lateral..... 111

Ilustración 40 Tarjetas de distribución directa sin control de seguridad 113

Ilustración 41 tarjeta con aisladores ópticos u opto acopladores de seguridad 113

Ilustración 42 Esquema de cableado con fuentes de poder separadas 114

Ilustración 43 Esquema de cableado con distribución de poder por la tarjeta 117

Ilustración 44 Esquema de cableado seleccionado 120

Ilustración 45 Sistema de motor de pasos 122

Ilustración 46 Controlador [KL-11080 8 Amp. Bipolar Stepper Motor Driver] 123

Ilustración 47 Motores Paso Paso, desde la parte superior: Nema 23, Nema 34, Nema 34 130

Ilustración 48 Motor Paso a Paso desarmado, Nema 34 de 1200 oz/in. Hibrido de dos fases..... 131

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos más a menudo se vienen utilizando los sistemas de automatización, en todos los campos de producción industrial, de la medicina, aeroespacial y en especial el militar. En este ámbito se encuentra La Mecatrónica. Es un sistema de control automatizado por medio de computadora, que tiene características que lo hacen muy interesante y apreciado por las instituciones dedicadas al desarrollo de proyectos avanzados de aplicación industrial.

El mundo de la computadora en su expresión general mueve literalmente nuestro modo moderno de vida y su continua evolución no hace más que internarse mas y mas en nuestra forma de vida y aunque la interacción máquina hombre ha sido típicamente sonido e imagen últimamente es cada vez mas del tipo cinético en el que ya nos entrega movimiento físico de alta precisión por medio de dispositivos mecánicos en el cual parecen fundirse en perfecta armonía el software con el hardware mecánico (Mecatrónica).

Como estudiante de la facultad de Administración de Ciencia y Tecnología, y como tesis de grado realizo este proyecto de investigación, del tipo experimental en el área de Mecatrónica y CNC acrónimo de: (control numérico computarizado) que comprende el diseño de un dispositivo de control por medio de software con disponibilidad para aplicación en cualquier campo que requiera control de la cinética. Maquinaria de

fabricación industrial en la que se produzca prototipado de partes, el control de la cabeza cortante sería cedido a una computadora entonces el modelo o plano inicial de la parte será digitalizado y reducido a una colección de puntos en el espacio tridimensional llamados coordenadas de tres ejes los cuales por medio de software serán codificados punto por punto y enviados al decodificador de la maquina y convertido en movimiento cinético dando como resultado una máquina que esculpe o imprime objetos en sus tres dimensiones de la misma manera en como una impresora de papel imprime objetos en sus dos dimensiones.

Y como parte de la experimentación fabricar una unidad que demuestre el funcionamiento del diseño propuesto con disponibilidad a ponerla a producir. El diseño de la máquina será orientada a la industria de la madera en cuyo caso usaré una cabeza de corte llamada Router (tupi). Además de elaborar el documento de seguimiento con planos y diseños de las partes físicas (hardware) y experimentación en campo.

CAPÍTULO I

LINEAMIENTOS DEL PROYECTO

I.A. Problema

Desde los principios de los tiempos, el hombre ha tratado de alivianar la carga de trabajo mediante la aplicación e invención de todo tipo de formas de ayuda y una de las más destacadas ha sido la maquinaria. Diseñadas y construidas sobre la base de tecnologías disponibles y al alcance de quienes las concebían y utilizaban como herramienta de trabajo, de esta forma los seres humanos estamos en una búsqueda constante de nuevas tecnologías para la aplicación en dispositivos que realicen tareas especificas en reemplazo del esfuerzo humano y en muchos casos imposible de lograr sin la ayuda de las tecnologías. La aparición más marcada se da en la época de la revolución industrial y desde entonces se vienen creando sistemas cada vez más sofisticados.

Inicialmente las tecnologías metalúrgicas dieron paso a la invención de sistemas de mecanización de metales (herramientas de corte), en cuyos procesos se requiere de muy alta precisión para la fabricación de maquinaria industrial. De esta necesidad de precisión surgen los primeros sistemas de control para el movimiento de piezas y partes de maquinarias de producción y desde entonces han ido adquiriendo avances significativos en sus tecnologías.

En el siglo pasado estos mecanismos de control ya poseían cierto nivel de automatización y se basaban en engranajes, levas y palancas; que son netamente mecánicos.

A mediados del siglo XX con la introducción de los sistemas eléctricos, los CNC alcanzaron una mayor versatilidad, pero aún tenían una programación netamente mecánica. Todo esto cambio con la electrónica de transistores y los sistemas programables de tipo digital, dando paso así a la Mecatrónica actual.

En la actualidad con el uso de computadoras con gran capacidad de peocesamiento con software especializado, las posibilidades han dado un salto en la viabilidad de aplicaciones de los sistemas de control de lo que sea requerido. Sin embargo estas tecnologías siguen limitadas a pocas personas, con los recursos y conocimientos encadenados a instituciones de investigación, de desarrollo del sector militar y las grandes corporaciones de produción afines. Por lo cual los dispositivos, como resultado; son muy complejos y con costos de producción exorbitantes, es así que para obtener una maquina que opere con CNC requiere de una muy fuerte inversión. Esto realmente presenta un problema para quienes quieren emprender proyectos de automatización en cualquier ámbito.

Por esta razón me propongo diseñar de forma sistemática un prototipo y basándome en la investigación de campo llegar a desarrollar un método que haga frente a los problemas mencionados.

I.B. Objetivos

I.B.1. General

Los dispositivos de control computarizado siguen siendo poco comprendido por la población en general y muy limitadamente por el sector tecnológico puesto que se trata de la fusión de varias ciencias no muy integradas hasta el momento por esto me dispongo a investigar y experimentar en base a las tecnologías disponibles y con un diseño que abarque la Mecatrónica en sus principios básicos de tal forma que cualquier estudiante de este campo pueda en base a mi investigación fabricar una unidad siguiendo los pasos y diseños creados por el investigador.

Tomar la Mecatrónica como ciencia y orientarla a la comunidad estudiantil general para despertar interés en los estudiantes de las diferentes ramas afines y las que puedan beneficiarse de este tipo de automatización y control, llevando a cabo investigaciones en campos tan generales como la búsqueda, selección, comparación y sustitución de materias primas, componentes y tecnologías para la fabricación de cada dispositivo que forman parte de cualquier maquinaria de la Mecatrónica.

Generar además conciencia en la posibilidad de la automatización de procesos en cualquier tipo de producción en la que se requiera un alto grado de precisión, repetitividad y velocidad, en la que se superará al ser humano por mucho. Cabe denotar que a diferencia de la mano de obra directa de una persona, esta podría ser reemplazada en su totalidad en el sitio al utilizar sistemas mecatrónicos con conexión a distancia, como dispositivos que se desempeñen en lugares donde físicamente un ser humano no podría estar y en algunos casos a distancias tan grandes como otro planeta, todo depende del modo de conexión.

Sistemas de automatización están siendo probados por todo el mundo a nivel de instituciones sin embargo ya hay interés en esferas más pequeñas y con la elaboración de este proyecto se trata de llevarlo al alcance de la comunidad estudiantil de pregrado y de aficionados al campo de la Mecatrónica.

I.B.2. Específico

La investigación propuesta de tipo científica en la que no solo se hará un estudio empírico sino generar soluciones basadas en la creatividad, innovación y mejora continua de sistemas de control y automatización de procesos industriales, diseñar un dispositivo controlado por medio de software a partes mecánicas con un propósito específico, en este caso, una maquina que talle la madera con controles de movimiento en tres direcciones con todas las combinaciones posibles en el espacio tridimensional. Es así que desde un programa de diseño asistido por computadora o CAD se envía el

archivo de una foto en 3D a la computadora cargada con un software especializado de control y conectada a la maquina, al ejecutar el archivo la maquina corte en la madera la imagen tridimensional. Además la fabricación de cada componente requerido para este fin y por supuesto gestionar tecnologías existentes para incorporarlas al proyecto.

I.C. Justificación

I.C. 1. Oportunidad del objetivo

Porque en la actualidad se sigue exponiendo al ser humano a situaciones de trabajo extremadamente peligrosas con resultados poco precisos, es necesario para eso minimizar el riesgo laboral pero a su vez maximizar la producción, para eso la tecnología tiene la respuesta.

La Mecatrónica es una disciplina de ingeniería poco conocida para la gran mayoría pero con grandes ventajas una vez aplicada en todos los campos de la producción e investigación, aventajando al ser humano y por mucho en agilidad, velocidad y precisión pero además librándolo de situaciones potencialmente peligrosas.

I.C.2. Viabilidad del objetivo

Para la realización de este proyecto he analizado los puntos que lo integran, desde el diseño, la experimentación de campo, la mecánica la electrónica, el

software y la construcción de componentes propuestos los cuales a su vez encierran todo lo antes mencionado a nivel individual. Razón por la cual el diseño lo he adaptado a las posibilidades que están al alcance del entorno actual del campo tecnológico, facilitando así la viabilidad de realizar el proyecto porque el diseño está orientado a partes, materias primas y componentes al alcance del estudiante común.

I.C.3. Importancia del objetivo

La Mecatrónica proporciona eficiencia en la complejidad de los dispositivos mecánicos a los proyectos de emprendimiento moderno convirtiéndose en un elemento de competitividad esencial en la actualidad, aun que sea una disciplina relativamente joven se encuentra muy desarrollada y sigue avanzando cada vez más para formar parte de proyectos muy avanzados de organizaciones de investigación normalmente de gobiernos. No obstante unas pocas corporaciones ya desarrollan proyectos de maquinaria para el uso industrial, de la medicina, de satélites en sus controladores de movimiento cinético para posicionamiento, desplazamiento o colocación gracias a la posibilidad de control por telecomunicación.

En un futuro no muy lejano incluso los aparatos de uso cotidiano tendrán cierto grado de control computarizado por medio de actuadores. Tanto es así que hoy por hoy en las industrias modernas sus plantas están automatizadas hasta el grado más posible y a nivel de telecomunicación.

I.D. Presupuesto e hipótesis

Como estudiante de ingeniería esta disciplina que abarca y fusiona en sinergia las ingenierías de mecánica, electrónica, diseño y tecnologías de la información valiéndome del conocimiento adquirido a lo largo de la carrera en la Universidad del Pacífico, me siento fascinado por lo que hay un profundo interés en experimentar con esta disciplina para enfocar su potencial de aplicación a la vida cotidiana.

Demostrar así que es posible a nivel de estudiante el diseño y construcción de un dispositivo Mecatrónico, y que no necesariamente está restringido a grandes proyectos manejados por organizaciones o corporaciones.

I.E. Metodología a utilizar

Este trabajo es de tipo teórico-práctico de física aplicada por lo tanto se basa específicamente en investigación de campo o laboratorio, por lo que el documento resultante será catalogado como INFORME.

I.E.1. Plan o delineamiento de la investigación

El proyecto será de tipo investigativo experimental con métodos empíricos teóricos y pruebas de campo, van a ser examinadas por prueba y error todas las características del diseño hasta adaptarlas a la disponibilidad de componentes del entorno actual como: mecanismos de riel, de avance, de servo, de circuitería electrónica y construcción de partes específicas.

I.E.2. Recursos

I.E.2.a. Las herramientas

Las Herramientas que se utilizarán en el desarrollo de la investigación son:

- La publicaciones encontradas en Internet, constituye la fuente y base fundamental de donde se extraerá la información requerida.
- Sistema Operativo GNU Linux Distribución Ubuntu Server 10.04
- Software CM2 (Software de control) controlador base códigos G.
- Infraestructura de talleres de metalmecánica y electrónica a nivel laboratorio para llevar a cabo la experimentación aplicada en el campo.

I.E.2.b. Recursos humanos

- Catedráticos de la universidad del Pacífico.
- Milton Terán Espinoza.

I.E.2.c. Recursos tecnológicos

Uno de los recursos tecnológicos importantes es la Red de Redes (Internet), la cual ofrece la conectividad con las fuentes de la información acerca de los campos a ser investigados.

I.E.2.d. Recursos materiales

- Computadora portátil.
- Computadora de escritorio.

- Componentes electrónicos.
- Componentes eléctricos.
- Materia prima de aceros y metales.
- Partes y componentes de Matricería.
- Útiles de oficina.

I.E.2.e. Recursos Económicos

Para la realización del presente proyecto de investigación se estima la destinación de los siguientes rubros:

Tabla 1 Detalle de Recursos económicos

Detalle	Rubro
Mano de Obra	$ 200,00
Materias primas	$ 1500,00
Equipos de electrónica	$ 770,00
Útiles de Oficina	$ 280,00
Internet Banda Ancha	$ 50,00
Impresiones y Empastado	$ 100,00
TOTAL	$ 2900,00

Por: Milton Terán

CAPÍTULO II

DESARROLLO DEL CONTROL NUMÉRICO

II. A. Explicación de control numérico como antecesor de CNC

NC significa simplemente "control numérico" CNC es el acrónimo de "Computer Numerical Control, una consecuencia de la antigua expresión "NC",". Se refiere a la idea de controlar máquinas-herramientas mediante la programación a través de un ordenador. Con la antigua expresión "NC", una computadora no necesita estar involucrada. La máquina puede ser controlada utilizando, por ejemplo, cinta perforada.

NC y más tarde CNC, permitieron un enorme crecimiento en la productividad de las máquinas y herramientas, porque las máquinas pueden funcionar de forma automática sin necesidad de atención constante por parte de su operador.

Antes de la llegada de tal automatización, existían automatizaciones menores, en la forma de sistemas de trazadores hidráulicos. Estos sistemas utilizan la hidráulica para hacer que las cabezas de corte de una maquina adquieran control al seguir una plantilla. Los accesorios cónicos disponibles para muchos tornos manuales no son diferentes a la capacidad que tiene el sistema de rastreo hidráulico, lo que pasa es que el rastreador es capaz de seguir las plantillas más elaboradas que simples formas rectas.

Pero el advenimiento de NC y luego más tarde CNC aumentaron drásticamente la cantidad de automatización que era posible. (Milton Terán TCC.)

II. B. Inicios de (CN)

Control numérico (CN) es la automatización de máquinas y aparatos que son operados por comandos programados codificados abstractos en un medio de almacenamiento, en lugar de controlar manualmente a través de volantes o palancas, o automatizadas mecánicamente a través de levas independientes.

Las primeras máquinas de control numérico se construyeron en los años 1940 y 1950, con base en las Maquinas operadas a mano existentes que fueron modificadas con motores que mueven los controles para seguir los puntos introducidos en el sistema de cinta perforada. Estos primeros servomecanismos se aumentaron rápidamente con las computadoras analógicas y digitales, la creación de las computadoras modernas de control numérico (CNC) han revolucionado los procesos de mecanizado y fabricación en el ámbito de la industria.

En los modernos sistemas de control numérico, de extremo a extremo el diseño de componentes es altamente automatizado utilizando diseño asistido por ordenador (CAD)(Computer Aided Design) y programas de fabricación

asistida por ordenador (CAM)(Computer Aided Manufactory). Los programas de producción de un archivo informático que se interpreta para extraer los comandos necesarios y operar una máquina en particular a través de un post-procesador y luego cargados en las máquinas de control numérico para la producción. Puesto que cualquier componente en particular puede requerir el uso de una serie de diferentes herramientas, brocas, sierras, entre otras, las máquinas modernas a menudo combinan múltiples herramientas de corte en una única "cabeza". En otros casos, un número de diferentes cabezas se utilizan con un controlador externo y operadores humanos o robóticos que mueven el material a ser procesado de máquina en máquina. En cualquier caso, la compleja serie de pasos necesarios para producir cualquier parte está muy automatizada y produce cada parte la reproducción exacta del diseño CAD original. (Milton Terán TCC.)

II. C. Los primeros indicios de automatización

II. C. 1. Sistema de levas

Las primeras formas de automatización de control de la máquina se iniciaron en el siglo XIX, con levas que manejaron una máquina de herramienta de la misma forma, donde las levas llevaban mucho tiempo controlando cajas de música o utilizadas en los relojes de cucú. Automatización por Levas ya había llegado a un estado muy avanzado en la Primera Guerra Mundial (1910).

Sin embargo, la automatización a través de levas es fundamentalmente diferente de Control Numérico, porque no puede ser abstractamente programado. En una leva se puede codificar la información, pero no conseguir la información desde el nivel abstracto de un dibujo de ingeniería en la leva es un proceso manual que requiere de la escultura y / o mecanizado de la información.

Las diversas formas de control abstracto programable había existido durante el siglo 19: las del telar de Jacquard, y las computadoras mecánicas creadas por primera vez por Charles Babbage y otros. Esta evolución tuvo el potencial para la convergencia con la automatización de control de la máquina a partir de ese siglo, pero la convergencia no sucedió hasta muchas décadas después. (National Institute of Standards and Technology)

II. C. 2. La aplicación de la hidráulica

La aplicación de la hidráulica y automatización basada en Levas resultó en la localización de las máquinas que utilizan un rastreador para trazar una plantilla, en algunos casos de varios metros de diámetro. Otro enfoque fue "memorizar y reproduccir", General Motors (GM) fue pionero en la década del 1950, que utilizaron un sistema de almacenamiento para grabar los movimientos de un maquinista humano, luego reproducirlos en la máquina. Los sistemas análogos son comunes incluso en la actualidad. Ninguno de éstos eran numéricamente programables. Sin embargo requerían de un maquinista maestro en algún punto del proceso, porque la "programación" de

la máquina era física y no numérica. (National Institute of Standards and Technology)

II. C. 3. Servomecanismos

Una barrera a la automatización completa era de las tolerancias requeridas de los procesos de fabricación, que son habitualmente del orden de milésimas de pulgada. Aunque conectar algún tipo de control a un dispositivo de almacenamiento como tarjetas perforadas fue fácil, asegurar que los controles de traslado a la posición correcta con la precisión requerida fue otra cuestión. El movimiento de la cabeza de la maquina como resultado requiere fuerzas variables en los actuadores que significarían que una entrada lineal no resultará en un movimiento de la cabeza. En otras palabras, un control como el del telar de Jacquard (National Institute of Standards and Technology) no podía trabajar en las máquinas de corte de metal, ya que sus movimientos no eran lo suficientemente fuertes, el metal se corta con mucha más fuerza de la que el control apropiado podría empujar.

La clave para el desarrollo en la introducción del servomecanismo, es producir un poderoso movimiento controlado con información de medición de alta precisión. La colocación de dos servos en conjunto produjeron un “selsyn” (retroalimentación), donde los movimientos de servo control remoto fueron emparejados con precisión por otro que le informa si se produjo o no movimiento. Usando una variedad de sistemas mecánicos o eléctricos, la salida de los “selsyns” se puede leer para garantizar si el correcto

movimiento se ha producido. En otras palabras, la formación de un sistema de control de “closed-loop” o retroalimentado.

El problema es la amplificación del torque, que permite que la salida de un pequeño computador para accionar motores muy grandes, este sistema fué desarrollado para la armada de Estados Unidos para las torretas de armas muy pesadas por los años 30 del siglo XX, este mismos sistema se comenzó a utilizar para conducir los actuadores de las máquinas CN, lo cual le permite seguir el contorno de una plantilla sin el fuerte contacto físico necesario por las herramientas existentes (National Institute of Standards and Technology).

II. D. Diseños de los comandos de movimiento por CN

Un equipo de ingenieros del Instituto de Tecnología de Masachuset (MIT) llegó a la conclusión de que el diseño de control por números podría mejorar mucho, si la máquina no se moviera simplemente en los puntos A y B, sino que se moviera sin problemas entre los puntos generando más puntos, entonces no sólo haría un corte perfectamente liso, sino no pudría hacer lo mismo con pocos puntos; la máquina podría cortar las líneas directamente en lugar de tener que introducir un gran número de puntos de corte para "simular" una línea.

MIT implementó engranajes a los diversos volantes de control manual de las máquinas y los condujo con cadenas de rodillos conectados a motores para cada uno de los tres ejes de la máquina (X, Y, y Z). El controlador asociado consistió en cinco armarios del tamaño de un refrigerador cada uno, juntos

fueron casi tan grande como un cuarto pequeño. Tres de los armarios contenían los controladores de los motores, un controlador para cada motor, los otros dos el sistema de lectura digital (National Institute of Standards and Technology).

A diferencia de diseños anteriores de tarjetas perforadas, el diseño del MIT utiliza cinta de 7-track perforadas para la entrada de comandos. Tres de las pistas se utilizan para controlar los diferentes ejes de la máquina, mientras que las otras cuatro contienen codificada la información de controles diferentes. La cinta se lee en un gabinete que también albergaba seis relés basados en registros de hardware, dos para cada eje. Con cada operación de lectura el punto previamente leído se copia en el registro como "punto de partida", y cada uno recién leído queda en el registro como “punto final”. La cinta se lee continuamente y el número en los registros incrementa con cada agujero encontrado en su pista de control hasta que un instrucción de parar “stop” fuera encontrado, normalmente cuatro agujeros en una línea.

El gabinete final contiene un reloj que envía impulsos a través de los registros (cada perforación en la cinta), en comparación con los dos puntos principales, y que genera impulsos de salida interpolado entre los puntos. Por ejemplo, si los puntos eran muy diferentes de la salida tendría impulsos con cada ciclo de reloj, mientras que los puntos estrechamente espaciados sólo generarán pulsos después de múltiples ciclos de reloj. Los pulsos son enviaos a un registro de suma en los controladores de motor, contando el número de

impulsos cada vez que se reciben. Los registros de suma se conectan a un convertidor digital a analógico que desvía energía a los motores como el recuento en los registros ha aumentado, por lo que los controles se mueven más rápido.

Los registros se reducen en codificadores conectados a los motores y de la propia maquina, lo que reduciría el recuento en uno por cada grado de rotación. Una vez que el segundo punto se alcanzó el contador encontraría un cero, los impulsos del reloj se detienen, y los motores dejan de girar. En cada rotación de un grado, los controles producen un movimiento de 0,025 mm de la cabeza de corte. El programador puede controlar la velocidad de corte mediante la selección de puntos que estaban más cerca juntos para movimientos lentos, o más alejados para movimientos rápidos.

El sistema fue anunciado al público en septiembre de 1952, apareciendo en la revista “Scientific American”. El sistema del MIT fue todo un éxito desde todo punto de vista técnico, la forma rápida de hacer cualquier corte complejo con una precisión extremadamente alta que no puede ser fácilmente duplicada con la mano. Sin embargo, el sistema era muy complejo, incluía 250 tubos de vacío (lámparas tríodo), 175 relés y numerosas partes móviles; lo que reduce su fiabilidad en un entorno de producción debido al rápido desgaste de muchas partes móviles en fricción.

También era caro, muy caro y el total de la factura presentada a la Fuerza Aérea fue de 360.000,14 Dólales de estados unidos en ese año, el equivalente para el 2011 de $ 2’641.727,63

Entre 1952 y 1956 el sistema fue utilizado para fabricar partes y diseños para las distintas empresas de aviación, con el fin de estudiar su potencial e impacto económico. (National Institute of Standards and Technology)

A finales de los 50s, MIT publicó su informe sobre el impacto económico del CN. Llegaron a la conclusión de que las máquinas de herramientas no son competitivos con los operadores humanos porque simplemente se mueve el tiempo del mecanizado a la creación de las cintas.

II. E. Codificación

Muchos de los comandos de las piezas experimentales fueron programados "a mano", punto por punto para producir las cintas perforadas que se utilizaron como entrada. Durante el desarrollo de la computación, el ordenador en tiempo real del MIT, ha codificado un número de subrutinas para producir estas cintas bajo control por ordenador.

Los usuarios pueden acceder a una lista de puntos y velocidades, y el programa calcula los puntos necesarios y genera automáticamente la cinta perforada. En un caso, este proceso reduce el tiempo requerido para producir

la lista de instrucciones y fresado de la parte de 8 horas a 15 minutos. Esto dio lugar a una propuesta de la Fuerza Aérea Americana para producir un lenguaje de programación de control numérico generalizado. (International Manufacturing Technology Show)

A finales de los 50, la Aircraft Industries Association (AIA) y el Comando de Material Aéreo (Wright-Patterson Air Force Base) comenzaron a trabajar en conjunto con el MIT para estandarizar el lenguaje de programación para producir un nuevo y completo sistema controlado por ordenador NC.

El equipo combinado realizó una conferencia de prensa donde mostró los resultados obtenidos, incluyendo un cenicero de aluminio mecanizado en 3D que fué entregado a los participantes de la conferencia.

En la década del 60, General Motors se asoció con IBM para desarrollar el primer sistema gráfico asistido por computadora. En 1963 lanzaron DAC-1 (Diseño Aumentado por ordenador) y fue presentado al público en la conferencia Joint Computer, realizada en la ciudad de Ditroit, EUA, en el año de 1964.

Así como también venían desarrollando una herramienta que permitiera programar de manera automática en la que un conjunto de instrucciones se empaqueta en un código, a esta herramienta se la llamo Automatically Programmed Tool (APT), trabajan en hacer de APT una norma internacional. Se inició en 1963 pero no se terminó hasta 1968, cuando se registraron 25

complementos opcionales al sistema básico. (National Institute of Standards and Technology)

Así como APT estaba siendo lanzado a principios de los 60s, una segunda generación de bajo costo con equipos transistorizados estaba golpeando el mercado que son capaces de procesar grandes volúmenes, con mayor información en entornos de producción. Esto redujo el costo de la programación de máquinas de control numérico y para mediados de los 60s, APT representa un tercio de los tiempos de uso de la computadora en empresas de aviación de gran tamaño.

II.F. El surgimiento de CAD

Diseño Asistido por Ordenador [computer aided design(CAD)].

Mientras que el Laboratorio de Servomecanismos estaba en el proceso de desarrollo de su primera fresadora, en 1953, el Departamento de Ingeniería Mecánica del MIT, abandonó el requisito de que los estudiantes tomen cursos de dibujo. Los instructores que enseñaban estos programas se fusionaron a la División de Diseño, donde una discusión informal de diseño computarizado empezaba. Mientras tanto, el Laboratorio de Sistemas Electrónicos, el recientemente rebautizado Laboratorio de Servomecanismos, había estado discutiendo si el diseño empezaría o no con diagramas de papel en el futuro. (National Institute of Standards and Technology)

A finales de la década de los 50s, se celebró una reunión informal, la participación de los individuos, tanto del Laboratorio de Sistemas Electrónicos y del Departamento de Ingeniería Mecánica División Diseño. Las reuniones formales siguieron por un año, lo que resultó en el "Proyecto de Diseño Asistido por Ordenador"(CAD). En diciembre de 1959, la Fuerza Aérea publicó un contrato de un año por $ 223,000 para financiar el proyecto, incluyendo 20.800 dólares destinados a 104 horas de tiempo en la computadora de 200 dólares por hora. Esto resultó ser demasiado poco para el ambicioso programa que tenían en mente. En 1959, General Motors comenzó un proyecto experimental para digitalizar, almacenar e imprimir los dibujos de diseño de muchos que se generan en los distintos departamentos de diseño de GM. Cuando el concepto básico demostró que podía trabajar, comenzaron la ampliación del proyecto DAC-1 (Design Augmented by Computer) con IBM para desarrollar una versión de producción. Una parte del proyecto DAC fue la conversión directa de diagramas en papel en modelos 3D, que se convirtieron luego en comandos de APT y corte en máquinas de fresado. Con la excepción del boceto inicial, el círculo de diseño a la producción se había cerrado. (National Institute of Standards and Technology)

Mientras tanto, fuera de las instalaciones del MIT, Lincoln Labs estaba empezando la construcción de ordenadores para probar nuevos diseños transistorizados. El objetivo final era de probar varios diseños de circuitos, una versión más pequeña, y esto condujo a un número de experimentos que implicaban la entrada interactiva y el uso de la pantalla del tipo CRT para

gráficos. Pero esto inspiró a otros graduados del MIT para intentar el primer sistema verdadero CAD, en la actualidad el CAD es algo que damos por sentado y se usa en todas las áreas de diseño. (National Institute of Standards and Technology)

CAPÍTULO III

CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

III. A. Inicios de control numérico computarizado CNC

El precio por la capacidad de procesamiento de la computadora disminuyó drásticamente durante la década del 1960 con la introducción generalizada de los, para entonces, miniordenadores útiles. Debido a esto eventualmente se hizo menos costoso manejar el control del motor y la retroalimentación con un programa informático de lo que era con servo sistemas dedicados. Pequeños ordenadores para ese entonces (1/4 de metro cúbico) estaban dedicados a una sola máquina, poniendo todo el proceso en una sola caja. Aún así solo grandes corporaciones podían costear estos sistemas. La introducción del microprocesador en la década del 1970 redujo aún más el costo de la implementación, y en la actualidad casi todas las máquinas CNC utilizan alguna forma de microprocesador para manejar todas las operaciones.

La introducción de máquinas CNC de menor costo cambió radicalmente la industria manufacturera. Las curvas son tan fáciles de cortar como líneas rectas, complejas estructuras 3-D son relativamente fáciles de producir, y el número de pasos de mecanizado con acción humana requerida se han reducido drásticamente. Con el aumento de la automatización de procesos de fabricación con el mecanizado CNC, se han logrado mejoras considerables en la consistencia y la calidad con ninguna tensión en el operador. La

automatización CNC reduce la frecuencia de los errores y da a los operadores de estos sistemas el tiempo para realizar tareas adicionales. La automatización CNC también permite una mayor flexibilidad en la forma en que las piezas se mantienen en el proceso de fabricación y el tiempo necesario para reconfigurar la máquina y producir diferentes componentes.

Muchos investigadores comentan que el enfoque de EE.UU. en aplicaciones de gama alta los dejó en una situación poco competitiva cuando la crisis económica de la década de 1970 llevó a una demanda mucho mayor de sistemas de bajo costo. A diferencia de las empresas de Estados Unidos, que se habían centrado en el mercado aeroespacial altamente rentable, los Alemanes y los fabricantes Japoneses se dirigieron a segmentos de inferior lucro desde el principio y fueron capaces de entrar en los mercados de bajo coste mucho más fácilmente.

A medida que la informática y las redes evolucionan rápidamente, también lo hizo el control numérico directo (DNC). Su coexistencia a largo plazo, con variantes NC y CNC no en red, se explica por el hecho de que las empresas individuales tienden a quedarse con todo lo que sea rentable, y su tiempo y dinero para probar las alternativas son limitados. Esto explica por qué los modelos de máquinas y herramientas y los medios de almacenamiento en cinta persisten, al estilo dinosaurio incluso después de que existen avances de tecnología de punta en esos mismitos sistemas.

III. B. CNC a investigadores individuales

Los acontecimientos recientes a pequeña escala CNC se han habilitado, en gran parte, por el proyecto (The Enhanced Machine Control) o EMC del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), una agencia del Departamento del Gobierno de EE.UU. de Comercio. EMC es un programa de dominio público que opera bajo el sistema operativo Linux y el trabajo en un hardware basado en PC. Después de que NIST terminó el proyecto, el desarrollo ha continuado, llevando a EMC2 que está licenciado bajo la "Licencia Pública General" de GNU y Lesser GNU General Public License (GPL y LGPL).

III.C. CNC Software

El software CNC es un programa que traduce los archivos que se encuentran en código G a pulsaciones eléctricas que puedan ser utilizadas por la electrónica de la máquina, éstas pueden ser de tipo análogas o digitales simbolizadas como CW/CCW para señal análoga o I/O para señal digital.

III.C.1. EMC2

EMC2 (The Enhanced Machine Control) (el control de la máquina mejorada) es un sistema de software para el control informático de las máquinas de herramientas tales como fresadoras y prototipados, al igual que otros tipos de maquinas que requieran automatización como robots, satélites y vehículos.

EMC2 es un software libre con código fuente abierto. Las versiones actuales de EMC2 están enteramente bajo la Licencia Pública General de GNU y Lesser GNU General Public License (GPL y LGPL).

Características de EMC2:

- Varias interfaces gráficas de usuario (GUI), incluyendo una para pantallas táctiles.
- Intérprete de "G-code" (lenguaje de programación RS-274)
- Un movimiento en tiempo real del sistema de planificación con look-ahead.
- Funcionamiento de la electrónica de la máquina de bajo nivel, como los sensores y unidades de motor o actuadores del sistema.
- Fácil de usar "breadboard" es una capa para crear rápidamente una configuración única para su máquina.
- Un software programable con diagramas de escalera PLC.
- Fácil instalación con (.Deb) o en un (Live CD).

- No proporciona funciones de dibujo (CAD - Computer Aided Design) o generación de código G a partir del dibujo (CAM - Computer Automated Manufacturing).

- Se puede mover simultáneamente hasta 9 ejes y soporta una gran variedad de interfaces.

- El control puede operar servos reales (analógica o PWM) con el bucle de realimentación cerrado por el software EMC2 en el ordenador, o lazo abierto con "step-servos o motores paso a paso".
- Funciones de control de movimiento incluyen: radio de la fresa y la compensación de longitud, desviación de la trayectoria se limita a una tolerancia especificada, torno rosca, movimiento sincronizado de eje, velocidad de avance de adaptación, corrección de avance del operador, y el control de velocidad constante. En lo que a la parte mecánica se refiere.
- Soporte para sistemas de movimiento no cartesianos se proporciona a través de módulos personalizados de cinemática. Arquitecturas disponibles son hexápodos (plataformas Stewart y conceptos similares) y sistemas con juntas rotativas para proporcionar un movimiento como el puma o robots SCARA.

EMC2 se ejecuta en Linux a través de las extensiones de tiempo real. Existe actualmente soporte para la versión 2.4 y 2.6 del núcleo de Linux con extensiones de tiempo real aplicadas por RT-Linux o parches RTAI. (LinuxCNC)

Derivaciones del original software EMC también han dado lugar a varios programas con licencia privada de base PC en particular TurboCNC y Mach3, así como los sistemas embebidos basados en hardware propietario. La disponibilidad de estos programas de control basados en PC ha conducido al

desarrollo de emprendimientos individuales CNC, permitiendo a los aficionados para construir sus propios proyectos usando diseños de hardware de origen abierto. La misma arquitectura básica ha permitido a los fabricantes, como Sherline y Taig, para producir ligeras fresadoras CNC de escritorio para los aficionados.

III.C.2. Software Mach3

La fácil disponibilidad de software basado en el sistema operativo Windows y la información de soporte de Mach3, creado por Art Fenerty, permite a cualquier persona con un poco de tiempo y experiencia técnica fabricar piezas complejas para el hogar y el uso de prototipos. Fenerty es considerado uno de los fundadores principales de mecanizado CNC basado en el sistema operativo Windows PC.

Finalmente, la arquitectura basada en PC fue comercializada completamente y se utiliza para crear mayor maquinaria adecuada para aplicaciones comerciales e industriales. Paralelamente a la evolución de los ordenadores personales, Mach3 tiene sus raíces en la EMC y EMC2 a las cuales se les conoce como CNC personal, pero han evolucionado hasta el punto en que pueden sustituir a un equipo más grande convencional en muchos casos. Al igual que con el ordenador personal, CNC Personal se caracteriza por equipos cuyo tamaño, capacidad y precio de compra original que sea útil para las personas, y que está destinada a ser dirigidas por un usuario final, a menudo sin una formación profesional en tecnología de CNC.

III.D. Código G

G-code es el idioma predominante utilizado por las máquinas CNC de hoy.

Lectores de cinta todavía se pueden encontrar en las actuales instalaciones de CNC, puesto que las máquinas de herramientas tienen una larga vida útil. Otros métodos de transferencia de programas de CNC para máquinas y herramientas, como disquetes o la conexión directa de un ordenador portátil, también se utilizan cintas perforadas de mylar (plásticas) que son más robustas. Los disquetes, unidades flash USB y redes de área local han reemplazado a las cintas hasta cierto punto, sobre todo en entornos más grandes que están muy integrados.

La proliferación de la CNC llevó a la necesidad de nuevas normas CNC que no fueron grabadas por los conceptos de diseño de licencia o en particular, como APT. Una serie de diferentes "estándares" proliferaron durante un tiempo, a menudo en torno a gráficos vectoriales lenguajes de marcado soportados por los plotters. Una de estas normas se ha convertido en muy común, el "G-code" o código G que se utilizó originalmente en plotters Gerber Scientific y luego adaptado para el uso de CNC. El formato de archivo se hizo tan ampliamente utilizado que se ha plasmado en un estándar EIA (The Electronic Industries Alliance (EIA, hasta el año 1997 la Asociación de Industrias Electrónicas) fue una organización comercial de normas compuesta como una alianza de asociaciones comerciales para los fabricantes de productos electrónicos en Estados Unidos. A su vez, mientras que G-code es

el idioma predominante utilizado por las máquinas CNC de hoy, hay un empuje para suplantarla con STEP-NC, un sistema que fue diseñado deliberadamente para CNC, en lugar de crecer a partir de una norma plotter existente.

Mientras que el código G es el método más común de programación, algunos fabricantes de maquinaria y controladores (machine-tool/control) también han inventado sus propios métodos de programación, tratando de hacer que sea más fácil para programar partes simples y crear la configuración y las modificaciones de la máquina más fácil (como Mazatrol de Mazak, IGF Okuma, y Hurco) pero en especial para apresar, amarrar a sus clientes dado que los precios de estos fabricantes son realmente exorbitantes. Esto lo han logrado con diversos grados de éxito.

Un avance más reciente en intérpretes CNC es el apoyo de los comandos lógicos, conocidos como programación de parámetros (también conocida como la programación de macros). Programas paramétricos son los dos comandos de dispositivos, así como un control similar al lenguaje BASIC. El programador puede hacer declaraciones if / then / else, bucles, llamadas de subprograma, realizar operaciones aritméticas diversas y manipular variables para crear un amplio grado de libertad dentro de un programa. Una línea completa de productos de diferentes tamaños puede ser programada utilizando la lógica y la matemática sencilla de crear y ampliar una gama completa de

piezas, o crear una pieza de valores que se puede escalar a cualquier tamaño que demande el cliente.

Una de estas tendencias es la combinación de una mayor recolección de datos (más sensores), y mayor intercambio automatizado de datos (a través de la construcción de nuevas y abiertas estándares de la industria como esquemas XML), y minería de datos para proporcionar un nuevo nivel de inteligencia y automatización de flujo de trabajo. Otra de las tendencias es la aparición de amplia difusión APIs (Application Programming Interface), junto con las mencionadas normas de datos abiertos para fomentar un ecosistema generado por los usuarios de las aplicaciones y mashups, que puede ser a la vez abierto y comerciales, es decir, tomando la nueva cultura IT de los mercados de aplicaciones que se iniciaron en el desarrollo web y desarrollo de aplicaciones de teléfonos inteligentes y dirigir a CNC, DNC, y los sistemas de automatización de fábricas, instituciones y otras que están en red con el CNC / DNC. MTConnect. Es un esfuerzo importante para llevar estas ideas a la implementación exitosa. MTConnect es un protocolo ligero, abierto y extensible diseñado para el intercambio de datos entre los equipos de planta y las aplicaciones de software utilizadas para el seguimiento y análisis de datos.

En su forma actual, MTConnect se refiere como un estándar de sólo lectura, lo que significa que sólo define la extracción (lectura) de datos de los dispositivos de control, no la escritura de datos en un dispositivo de control.

Con libre disposición, los estándares abiertos se utilizan para todos los aspectos de la MTConnect. Los datos de los dispositivos de control se presentan en formato XML, y se recupera de los proveedores de información, llamados Agentes (Agents), utilizando Hypertext Transfer Protocol (HTTP) como protocolo de transporte. Ninguna sesión debe ser establecida para recuperar datos de un agente MTConnect, tampoco inicio de sesión o cierre de sesión de secuencia es necesario (a menos que se añadan los protocolos de seguridad) Lightweight Directory Access Protocol (LDAP). Este último se recomienda para servicios de localización. LDAP Versión 1.0 fue lanzado en diciembre de 2008.

La primera demostración pública de MTConnect ocurrió en la International Manufacturing Technology Show (IMTS), celebrada en Chicago, Illinois en septiembre de 2008. Allí, 25 fabricantes de equipos industriales conectaron en red sus sistemas de control de maquinaria, suministrando información de procesos que podría ser recuperada desde cualquier web-cliente habilitado conectado a la red. Demostraciones posteriores se dieron en EMO (The Machine Europea Salón Internacional de herramientas) en Milán, Italia, en octubre de 2009, y en 2010 IMTS en Chicago. (MTConnect).

CAPÍTULO IV

LA MÁQUINA CNC

Modernas Máquinas CNC difieren poco en concepto del modelo original, construido por el MIT en 1952. Estas maquinas consisten normalmente en una mesa que se mueve en los ejes X - Y, y un husillo de la herramienta que se mueve en el Z (profundidad). La posición de la herramienta es accionada por motores a través de una serie de engranajes de paso hacia abajo con el fin de proporcionar movimientos muy precisos, o en diseños modernos, de accionamiento directo del motor paso a paso o servomotores con mecanismos de tornillo de bolas. El control de lazo abierto funciona siempre y cuando las fuerzas se mantuvieran lo suficientemente pequeñas y las velocidades no son demasiado grandes. En las máquinas comerciales de trabajo de metales los controles de bucle cerrado son estándares con el fin de proporcionar la precisión, velocidad y repetitividad debido a la gran fuerza requerida en los actuadores.

A medida que el hardware del controlador ha evolucionado, los propios diseños de maquina también han evolucionado. Un cambio ha sido para encerrar todo el mecanismo en una caja grande como medida de seguridad, a menudo con enclavamientos de seguridad adicionales para garantizar que el operador esté suficientemente lejos de la pieza de trabajo para una operación segura. La mayoría de los sistemas de control numérico de nueva construcción hoy en día están completamente controlados electrónicamente.

CNC como sistema se utiliza ahora para cualquier proceso que se puede describir como una serie de movimientos y operaciones. Estos incluyen el corte por láser, soldadura, soldadura por fricción, soldadura ultrasónica, llama y corte por plasma, plegado, hilado, fijando, pegado, corte de telas, costura, colocación de cinta y de fibras, de enrutamiento, recogida y colocación y el aserrado en general.

IV.A. Aspectos técnicos

IV.A.1. Selección de Software de control

Se ha acoplado la disponibilidad de software de control CNC de costo mínimo o no costo y de circuitos integrados a bajo costo, y la gran cantidad de hardware de gama alta que ahora se puede encontrar en mercados aún muy especializados, por primera vez en la historia se puede alcanzar en el mercado hobby.

Prefiero el software CNC EMC2 en Linux y Ubuntu, que son del sistema operativo Linux, porque és de licencia libre, pero hay otros disponibles pagados para aquellos que son tímidos y no quieren enfrentarse a código abierto.

KCAM funciona muy bien en Windows 98. Mach3 tiene un grupo de apoyo enorme y evita algunos de los problemas de sincronización del entorno

Windows. TurboCNC es una gran pieza de software, si no se quiere visualizar sus trayectorias en tiempo real y se siente cómodo en DOS.

EMC2 es completamente de código abierto, de uso gratuito, y probablemente el más fiable, es un sistema flexible y robusto. La interfaz gráfica de usuario de AXIS es insuperable, aunque requiere de cierto grado de dedicación para dominarlo.

Por lo tanto, que software está involucrado en CNC? Hay principalmente tres partes como lo indico en el cuadro siguiente:

Gráfico 1 Sistema de software de CNC

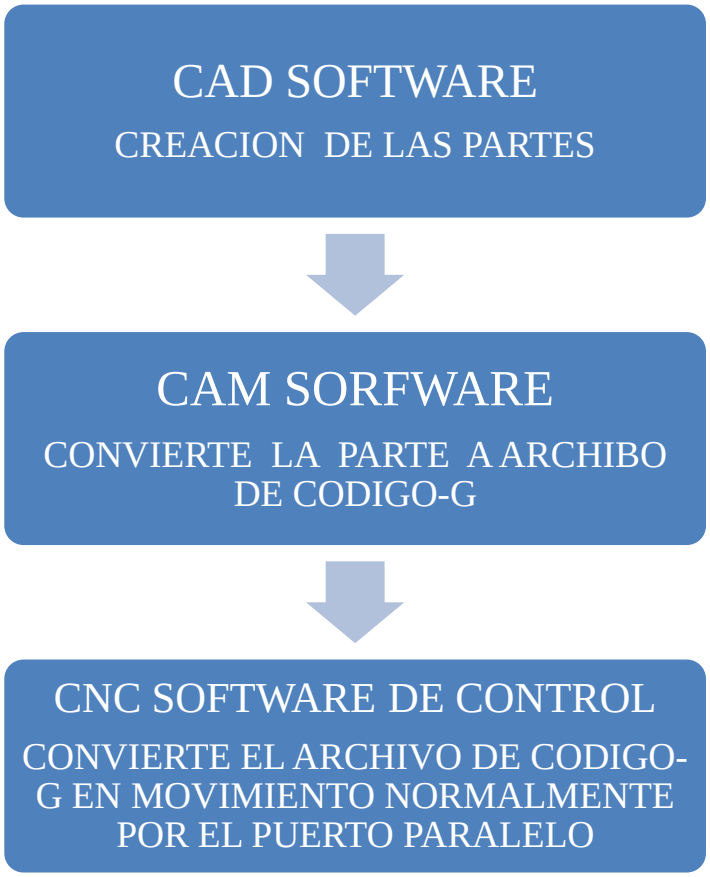


Ilustración 1 Sistema de software de CNC (Milton Terán)

IV.A.2. Selección de Software CAD (Computer Aided Design)

El Software CAD es donde se diseña las piezas en sus tres dimensiones que se desea crear en la máquina para ser: torneado, esculpido, tallado, fresado o cortado.

Un recuento de los principales software que se pueden encontrar allá afuera en la categoría CAD Software son:

- Google Sketchup – FREE.

- Blender – FREE.
- Caligari TrueSpace – FREE.
- Wings 3D – FREE.
- Moi3D.
- Corel CAD.
- ArtCam.
- SolidWorks.
- RhinoCAD.
- SolidEdge.
- AutoCAD.
- TurboCAD.
- Alibre.

IV.A.3. Selección de Software CAM (Computer Aided Manufacturing)

Software CAM convierte los dibujos CAD en código G, que es el lenguaje de programación que el software de control CNC entiende.

Un recuento de los principales softwares que se pueden encontrar allá afuera en la categoría CAM Software son:

- Heeks CAD/CAM – FREE.
- G-Simple – FREE.
- FreeMill – FREE.

- Dolphin CAD/CAM.
- CamBam.
- Vizion (ArtCam).
- OneCNC.
- VirtualGibbs.
- MasterCAM.
- BOBCAD-CAM.
- RAM.
- MeshCAM.
- VisualMill.
- TurboCADCAM.
- DeskCNC.
- SheetCAM.
- OneCNC.
- SprutCam.
- EdgeCAM.
- ArtCAM.

IV.A.4. Selección de Software CNC

El software de control CNC lee el código G y lo convierte en movimiento para accionar la máquina. Esto se hace generalmente por la lectura y escritura pines en el puerto paralelo, pero también hay algunos controladores de motores que pueden funcionar con puerto de serie o USB.

El kit controlador de motor paso a paso hace uso de las señales del puerto paralelo. La tarjeta de ruptura divide estas señales de manera que las líneas de paso, y las de dirección se dirijan a cada tablero conductor (driver) del motor y permitir el funcionamiento de cada eje.

Hay otras herramientas generadoras de código-G más especializadas utilizadas para fines específicos, tales como la generación de placas de circuitos impresos (PCB), la generación de un patrón o de agujeros. También algunas personas optan por escribir el código-G a mano.

Otro tipo de software de control CNC está disponible en casos especializados como: Corte CNC con alambre caliente, para máquinas de corte de espuma, esponja y plástico.

Un recuento de los principales softwares que se pueden encontrar allá afuera en la categoría CNC Control Software (Machining/Milling/Lathe) son:

- EMC2 – Linux. Free
- AXIS - GUI for EMC2.
- KCAM - Windows 98.
- TurboCNC – DOS.
- Mach2/3 - Windows 2000/XP.
- DeskCNC – Windows.

- CNCZeus – DOS.
- Master5 - Windows 95/98.
- DesKAM - Windows/DOS.
- CNCPro - DOS (recently opened sourced).
- USBCNC - USB controlled CNC.
- CNCDudez - Another USB controlled CNC.

IV.A.4.a. CNC Foam Cutting Software: (De corte de espuma)

- FoamWorks.
- JediCut.
- GMFC.

IV.A.4.b. Software utilitario para CNC:

- SimpleCNC.
- Machinists Tool Box.
- Ace Converter - DXF to G-code converter.
- CNC Toolkit.
- ImageToGcode.
- NCPlot - G-code Viewer and Backplotter.
- DXF2GCODE.
- CNCWrapper - Rotary table g-code utiity.

Parallel port interfacing:

(Interface para el puerto paralelo)

- Parallel Port Central.
- ePanarama Parallel Port Info.
- Parallel Port Interfacing.

IV.A.4.c. CAD para electrónica:

- EagleCAD - PCB schematic and board layout program with free trial version.
- PCB-GCODE - a free g-code output for Eagle.
- Eagle3D - Render 3D images from EagleCad & POVRAY.
- CopperCAM - PCB Trace Isolation CAM.

Son una lista de los disponibles. Fuente (Probotix)

IV.B. Colisión de máquina

En CNC, un "accidente" se produce cuando la máquina se mueve de tal manera que es perjudicial para el equipo, herramientas o piezas que se mecanizan, resultando a veces en flexión o rotura de las herramientas de corte, pinzas accesorios, los husillos y accesorios, o causar daño a la propia máquina doblando carriles de guía o rieles, rompiendo tornillos de accionamiento, o componentes estructurales causando grietas o deformaciones bajo tensión. Un choque suave no puede dañar la máquina o

herramientas, pero puede dañar la pieza que se mecaniza de modo que debe ser desechada.

IV.C. Límites de ejes

Muchas máquinas CNC no tienen ningún sentido inherente de la posición absoluta de la mesa o herramientas cuando se enciende. Éstas deben ser manualmente "posicionadas" o "a cero" para tener cualquier referencia desde donde trabajar, y estos límites son sólo para averiguar la ubicación de la pieza a trabajar, y no son realmente ningún tipo de límites de movimiento duro en el mecanismo. A menudo es posible conducir la máquina fuera de los límites físicos de su mecanismo de accionamiento, lo que resulta en una colisión con sí mismo o daños en el mecanismo de accionamiento. Muchas máquinas tienen aplicación de parámetros de control que detienen el movimiento del eje más allá de un cierto límite, además de interruptores de límite físico. Sin embargo, a menudo estos parámetros pueden ser cambiados por el operador.

IV.D. Control de laso abierto

En algunas máquinas CNC los controladores no saben nada acerca de su entorno de operación. Las máquinas pueden tener sistemas de detección de carga en las unidades de husillo y eje, pero otros no. Ellas ciegamente siguen el código de mecanizado proporcionado y dependen de un operador para detectar si un accidente se puede originar o está a punto de producirse, y en este caso el operador manualmente deberá abortar el proceso de corte. Las

máquinas equipadas con sensores de carga puede detener el eje o husillo de movimiento en respuesta a una condición de sobrecarga, pero esto no impide que un choque se produzca. Solo se puede limitar el daño resultante del accidente. Algunos accidentes no siempre pueden sobrecargar cualquier eje o accionamientos de husillo.

Si el sistema de accionamiento (actuador) es más débil que la integridad estructural de la máquina, entonces el sistema de accionamiento simplemente empuja contra la obstrucción y los motores de accionamiento simplemente son superados. La máquina no puede detectar la colisión o el deslizamiento, por lo que, por ejemplo, la herramienta debe estar ahora en 210 mm en el eje X, pero está de hecho en 32mm donde golpeó la obstrucción y se deslizaba. Todos los próximos movimientos de la herramienta serán equivocados por-178mm en el eje X, y todos los movimientos futuros son ahora inválido, lo que puede resultar en más colisiones con pinzas, tornillos de banco, o la propia máquina. Esto es común en los sistemas de Lazo abierto paso a paso, pero no es posible en sistemas de circuito cerrado a menos que el deslizamiento mecánico entre el motor y el mecanismo de accionamiento se haya producido. En cambio, en un sistema de circuito cerrado, la máquina continuará para intentar mover contra la carga hasta que el motor de accionamiento entre en una condición de sobre corriente o una alarma de servo error siguiente se genera.

IV.E. Control de laso cerrado

Detectar colisiones y evitar las mismas és posible, mediante el uso de sensores de posición absolutos (codificadores de tiras o discos ópticos) para verificar que el movimiento se haya producido, o sensores de par o sensores de sobrecarga de energía en el sistema de accionamiento para detectar tensión anormal cuando la máquina sólo se debe mover y no en acción de corte, pero estos no son un componente común de la mayoría de máquinas CNC.

En su lugar, la mayoría de máquinas CNC simplemente confían en la exactitud de motores paso a paso, asumiendo que va a girar un número específico de grados en respuesta a los cambios del campo magnético. A menudo se supone que los motores paso a paso son perfectamente precisos y nunca pierden pasos, por lo que la vigilancia de la posición de la cabeza implica simplemente contar el número de impulsos enviados a los motores paso a paso a través del tiempo. Un medio alternativo de control de posición paso a paso generalmente no está disponible, por lo que la detección de caída o resbalón no es posible.

Las Máquinas CNC Comerciales utilizan controles de retroalimentación de bucle o laso cerrado para el movimiento del eje. En un sistema de circuito cerrado, el control es consciente de la posición real del eje en todo momento. Con la programación de un control adecuado, esto reducirá la posibilidad de un accidente, pero es todavía dependiente de las buenas habilidades del programador y del operador para asegurar la trayectoria correcta de la

herramienta y garantizar que la máquina se haga funcionar de una manera segura.

IV.F. Reacción con fuga (Backlash)

Dentro de los sistemas numéricos de programación CNC es posible que el generador de código pueda suponer que el mecanismo de control es siempre perfectamente preciso, o que las tolerancias de precisión son idénticas para todas las direcciones de corte o de movimiento. Esto no siempre es una condición verdadera en las maquinas CNC. Algunas con una gran cantidad de holgura mecánica todavía pueden ser muy precisas si la unidad o mecanismo de corte sólo es impulsado a fin de aplicar la fuerza de corte desde una sola dirección, y todos los sistemas de accionamiento están apretados juntos en esa dirección de corte. Sin embargo, un dispositivo CNC con juego alto y una herramienta de corte desafilada puede conducir a la fricción de corte y alza de la pieza en la que se está realizando el trabajo. Backlash también afecta a la precisión de algunas operaciones que implican retrocesos en el eje de movimiento durante el corte, tales como al realizar un círculo, donde el movimiento del eje es sinusoidal, es decir en sus dos direcciones cada eje. Sin embargo, esto puede compensarse si la cantidad de contragolpe o fuga en el cambio de dirección se conoce con precisión, por medio de los codificadores lineales o de medición manual.

El mecanismo de reacción alta en sí no es necesariamente invocada para ser repetidamente precisa para el proceso de corte, pero algunos otro objeto de

referencia o superficie de precisión se puede utilizar para poner a cero el mecanismo, por la aplicación de presión firmemente contra la referencia y el establecimiento de la referencia cero para todos los siguientes movimientos CNC codificados. Esto es similar al método de máquina herramienta manual de sujeción de un micrómetro en un haz de referencia y ajustando el dial Vernier a cero utilizando dicho objeto como referencia.

IV.F.1. Husillo o tornillo

Otra área en la que el backlash importa es en husillos o tornillos. El culpable de que se pierda movimiento al cambiar marcha atrás de un mecanismo que se supone debe transmitir el movimiento con precisión. En lugar de dientes de engranaje, el contexto es roscas de tornillo. Los ejes lineales deslizantes (Rieles de la máquina) de las máquinas son un ejemplo de aplicación.

La mayoría de los dispositivos de las máquinas durante muchas décadas, e incluso hoy en día, eran superficies deslizantes lineales de fundición de hierro simple pero precisas, como un deslizante de caja o los más comunes deslizantes de cola de milano, con una unidad de husillo Acme (tornillo de rosca). Con tan sólo una tuerca simple, un poco de backlash es inevitable. En máquinas manuales (no CNC), la forma en que los maquinistas compensan el efecto de la reacción es acercarse a todas las posiciones precisas usando la misma dirección de desplazamiento. Esto significa que si se han de marcar a la izquierda, y ahora quieren pasar a un punto hacia la derecha, se desplazan hacia la derecha todo el camino pasando la marca de la izquierda. Los

ajustes de las herramientas, enfoques y trayectorias de éstas están diseñados en torno a esa restricción.

IV.F.1.a. Tuerca doble

El siguiente paso después de la tuerca simple es una tuerca dividida, cuyas mitades pueden ser ajustadas y bloqueadas con tornillos de manera que las caras de la rosca presionen hacia la izquierda, y las caras de la otra mitad presionen hacia la derecha. Al contrario que en el ejemplo dial de la radio, la idea de tensión muelle no es útil aquí, ya que las máquinas tienen que ejercer demasiada fuerza contra el tornillo. Cualquier luz del resorte será suficiente para permitir el movimiento deslizante en absoluto y permitiría un ligero desvió en el cortador, en el mejor y en el peor movimiento del carro. Estos tornillos de diseños tuerca ajustada dividida (Acme-husillo) no pueden eliminar toda holgura en el carro de la máquina a menos que se ajusten de manera apretada. Por lo tanto, esta idea no se puede obviar totalmente como en el enfoque de la misma dirección, pero cierta reacción puede realizarse si es una pequeña cantidad (1 o 2 milésimas de pulgada), que es más conveniente en algunos trabajos de poca precisión es suficiente para permitirse ignorar la reacción (es decir, actuar como si no hubiera alguna).

CNC puede ser programado para utilizar el enfoque siempre de la misma dirección, pero no es la forma normal ni recomendable ni que se utilizan hoy en día, tuercas partidas de anti-reacción hidráulicas y las nuevas formas de husillo que no sea Acme / trapezoidal, tales como los husillos de bolas de

recirculación o dúplex conjuntos de engranajes helicoidales que son los más efectivos para eliminar el contragolpe. El eje puede moverse en cualquier dirección sin el movimiento Backlash.

La forma más sencilla CNC, como mini fresas o conversiones de manual a CNC, utiliza sólo la simple unidad tornillo y tuerca Acme. Los controles pueden ser programados con un valor de parámetro introducido para la reacción (backlahs) total en cada eje, y la máquina automáticamente añade la distancia de fuga en el programa cuando se cambia de dirección. Esta "compensación de holgura", es un truco muy útil para aplicaciones de bajo presupuesto. A nivel profesional CNC, sin embargo, utiliza los más caros diseños de mecanismos para eliminar holguras. Esto les permite hacer contorno 3D con una fresa radial de nariz de bola, por ejemplo, cuando la fresa radial viaja alrededor en muchas direcciones con facilidad y rigidez constante.

Algunos controladores de movimiento incluyen compensación de la holgura. La compensación puede lograrse simplemente añadiendo movimiento de compensación adicional (como se describió anteriormente) o mediante la detección de la posición de la carga en un sistema de control de bucle cerrado. La respuesta dinámica de reacción en sí, hace que al bucle de posición sea menos estable y con tendencia a la oscilación.

IV.F.1.b. Precarga

Backlash no es deseable en aplicaciones de posicionamiento de precisión tales como los ejes de direccionamiento de una maquina CNC. Pero esto puede ser minimizado por las características de diseño de los componentes físicos. Se han desarrollado avances importantes en materiales y tecnologías de manipulación más estrictas, tales como tornillos de bolas, tornillo de rodillos en lugar de los husillos normales. En casos de poca fuerza y no de mucha precisión son utilizados sistemas de avance como la banda de dientes (correa de tiempo) y con menor precisión la cremallera y piñón, en casos muy extremos requiere el uso de combinaciones con la hidráulica o mediante el uso de cojinetes precargados. Un rodamiento precargado utiliza un resorte u otra fuerza de compresión para mantener superficies de apoyo en contacto a pesar de la inversión de dirección.

IV.G. Tornillo de bolas (Ballscrew)

Los husillos de bolas ofrecen un medio eficiente para convertir el movimiento giratorio en movimiento lineal. Un tornillo de bolas es una mejora sobre un tornillo Acme sólo como un cojinete de bolas antifricción, es una mejora sobre un sistema liso de fricción. El conjunto de tornillo de bolas tiene un número de bolas de rodamiento que transfieren la carga entre la tuerca y el tornillo. La forma de la rosca llamada pista en la que el cojinete de bolas se direcciona es una forma gótica formada a partir de dos arcos del mismo radio con los centros encontrándose. Esta forma también se conoce como un arco gótico.

Un tornillo de bola es un actuador mecánico lineal que traduce el movimiento de rotación en movimiento lineal con poca fricción. Un eje roscado proporciona un camino de rodadura helicoidal (pista gótica) para rodamientos de bolas que actúan como un tornillo de precisión. Además de ser capaz de aplicar o resistir altas cargas de empuje, pueden hacerlo con la fricción interna mínima adecuada. Se fabrican con tolerancias estrechas y por tanto son adecuados para su uso en situaciones en las que es necesaria una alta precisión. El conjunto de bola actúa como la tuerca mientras el eje roscado es el tornillo. En contraste con los husillos convencionales (Acme), tornillos de bolas suelen ser bastante voluminoso, debido a la necesidad de tener un mecanismo para recircular las bolas.

Las bolas de rodamiento viajan dentro de la rosca del tornillo y la tuerca. Si la tuerca de bolas no tiene un mecanismo de retorno para éstas, las bolas se caerían al llegar al final de la tuerca. Por esta razón, varios métodos de recirculación se han desarrollado.

Conjunto de tornillo de bolas

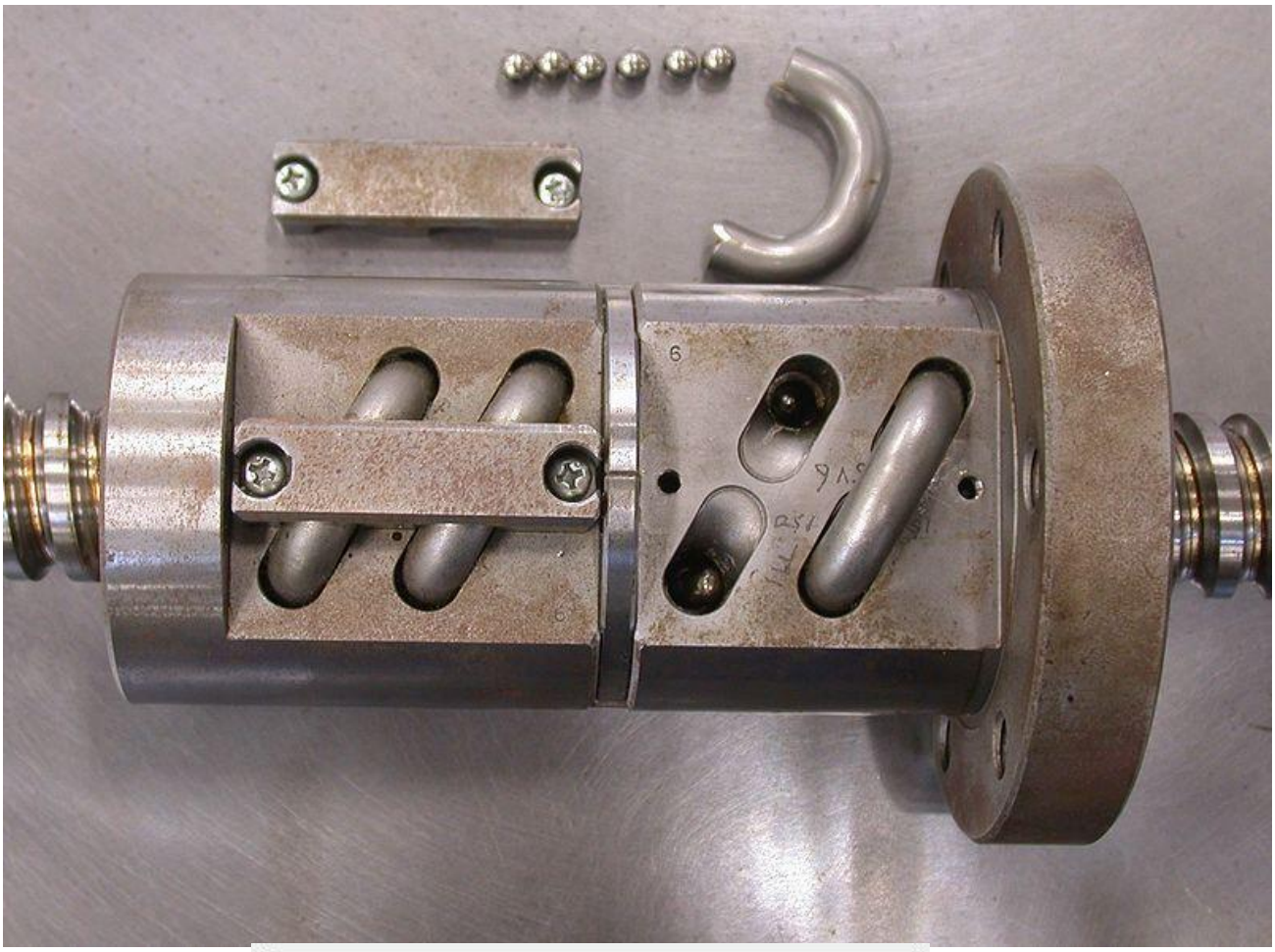
Ilustración 2 Conjunto de tornillo de bolas

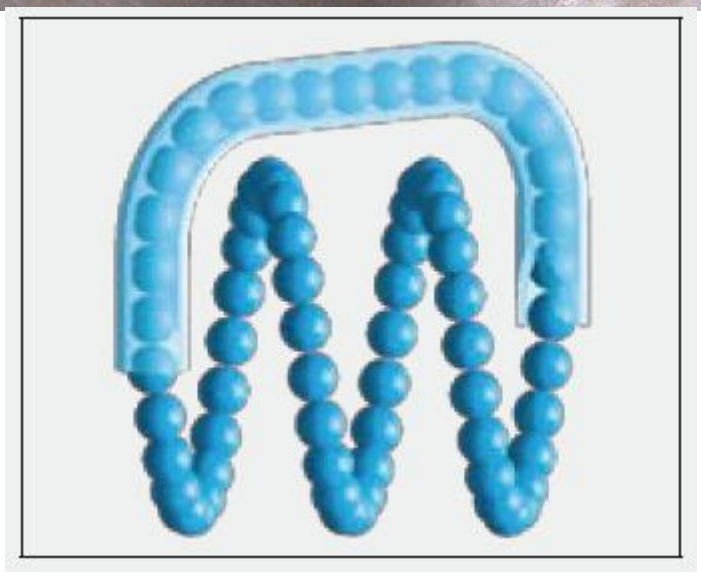
(Blogspot.com)

IV.G.1. Tuerca con retorno externo

Esta tuerca emplea un tubo sellado que recoge bolas de rodadura con el uso de un pico pequeño o dedo. Las bolas son recogidas por este pico o dedo y forzadas a viajar dentro del tubo y son reemplazadas de nuevo en la pista de rodadura.

Ilustración 3 Tuerca con retorno externo



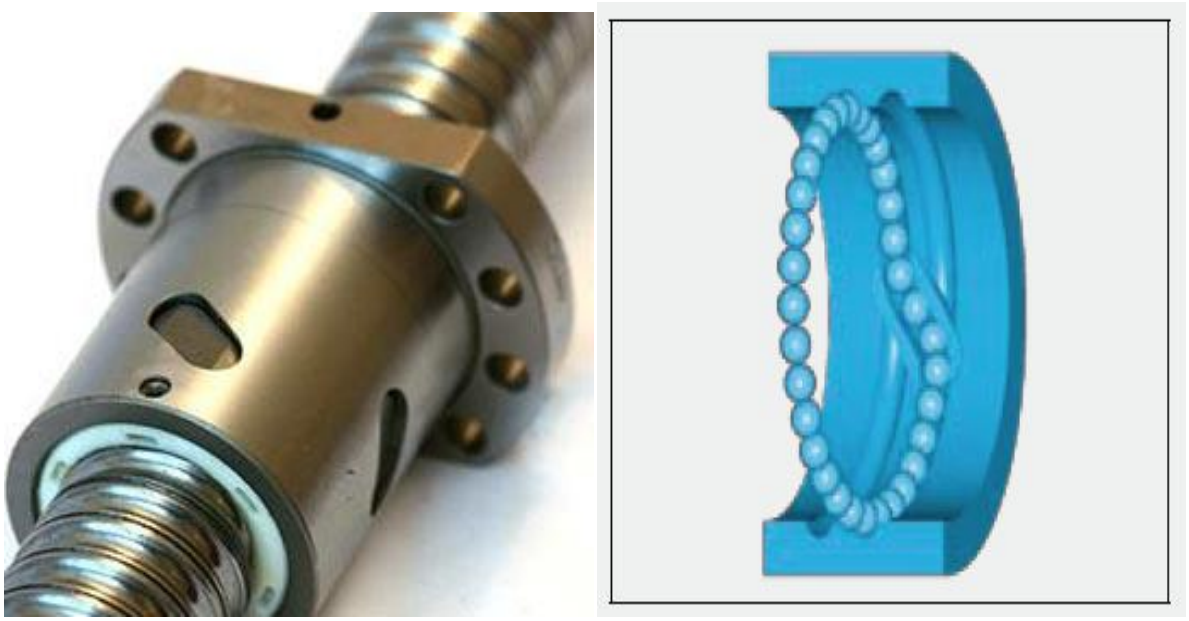


(Airliners.net)

IV.G.2. Tuerca con retorno interno de botón

Emplea un botón de regreso de estilo maquinado o casteado que permite a las bolas de rodamiento salir de la pista de rodadura y pasar un hilo (botón) que las reinserta en la misma pista pero al inicio de ésta.

Ilustración 4 Tuerca con retorno interno de botón



(Airliners.net)

IV.G.3. Tuerca con retorno de tapas finales

Emplea un tapón en el extremo de la tuerca de bolas. La tapa está mecanizada para recoger las bolas fuera del extremo de la tuerca y los dirigen hacia orificios que están perforados transversalmente en la tuerca. La tapa en el otro lado de la tuerca dirige las bolas de nuevo en la pista de rodadura.

Ilustración 5 Tuerca con retorno de tapas finales

(Airliners.net)

IV.H. Funcionalidad del tornillo de bolas

Los tornillos de bolas se utilizan en aviones y misiles para mover las superficies de control, especialmente para los actuadores de comandos eléctricos que pueden ser controlados a distancia por cable eléctrico, y de dirección de vehículos, puesto que tiene el poder para traducir el movimiento rotativo de un motor eléctrico en movimiento axial de la cremallera de dirección. También se utilizan en máquinas de herramientas, robots y equipos de montaje de precisión. Tornillos de bolas de alta precisión se utilizan en motores paso a paso para la fabricación de semiconductores.

IV.H.1. Fabricación

IV.H.1.a. Por laminado

Los ejes de los tornillos de bola pueden ser fabricado mediante laminado, obteniéndose un producto menos preciso, pero de bajo costo y eficaces mecánicamente. Husillos laminados de bolas tienen una precisión de posición de varias centécimas de mm por cada metro.

Los ejes de tornillo de alta precisión son típicamente precisos a 1/1000 de mm o mejor. Históricamente han sido mecanizados a la forma bruta, casco endurecido y luego templado. Un proceso de varios pasos se necesita porque el endurecido a alta temperatura distorsiona las piezas de trabajo. Y se puede producir tornillos de precisión al aplicar la técnica de Rectificación sobre el metal endurecido, siendo ésta la forma de obtener la mejor precisión aunque la más costosa.

IV.H.1.b. Por rectificación

Los ejes de este tipo de tornillos son de calidad suelen ser instrumentos de alta precisión a 250 nanómetros por centímetro. Ellos son producidos en máquinas de fresado de precisión con equipo óptico de medición de distancia y herramientas especiales de rectificación. Máquinas similares se utilizan para producir lentes ópticas y espejos. Ejes de tornillo para Instrumentos de precisión se hacen generalmente de Invar (aleación de acero al níquel), para evitar que los cambios de temperatura afecten demasiado las tolerancias.

También existen diversas configuraciones entre las cuales tenemos los de tuerca simple, de tuerca doble con precarga ajustable, y los de varias pistas o comienzos.

IV.I. Características ventajas y desventajas

IV.I.1. Ventajas

Baja fricción en los husillos de bolas produce eficiencia mecánica elevada en comparación con otras alternativas. Un tornillo de bola típica puede ser de 90 por ciento eficiente, en comparación con 50 por ciento de eficacia de un tornillo de avance "Acme" de igual tamaño. La falta de fricción de deslizamiento entre la tuerca y el tornillo se presta a la vida útil extendida del conjunto de tornillo (especialmente en los sistemas de no-reacción), la reducción de los tiempos de mantenimiento y sustitución de piezas y disminución de la demanda para la lubricación. Esto, combinado con la mejora en el rendimiento global y la reducción de las necesidades de energía, pueden compensar los costos iniciales de la utilización de los tornillos de bolas.

IV.I.2. Desventajas

Dependiendo de su ángulo de avance, los tornillos de bolas pueden ser impulsados de regreso debido a su funcionamiento interno de muy baja

fricción, opone mínima resistencia (es decir, el eje del husillo puede ser accionado linealmente para hacer avanzar la tuerca de bolas). Por lo general son indeseables para máquinas de herramientas alimentadas a mano, como la rigidez de un servo motor se requiere para mantener el cortador en el lugar del trabajo y la alimentación propia, es decir, si el cortador y la pieza de trabajo son liberados en algún momento el tornillo se moverá perdiendo su posición, esto puede ocasionar accidentes de atasco, colación y destrucción de la maquinaria, arruinando el cortador y la pieza de trabajo. El coste es también un factor muy importante, son demasiado caros por lo intrincado de su diseño no como los tornillos Acme que son más baratos de fabricar y además están esparcidos globalmente en todo. (Nookindustries)

IV.J. Husillo de rodillos

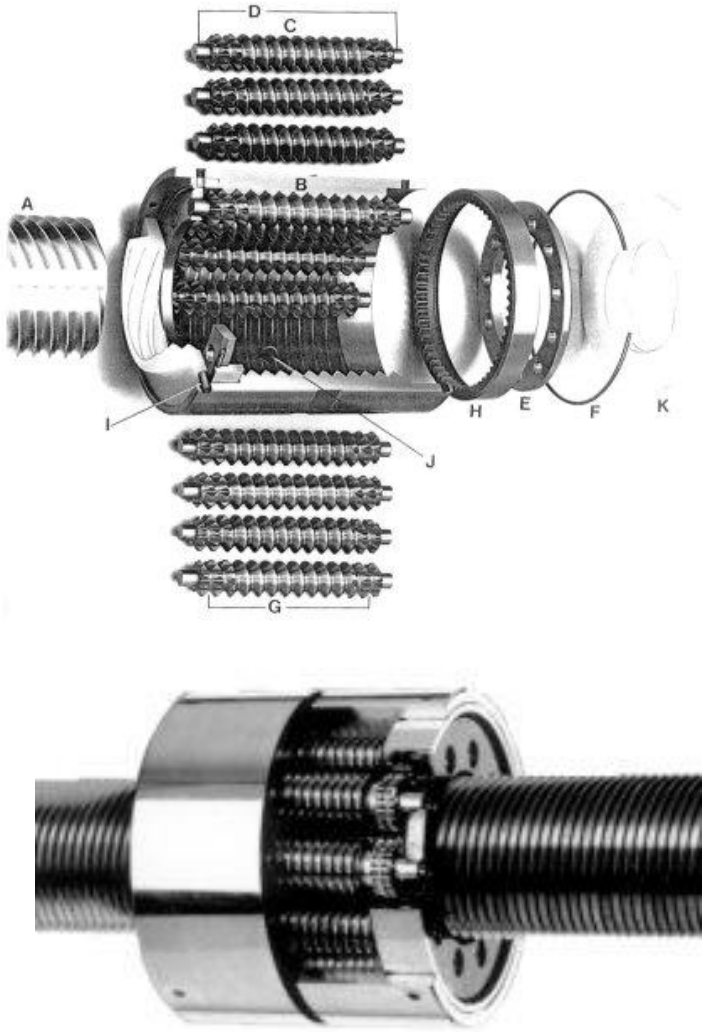
Un husillo de rodillos es un actuador mecánico similar a un tornillo de bolas que utiliza rodillos como los elementos de transferencia de carga entre la tuerca y el tornillo en lugar de las bolas. Los rodillos están típicamente roscados, pero también pueden tener ranuras dependiendo del tipo de tornillo rodillo. Proporcionando más puntos de apoyo que los tornillos de bolas dentro de un volumen dado, los husillos de rodillos pueden ser más compactos para una capacidad de carga dada, al tiempo que proporciona una eficacia similar (75% -90%) a velocidades de bajas a moderadas, y mantener la eficiencia relativamente alta a altas velocidades. Los husillos de rodillos pueden superar los tornillos de bolas en lo que respecta a la precisión de posicionamiento, capacidad de carga, rigidez, velocidad, aceleración y

tiempo de vida. Los actuadores de tornillo de rodillos pueden alcanzar clasificaciones de carga dinámica por encima de 130 toneladas de fuerza.

Los tres elementos principales de un husillo de rodillos planetarios típicos son el eje del tornillo, la tuerca y rodillos planetarios. El tornillo, un eje con una o entradas múltiples en forma de V, proporciona una pista de rodadura helicoidal para múltiples rodillos dispuestos radialmente alrededor del tornillo y encapsulada por una tuerca roscada. La rosca del tornillo es típicamente idéntica a la rosca interna de la tuerca. Los rodillos giran en contacto con éstos, y sirven como elementos de transmisión de baja fricción entre el tornillo y la tuerca. Los rodillos tienen típicamente un solo hilo de rosca de inicio con abombamiento de los flancos que limitan la fricción en los contactos de los rodillos con el tornillo y la tuerca. Los rodillos orbitan alrededor del tornillo a medida que giran (en la forma de engranajes planetarios para el engranaje solar), y por tanto se conoce como planetario, o satélite. Al igual que con un tornillo de guía o tornillo de bola, la rotación de la tuerca da como resultado el viaje en el tornillo, y la rotación del tornillo da como resultado el viaje en la tuerca.

Una mayor capacidad de carga estática requiere de un diámetro de tornillo de mayor diametro y mayor cantidad de roscas ocupadas por rodillos, pero no necesariamente a una mayor capacidad de carga dinámica. Tuercas precargadas, tuercas partidas y tuercas dobles están disponibles para eliminar holguras. (Wikimedia Foundation, Inc.)

Ilustración 6 Husillo de rodillos



(servo-drive.com)

IV.K. Piñón y cremallera

Un arreglo de piñón y cremallera es un tipo de actuador lineal que comprende un par de engranajes que convierten el movimiento giratorio en movimiento lineal. Un engranaje circular llamado “piñón” engancha dientes en una barra lineal “cremallera”, el movimiento de rotación aplicado al piñón hace que la cremallera se mueva, por lo tanto traduce el movimiento de rotación del piñón en movimiento lineal de la cremallera.

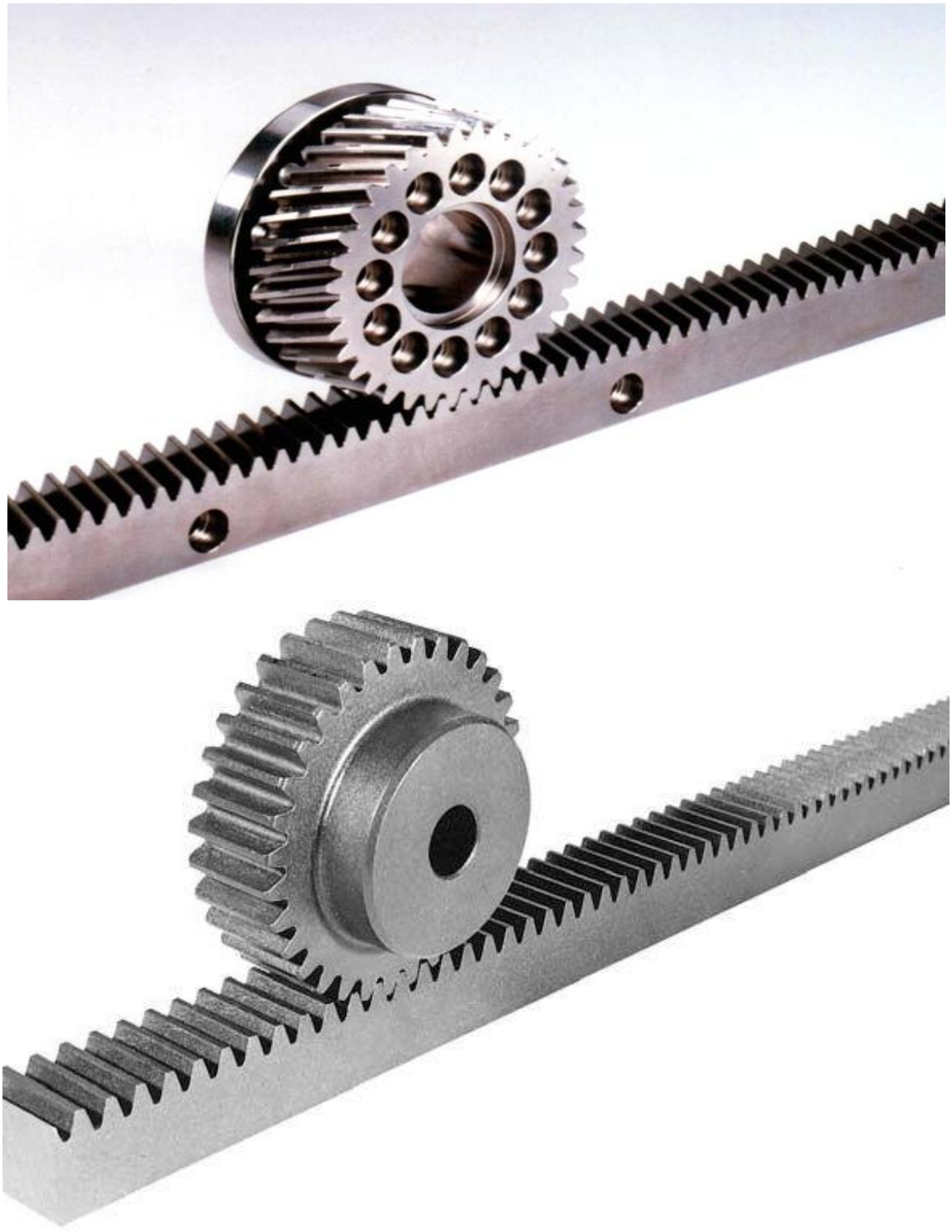
La cremallera y piñón se encuentra comúnmente en el mecanismo de dirección de automóviles u otros vehículos de ruedas. Esta disposición proporciona una ventaja mecánica a mucho menor costo que otros mecanismos como el tornillo de bolas, pero mucha menos precisión.

Los tiempos de aceleración pueden ser muy pequeños debido a su diseño compacto y bajos momentos de inercia de masa. Una alta precisión se puede alcanzar al usar un reductor de engranajes compacta (moto reductor) con piñón integrado de alta precisión, la cremallera proporciona un peso económico y ahorro de espacio por lo que es un alternativo a los tornillos de bolas de precisión y motores lineales, es decir ofrece un aceptable rendimiento por menos dinero, especialmente en longitudes de recorrido de más de 1 metro. Otros ahorros de costes se consiguen mediante la eliminación de las pistas móviles y aparatos de enfriamiento requerido por motores lineales. Una ventaja es la eliminación de la contaminación por metales, que siempre son un problema con motores lineales.

Todas las superficies de montaje de cremallera y piñón se pueden ajustar con tolerancias estrictas, proporcionando al usuario con opciones de montaje flexibles. La cremallera es fácil de instalar en longitudes ilimitadas sin extras ni procedimientos de configuración necesarios. Las longitudes suelen ser estándar en porciones de 1 a 2 metros de las que están disponibles. Las capacidades de carga son otro atractivo de este sistema, pues resisten el

rango de toneladas. Unidades piñón y cremallera con ángulo o helicoidales (ilustración 7) promocionan mejor precisión y ofrece un óptimo funcionamiento al ser suave y un nivel de ruido muy bajo.

Ilustración 7 Piñón y Cremallera



(Atlanta Drive Sistens)

Hay también sistemas de alta precisión, sin juego de cremallera y piñón, para aplicaciones que requieren máxima precisión de posicionamiento y repetitividad, la reacción del sistema puede ser eliminado mediante el uso de una fracción de piñón o piñones duales con precarga como se muestra en la ilustración 8.

Ilustración 8 piñones duales con precarga

(Atlanta Drive Sistens)

IV.L. Correa de distribución

Una correa de distribución, o banda de tiempo o correa de dientes (uso informal), es una parte de un motor de combustión interna que controla la sincronización de válvulas del motor.

Las correas de distribución sustituyen las cadenas de sincronización que eran comunes hasta la década de 1970 y 1980 (aunque en la última década se ha producido resurgimiento del uso de la cadena para muchos fabricantes). Algunos fabricantes, como BMW y Mercedes-Benz, son conocidos por utilizar cadenas de distribución debido a su durabilidad. El término "banda de tiempo" se utiliza a veces para el caso más general de cualquier correa plana con dientes integrales, aunque tal uso es un nombre inapropiado ya que no hay sincronización de temporización.

Mientras que las cadenas y los engranajes pueden ser más duraderos, las correas de caucho compuestas son más silenciosas en su funcionamiento (en la mayoría de los motores modernos la diferencia de ruido es apreciable), son menos costosas y más eficientes, a fuerza de ser más ligeras, en comparación con un sistema de engranajes o de cadena. Además, las correas de distribución no requieren lubricación, que es esencial con una cadena de distribución o engranajes. Una correa de distribución es una aplicación específica de una correa síncrona utilizada para transmitir potencia de rotación sincrónica.

IV.L.1. Construcción

Una correa de distribución es típicamente de goma o caucho con fibras de alta resistencia (por ejemplo, fibra de vidrio o Twaron / Kevlar) que recorren la longitud de la correa como elementos de tensión.

El caucho se degrada con temperaturas más altas, y el contacto con aceite. Así, la esperanza de vida de una correa de distribución se reduce en motores calientes o con fugas. Las nuevas correas están hechas de materiales resistentes a la temperatura, tales como "nitrilo altamente saturado" (HSN). La vida de las cuerdas de refuerzo también se ve muy afectada por el agua y anticongelante. Esto significa que las precauciones se deben tomar especialmente para aplicaciones en las que haya exposición al agua, se debe permitir que el agua se drene fuera o ser sellados por el contacto con la correa.

Antiguos cinturones tenían dientes en forma de trapezoide, éstos conducen a altas tasas de desgaste de los dientes. Las nuevas técnicas de fabricación permiten dientes curvos que son más silenciosos y duran más.

El mercado de accesorios fabrica correas de temporización que pueden utilizarse para alterar el rendimiento del motor. Cinturones normales de tiempo pueden estirarse a altas revoluciones, lo que retarda la leva y por lo tanto la ignición. Por esto existen cinturones más fuertes en el mercado de accesorios, cinturones que no se estiran y el momento se conserva. En cuanto al diseño del cinturón reduciendo el ancho del mismo se consigue reducción en el peso y en la fricción.

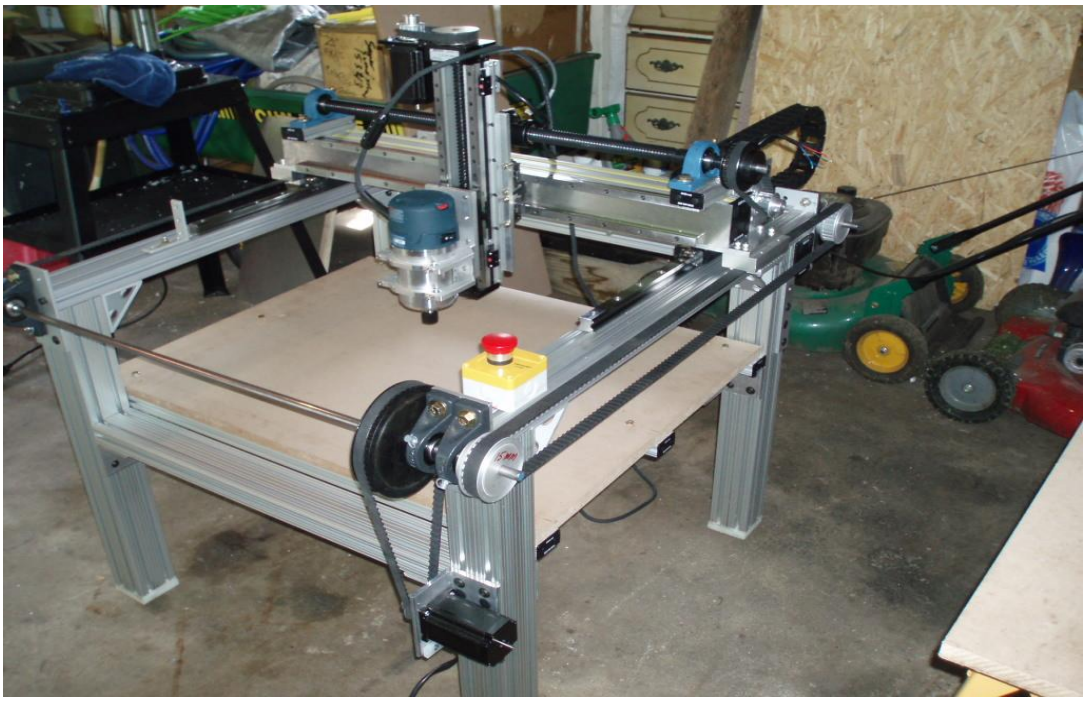
Es una forma interesante de usar una correa de tiempo con un tensor hecho con un muelle de torsión (ilustración 9).

Ilustración 9 Una correa de distribución

(I Heart Robotics)

Es una de las formas más baratas de conseguir movimiento lineal, es muy imprecisa y su resistencia a la carga es muy reducida por lo que es posible usarla para trabajos que requieran un mínimo esfuerzo solamente, es el método más utilizado por estudiantes, aficionados y en especial por la comunidad de aficionados como se muestra en la ilustración 10.

Ilustración 10 uso de la correa de tiempo ''hobby''



(Blogspot.com)

Otros de los componentes esenciales de la máquina son las rieles o guías.

IV.M. Rieles o guías lineales de cojinete

Las rieles o Guías Lineales de cojinete son elementos diseñados para proporcionar un movimiento libre en una dimensión. Hay muchos diferentes tipos de rodamientos de movimiento lineal.

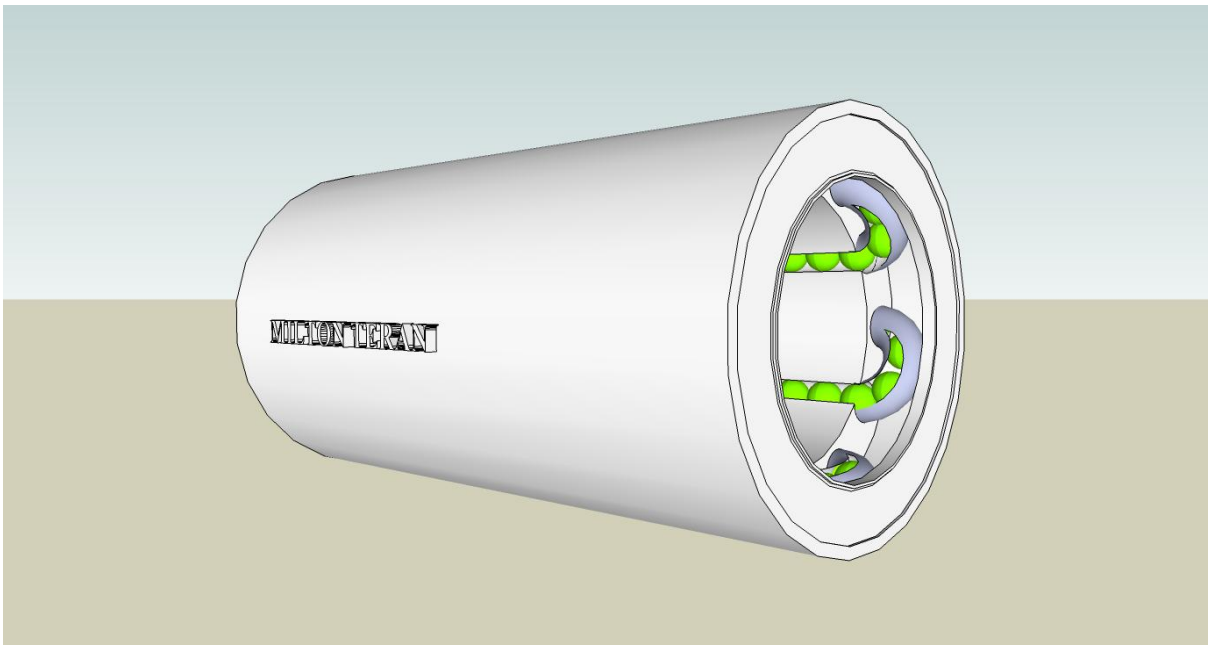
Guías lineales motorizados tales como deslizamientos de máquinas, mesas XY, mesas de rodillos y algunas diapositivas de cola de milano son rodamientos movidos por mecanismos de accionamiento. No todas las guías lineales son motorizadas, hay no motorizadas como de cola de milano, cojinete de bolas y cojinete de rodillos. Son de baja fricción y ofrecen

movimiento lineal para el equipo, pueden ser impulsadas por la inercia o a mano. Todas las guías lineales proporcionan un movimiento lineal sobre la base de los cojinetes, si son rodamientos de bolas, deslizante de cola de milano, rodamientos lineales de rodillos, cojinetes magnéticos o de fluido. Mesas XY o cruces lineales, deslizante automática y otros deslizantes avanzados usan rodamientos de movimiento lineal para proporcionar el movimiento a lo largo de ambos ejes X e Y.

IV.M.1. Rodamiento lineal de bolas

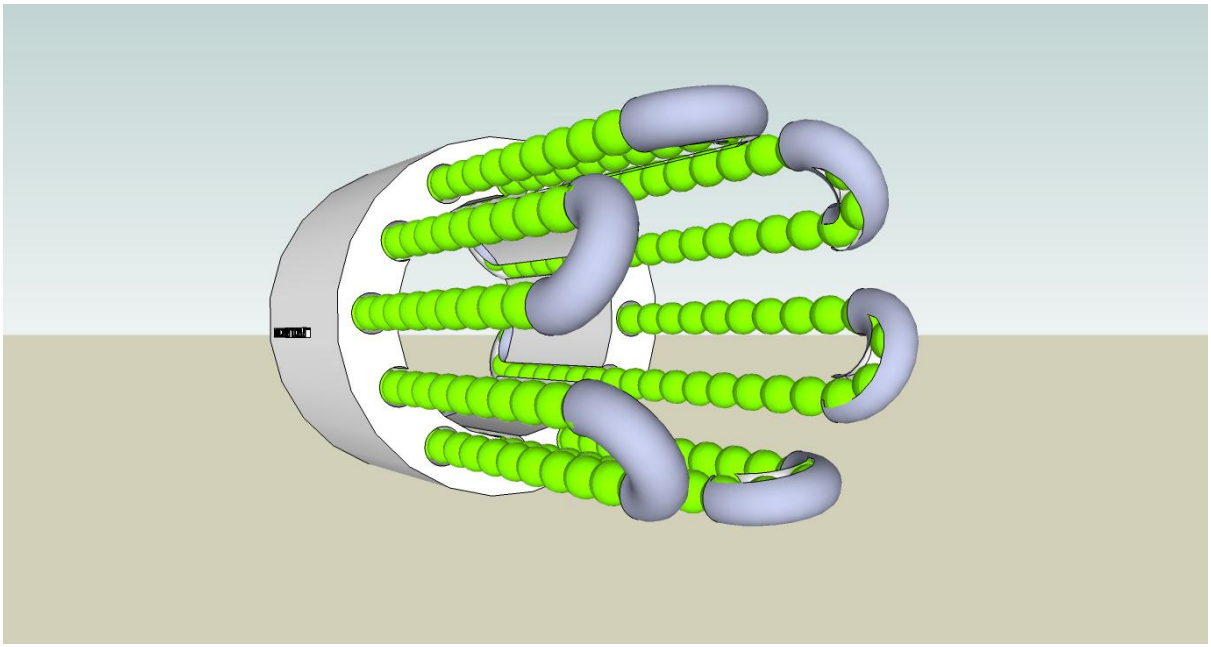
Un rodamiento lineal de bolas como se muestra en la ilustración 11 se compone generalmente de un anillo de exterior y varias filas de bolas retenidas por jaulas. Las jaulas fueron mecanizadas originalmente de metal sólido y fueron reemplazadas rápidamente por piezas estampadas y plásticas. Cuenta con un movimiento suave y de baja fricción, alta rigidez y una larga vida. Son económicos y fáciles de mantener y reemplazar. El riel en el que se desplazan los cojinetes es una barra simple redonda, muy fácil colocarle retenes de todo tipo por lo que le hace un sistema ideal para ambientes con muchos contaminantes. Puede alcanzar altas velocidades, alta rigidez y precisión y pueden ser de bajo costo con relación al tamaño y con respecto a los cojinetes de tipo perfil, es por esto que se muestra como el sistema más atractivo para mi proyecto.

Ilustración 11 Rodamiento lineal de bolas recirculantes



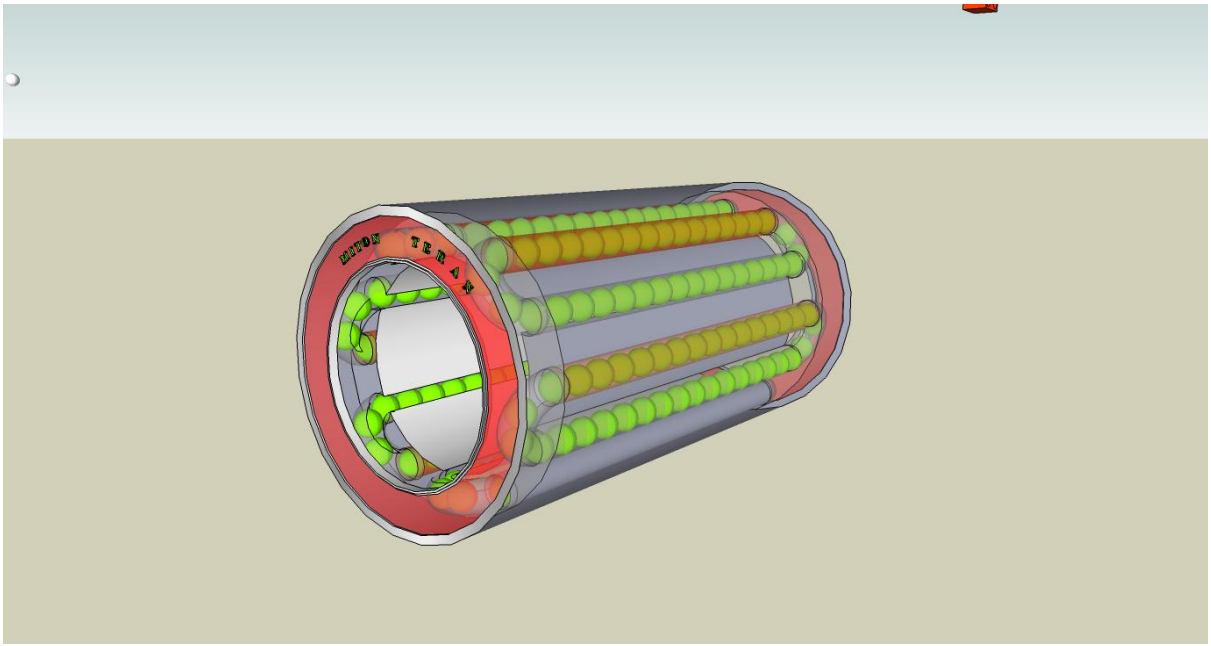
(Milton Terán TCC.)

Ilustración 12 Partes internas de Rodamiento lineal



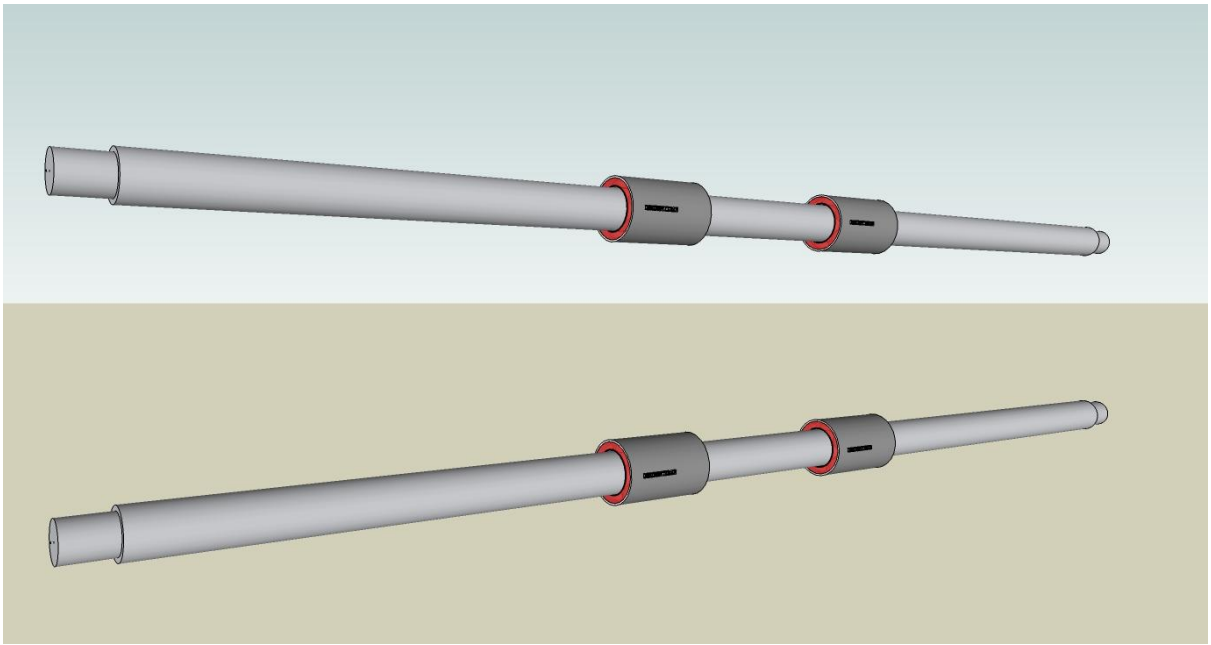
(Milton Terán TCC.)

Ilustración 13 estructura de rodamiento lineal



(Milton Terán TCC.)

Ilustración 14 Ensamble de Riel y Rodamiento



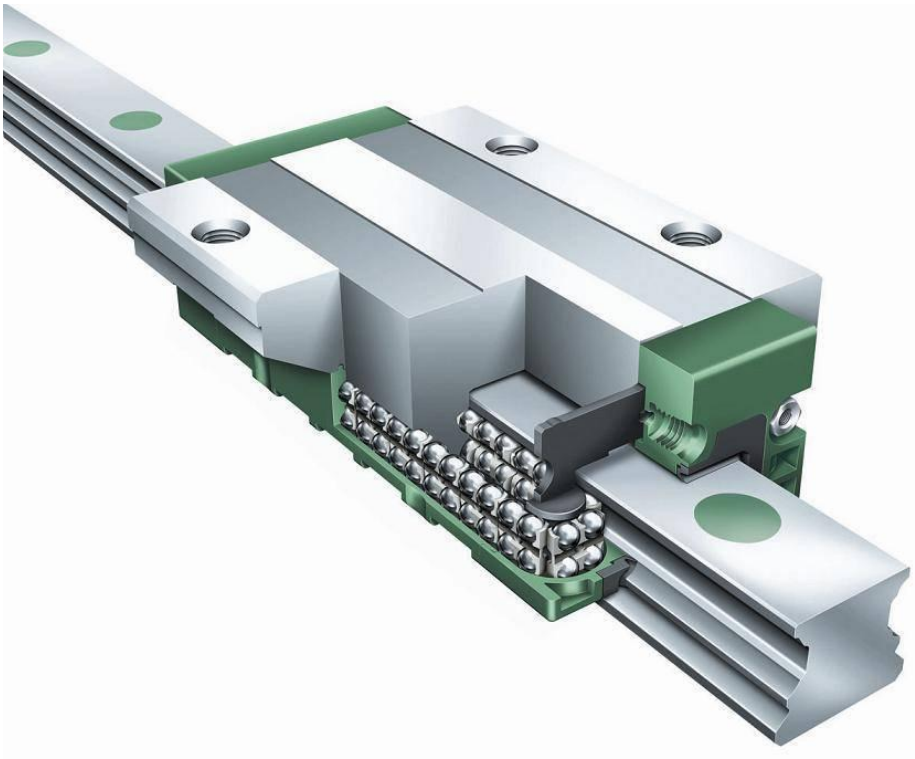
(Milton Terán TCC.)

IV.M.2. Cojinetes de bolas

También llamados "Carros Deslizantes" de bolas, los cojinetes de bolas son el tipo más común de deslizamiento lineal. Los cojinetes de bolas ofrecen movimiento de precisión suave a lo largo de un diseño lineal de un solo eje, con la ayuda de cojinetes de bolas alojadas en la base lineal, con propiedades de auto lubricación que aumentan la fiabilidad. Algunas aplicaciones incluyen instrumentación delicada, montaje robótico, gabinetes, electrodomésticos de gama alta y entornos de salas limpias, que atienden principalmente a la industria manufacturera, la electrónica y la industria de la construcción.

Normalmente construido a partir de materiales tales como aluminio, acero templado laminado en frío y el acero galvanizado, los cojinetes de bolas constan de dos filas de rodamientos de bolas lineales contenidas en cuatro pistas y situados en lados diferentes de la base, que soportan el carro para el movimiento lineal a lo largo de las pistas de rodamiento. Este movimiento lineal de baja fricción puede ser alimentada por un mecanismo de accionamiento, la inercia o por la mano. Los cojinetes de bolas tienden a tener una capacidad de carga menor para su tamaño en comparación con otras guías lineales porque las bolas son menos resistentes al desgaste y la abrasión. Además, los cojinetes de bolas están limitados por la necesidad de encajar en los sistemas de alojamiento, tanto la riel que es en forma de perfil como el cojinete están fabricados en conjunto por lo que conforman una unidad, esto los convierte en los elementos más caros del mercado para propósitos de movimiento lineal.

Ilustración 15 Cojinete de bolas con Riel perfil



(thomasnet.com)

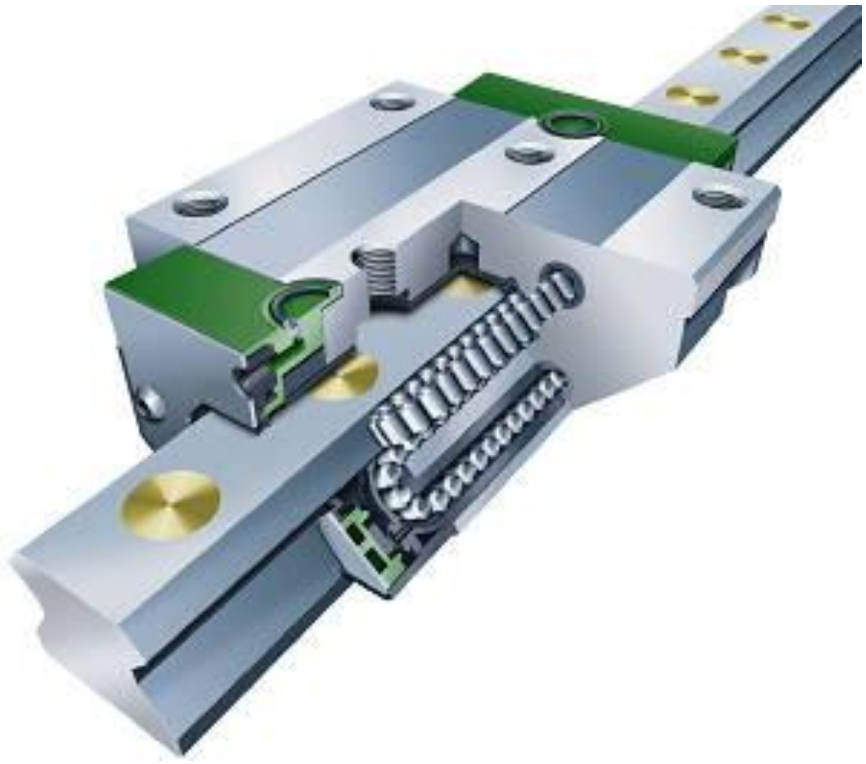
IV.M.3. Cojinete de rodillos

És un deslizante de rodillos que proporcionan movimiento lineal con baja fricción, las guías lineales pueden ser motorizadas o impulsadas por la inercia o a mano. El Cojinete de rodillos es un rodamiento lineal, los rodillos son frecuentemente dispuestos en cruz para proporcionar capacidades de carga más pesadas y un mejor control del movimiento. Sirviendo a industrias como la fabricación, la óptica, medicina y telecomunicaciones, guías de rodillos son versátiles y se pueden ajustar para satisfacer numerosas aplicaciones que típicamente incluyen salas limpias, entornos de vacío, manejo de materiales y maquinaria de automatización.

Consta de una base estacionaria lineal y un carro móvil, los cojinetes de rodillos funcionan de manera similar a los cojinetes de bolas, excepto en que los rodamientos alojados dentro del carro son en forma de cilindro en lugar de en forma de bola. Los rodillos se entrecruzan en un ángulo de 90 ° y se mueven en las rieles de cuatro pistas planas y paralelas que rodean a los rodillos. Los rodillos están entre ranurados "V" que son las pistas de los rodamientos. Se construyen a partir de acero de grado de rodamiento o de acero inoxidable.

A pesar de que las guías de rodillos no poseen auto-limpieza, son adecuadas para entornos con bajos niveles de contaminantes en el aire, tales como polvo y suciedad. Como uno de los tipos de guías lineales más caros, las guías de rodillos son capaces de proporcionar un movimiento lineal en más de un eje a través de deslizantes apilables y carruajes dobles. Los cojinetes de rodillos ofrecen más contacto que un rodamiento de bolas, creando una superficie de contacto más amplia debido a la consistencia de contacto entre el carro y la base esto resulta en una menor erosión y desgaste.

Ilustración 16 Cojinete de Rodillos



(Drives.co.uk)

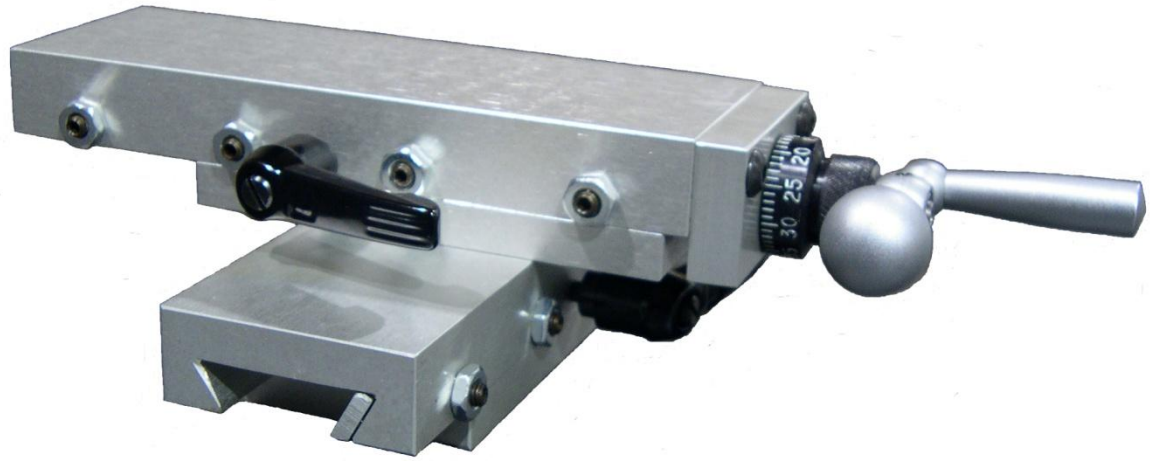
IV.M.4. Deslizante de cola de Milano

El deslizante de cola de milano, o riel de cola de milano se construye típicamente a partir de hierro fundido, pero también puede ser construido a partir de aluminio de capa dura, plásticos o acero inoxidable. Como cualquier rodamiento, una corredera de cola de milano se compone de una base estacionaria lineal y un carro móvil. Un carro de cola de milano tiene un canal en forma de V, o en forma de cola de milano sobresaliente que encaje en la ranura de base lineal que es de forma correspondiente. Una vez que el carro está provisto de cola de milano en el canal de su base, el carro está bloqueado en su eje lineal del canal y permite el movimiento lineal libre. Cuando una plataforma está fijada al carro de una corredera de cola de

milano, una tabla de cola de milano se crea, ofreciendo capacidades de transporte de carga.

Debido a que el deslizante cola de milano tienen un área grande de superficie de contacto, una fuerza mayor es necesaria para mover el carro que otras guías lineales, que se traduce en tasas de aceleración más lenta. Adicionalmente, los portaobjetos de cola de milano tienen dificultades con la alta fricción, pero son ventajosas cuando se trata de la capacidad de carga, la asequibilidad y durabilidad. Capaz de largo recorrido, las guías de cola de milano son más resistentes a los golpes que otros rodamientos, y la mayoría son inmunes a la contaminación química, el polvo y la suciedad. Dispositivos de cola de milano pueden ser motorizados, de tipo mecánico o electromecánico. Deslizantes de cola de milano eléctricos son accionados por un número de diferentes dispositivos, tales como tornillos de bola, cinturones y cables, o cremallera que son impulsados por motores funcionales tales como motores paso a paso, motores lineales y de servo. Las riels de cola de milano son sistemas de contacto directo, lo que es apropiado para aplicaciones con cargas pesadas, incluyendo máquinas lentas CNC, dispositivos de transporte, máquinas especiales y dispositivos de prensión. Se utiliza principalmente en las industrias manufactureras y de mecanizado de acero y otros metales duros, las diapositivas de cola de milano no son ideales para aplicaciones de alta precisión, ni velocidad, ni de longitudes de más de un metro.

Ilustración 17 Cola de Milano (Dovetail)



(Milwaukee MachineTool Corporation)

Ilustración 18 Cola de Milano

(Milwaukee MachineTool Corporation)

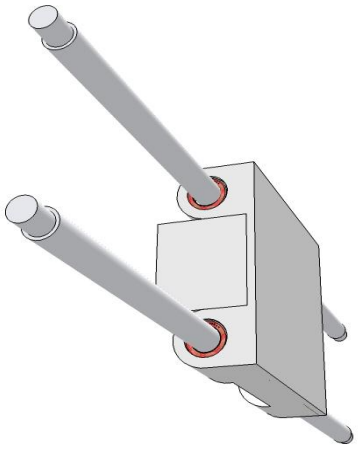
CAPÍTULO V

DISEÑO DE LA MÁQUINA CNC

Para el diseño de la máquina, partí de la investigación de cada uno de los mecanismos que forman parte de los componentes, así como de la accesibilidad, disponibilidad, efectividad y especialmente el costo de adquisición o construcción sin perder fiabilidad, resistencia y durabilidad.

Comencé con la búsqueda y adquisición de los principales componentes de la máquina y luego de una cuidadosa selección del más adecuado de cada uno, complete el diseño final. Primero el tipo de riel y rodamiento que usaré es el Rodamiento lineal de recirculación de bolas, éste en conjunto con barras sólidas redondas de acero templado, todo el conjunto de 50 mm de diámetro en la barra y con una longitud de 1650 mm dos barras con cuatro rodamientos conforman el set de cada eje: X o Y.

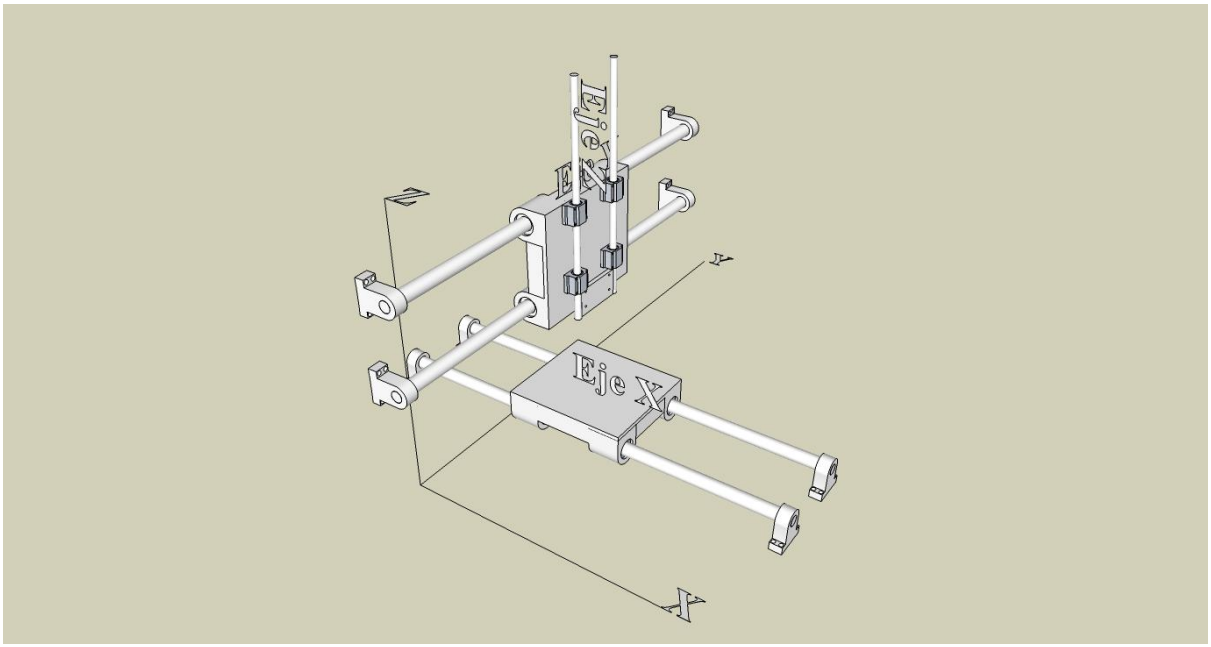
Ilustración 19 Conjunto deslizante eje X, Y o Z



(Milton Terán TCC.)

El arreglo en el plano cartesiano tridimensional nos da como resultado los tres ejes X, Y, Z.

Ilustración 20 tres ejes en el espacio tridimensional



(Milton Terán TCC.)

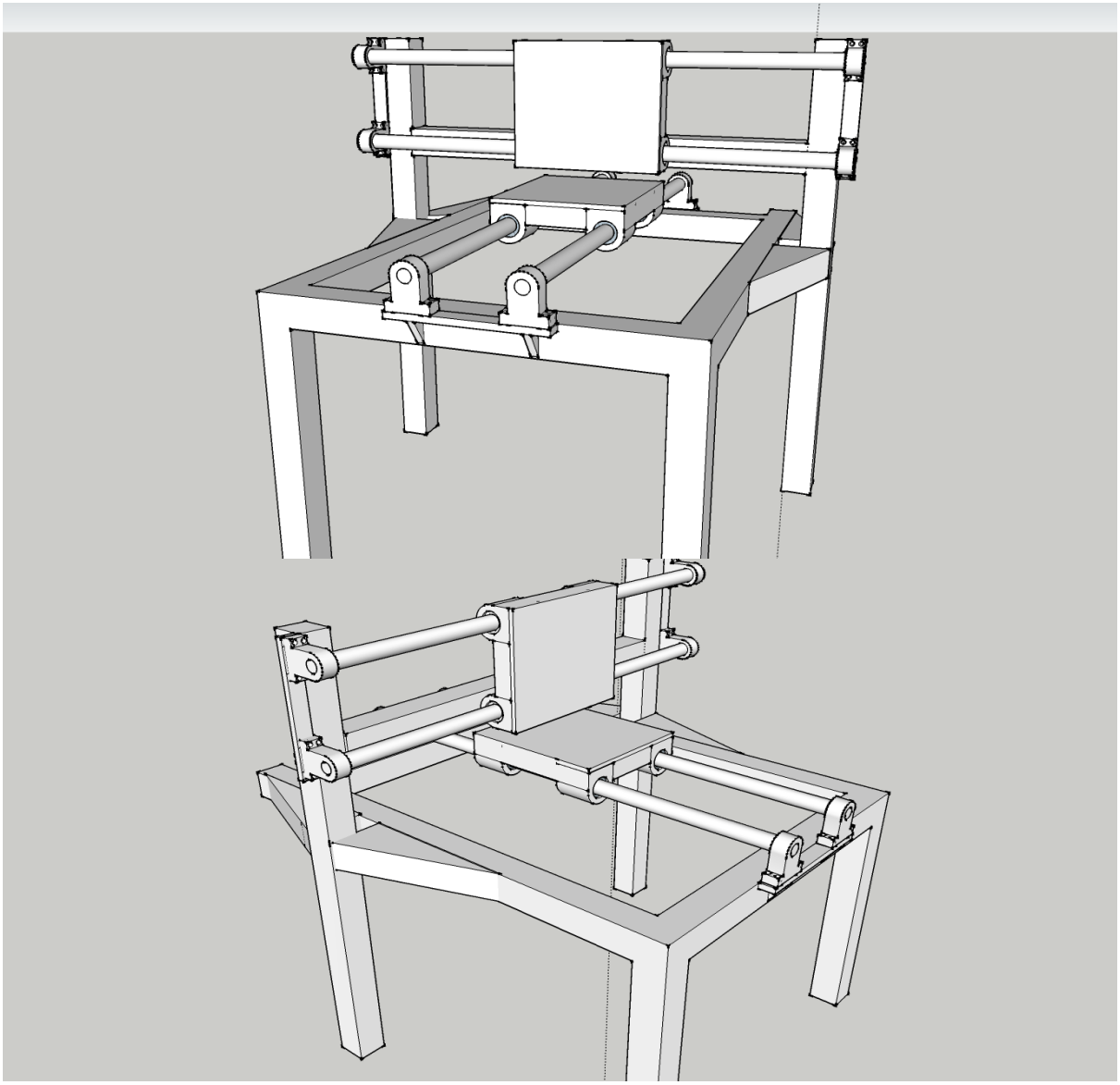
V.A. El Diseño de la estructura

El diseño de la estructura corresponde a la distribución de los ejes. Considerando parámetros basados en la funcionalidad que se quiere conseguir, en mi caso quiero lograr una funcionalidad para materiales diversos y que tenga la capacidad de tallar o esculpir, materiales como: madera, cera plástica, grafito y metales suaves como: Bronce, Cobre, Oro, Plata y en especial Aluminio, es decir todos los materiales cuyo grado de dureza sea inferior al del Aluminio.

Para esto mi diseño debe tener la rigidez adecuada y por sobre las cargas que deba soportar al ejercer fuerza de corte.

Los soportes de las barras las diseñé en base a la fuerza de la carga que resistirá antes de ceder en el equivalente de 0.0001 metro según mis pruebas de campo en el diseño (ilustración 21) este punto de inflexión se da al ejercer una fuerza de carga de 1,2 toneladas directamente en los ejes.

Ilustración 21 Estructura de la Maquina

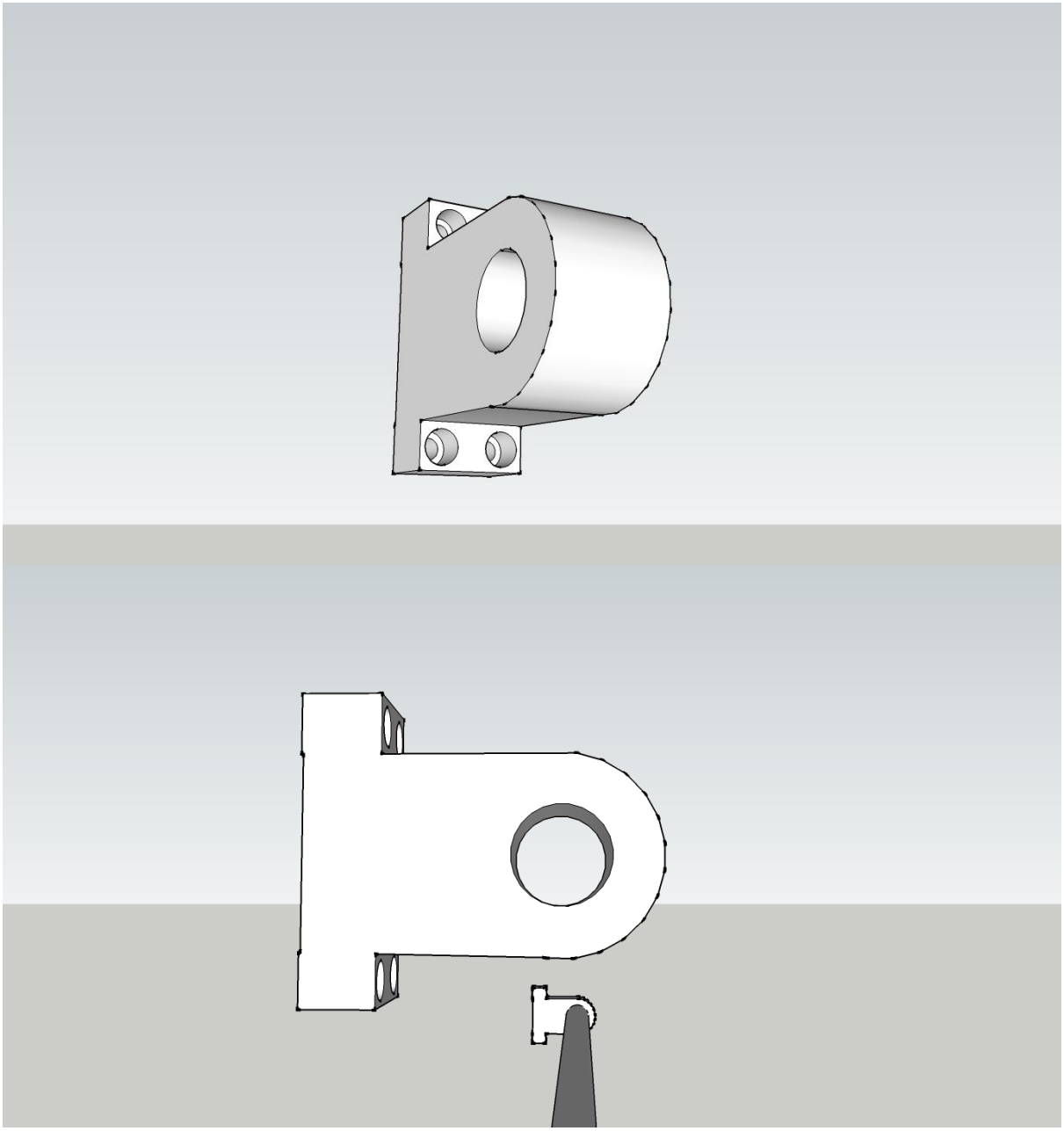


(Milton Terán TCC.)

V.B. Diseño bases de ejes

Para sostener las rieles de cada eje se requiere de bases lo suficientemente fuertes para transferir la carga a la estructura de acero, para ello diseñé unas con extra resistencia puesto que son partes estáticas y su peso no afecta al sistema como las partes móviles o que viajan a lo largo de cada eje, en cuyo caso se quiere conseguir el menos peso posible debido al momento de inercia que éstos tendrán.

Ilustración 22 Base de riel de ejes



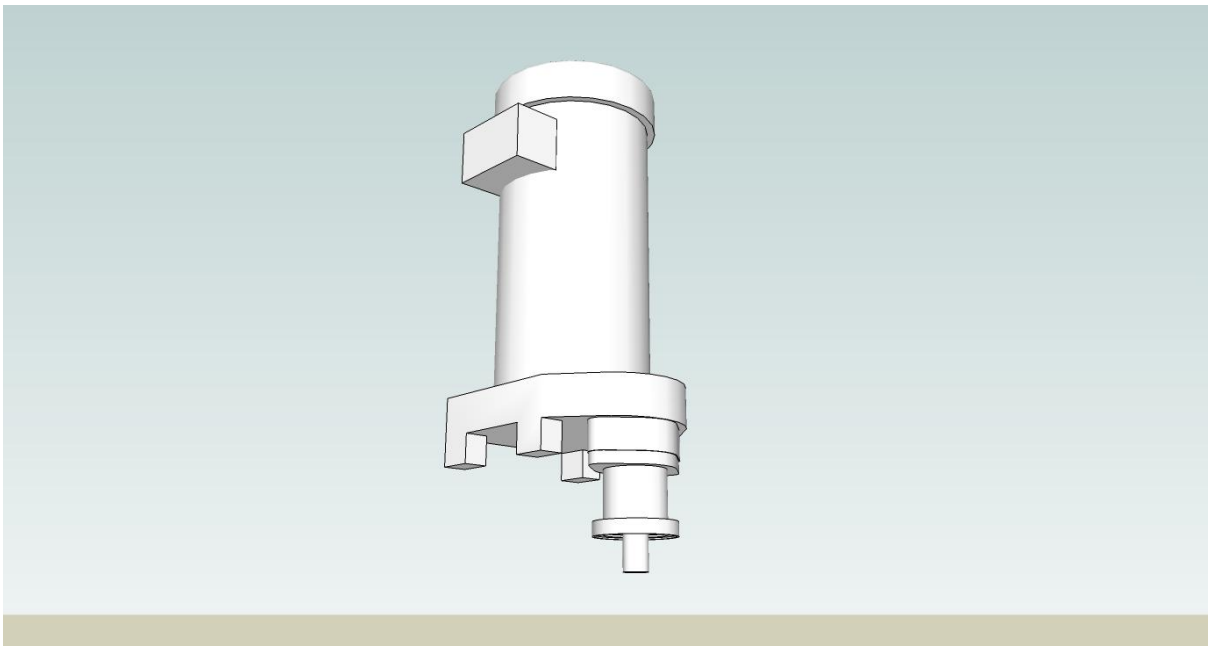
(Milton Terán TCC.)

V.C. Cabeza cortante

Otro punto importante es considerar la cabeza cortante, el tipo de motor, la fuerza, tamaño, peso, y en especial las revoluciones por minuto o (RPM) por sus siglas. Yo conseguí un motor Router (perfiladora, tupi, rebajadora entre otros nombres con los que se le conoce al mismo dispositivo) de 2 hp (1,5

Kw) con máx. RPM 15.000, con un peso de 29 kg. La entrada de corriente es de 220 voltios 3ph de inducción jaula de ardilla de grado industrial (heavy duty) al cual lo digitalice para incorporarle al diseño 3D.

Ilustración 23 Router cabeza cortante

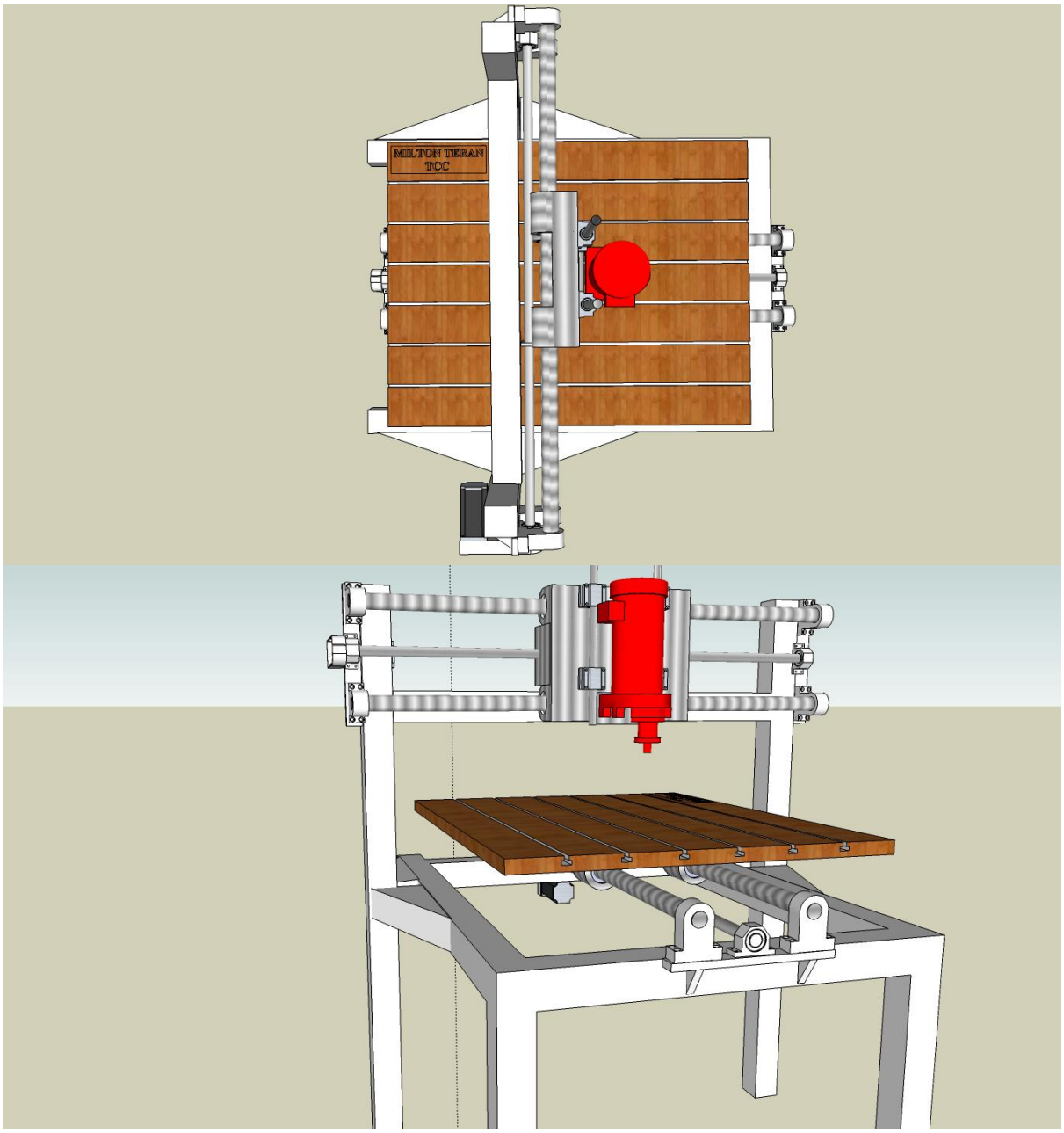


(Milton Terán TCC.)

V.D. Diseño de recorrido de ejes

Para que el sistema sea más rígido sin tener que hacer cálculos meticulosos de peso fuerza y más importante aún, no tener que usar actuadores de alta potencia, mi diseño es de mesa móvil, es decir que a lo largo del eje X se mueve la mesa en lugar de la cabeza cortante, de esta manera la estructura que soporta la cabeza puede ser reforzada sin afectar el momento de inercia del recorrido X.

Ilustración 24 Mesa en eje X.



(Milton Terán TCC.)

V.E. Diseño de los actuadores

En este punto, el diseño de los actuadores es muy importante debido al grado de rigidez que tomé como parámetro. De entre todos los modelos anteriormente expuestos en este informe el más adecuado, aunque también uno de los más costosos y difíciles de conseguir el Tornillo de bolas

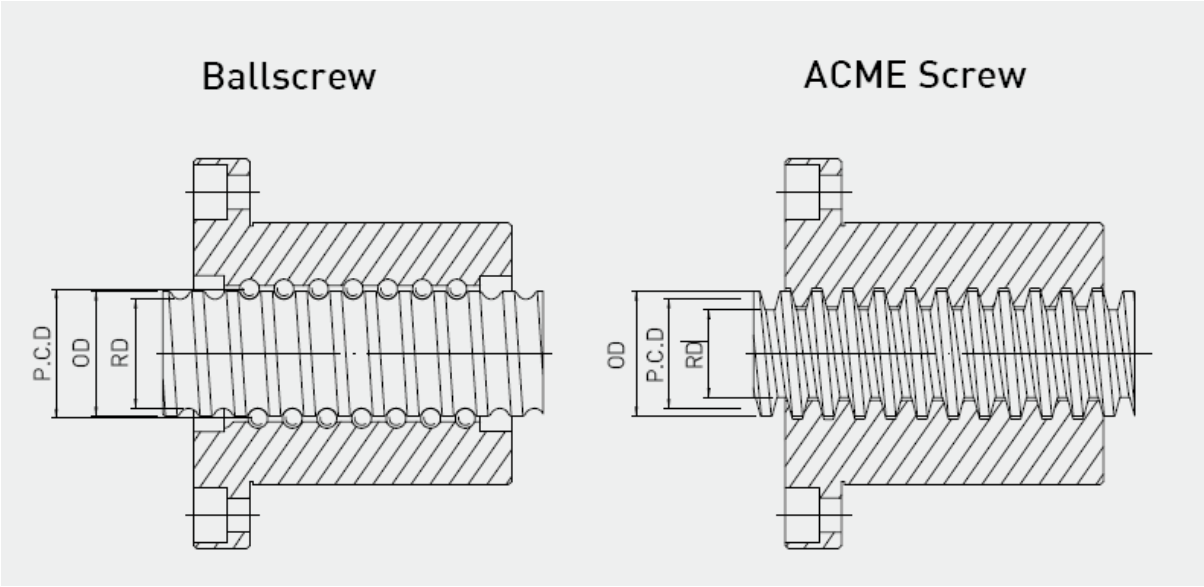
recirculantes. Puesto que su precisión, durabilidad, resistencia a ambientes de trabajo pesado y lo más importante para mi diseño la repetitividad, para hacer una comparación: éste es el mismo elemento de diseño que los cojinetes de las ruedas del vehículo familiar que funciona a diario soportando cargas promedio que superan las cinco toneladas métricas de peso, sin embargo lo hacen por sobre los diez años en promedio. Al igual que en los cojinetes del vehículo la carga es transferida por medio de bolas de rodamiento de acero de alta dureza a pistas de rodadura, en el caso del tornillo esta pista es helicoidal a lo largo del tornillo y de la tuerca.

Debido a lo difícil de conseguir y a lo costoso que pueden ser y como si no fuera suficiente el tamaño de tornillo requerido por mi diseño es gigantesco para los disponibles en el mercado que de por sí ya son incomparables para estudiantes, entonces emprendí una serie de pruebas de laboratorio o de campo para construir mis propios tornillos a partir de materiales fáciles de conseguir en cualquier país del mundo, así luego de haber investigado cientos de posibilidades logre un diseño final que no le pide favor a tornillos fabricados por compañías especializadas con un veinteavo de sus precios.

Apliqué mi diseño del tornillo con herramientas de un taller básico de metal mecánica e incluso de la cochera de un hogar de “hobbysta”, como lo describo a continuación:

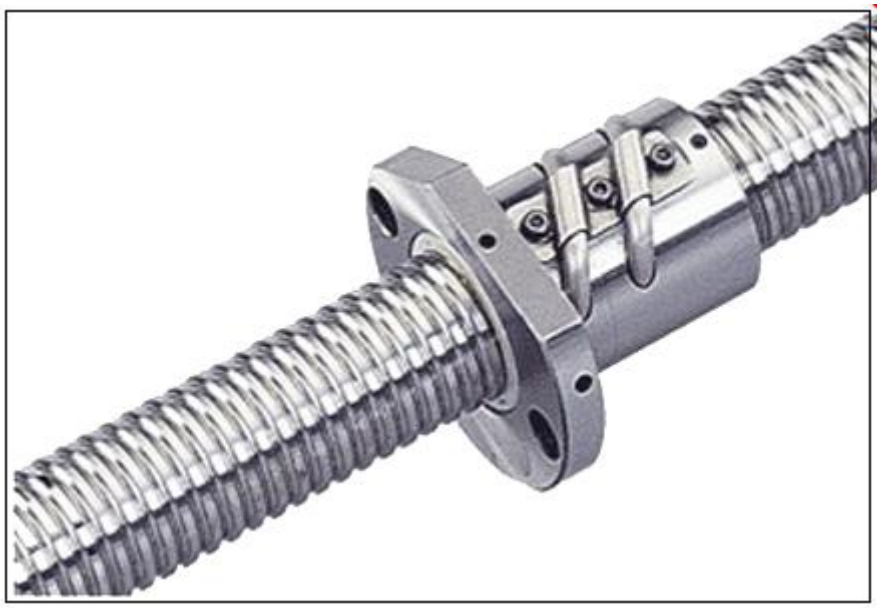
Para referencia; un tornillo que se ordena unicamente bajo pedido de 2.500 mm de longitud con un diámetro de la barra de 25 mm, bolas de rodamiento de 7 mm y tuerca de doble recirculador externo. Una de las compañías más accesibles proveedoras de este tipo de elementos es la multinacional (HIWIN) aún así ésta no tiene precios al público y se tiene que seguir un proceso bastante engorroso para conseguir una proforma la cual yo seguí y con los datos técnicos mencionados, me respondieron con un valor estimado de $4.850,00 USD., c/u mi reacción fue de asombro. En el gráfico (25) se muestra la diferencia entre uno de bolas y uno normal (Acme) que se lo puede encontrar en la ferretería de la esquina por unas pocas decenas de dólares, no así uno de bolas recirculantes que el 99% de estos negocios no tienen idea de que es eso.

Ilustración 25 Diferencia entre tornillo de bolas y uno normal



(HIWIN CO.)

Ilustración 26 modelo de tornillo cotizado por Hiwin



(HIWIN CO.)

V.E.1. Construcción de mi propio tornillo de bolas recirculantes

Para la construcción de mi propio tornillo de bolas recirculantes me aseguré de usar materiales y partes de fácil acceso para un estudiante. Puesto que de eso se trata mi tesis, es decir que cualquier persona con algo de habilidad y tiempo pueda lograrlo, en ese sentido este documento lo plasmo como un manual de operación a seguir.

Entre los materiales y luego de centenares de diseños he seleccionado al sinfín de dirección de Ford F150 no asistido, que es un conjunto de tornillo y tuerca de bolas (worm & nut) en ingles. Esta pieza es de muy fácil optención pues en la mayoría de autopartes se la puede encontrar en cualquier país del mundo, y está construido para cargas muy elevadas, además es fácil conseguir; cuesta alrededor de $70,00 USD. Por otra parte es un dispositivo

que usan la mayoría de vehículos de dirección no asistida de sinfín, por esto los hay en una aceptable variedad. Así es como se ven algunos de ellos:

Ilustración 27 Conjunto de sinfín

(Milton Terán TCC.)

A continuación se debe comprar la barra de acero, yo use una de acero inoxidable de una pulgada y 2.500 mm de largo.

Para realizar el corte de la pista de rodadura usé una piedra de corte de un espesor igual al de las bolas de la tuerca, lo ideal es usar una maquina de cortar metal con piedra como la de la ilustración siguiente a la que con unos accesorios mínimos que he diseñado puede reproducir la pista de rodadura de cualquier tuerca en la barra. Es decir partimos de tener una tuerca funcional y el eje que en este caso suele ser de unos 70 a 100 mm y reproducirlo en 2.500 mm o lo que se requiera.

Ilustración 28 Maquina de corte con piedra

(Milton Terán TCC.)

Se unen los extremos de la barra de acero con el extremo simple del eje de sinfín, usé dos puntos de suelda para la unión, con el eje desatornillado se asegura la tuerca en una guía de tubo cuadrado de la longitud del eje de acero que se va a cortar, de la misma manera usé dos puntos de suelda para esto, el otro extremo de los 2.500 milímetros reposa en un arreglo de tres rodamientos lisos dispuestos de manera concéntrica y muy cerca del área de corte en la base de la maquina por debajo de la piedra (nótese el extremo en la ilustración 28) todo este arreglo es provisional y servirá para reproducir tanto como la longitud del eje de sinfín que viene en el ensamblado.

Ilustración 29 Arreglo de sinfín y tuerca

(Milton Terán TCC.)

Otro arreglo importante es para controlar la profundidad del corte con la piedra, para esto le agregue un diseño de barra roscada tipo ACME y tuercas, esto se consigue en la ferretería del barrio, para facilitar la operación de este dispositivo de avance fabriqué un pequeño volante y soldé a una tuerca común como se aprecia en la siguiente ilustración.

Ilustración 30 Control de profundidad

(Milton Terán TCC.)

Ya se completó, es todo lo que se requiere para comenzar a cortar la pista de rodadura, se gira lentamente la barra lisa de acero con la piedra en contacto con incrementos de profundidad de 0.5 milímetros a la vez, debido a que la pista es helicoidal será importante que el contacto de la piedra con relación al Angulo de la barra sea el mismo que el del sinfín o lo más cercano posible, como se aprecia en la siguiente ilustración.

Ilustración 31 ángulo de corte y profundidad

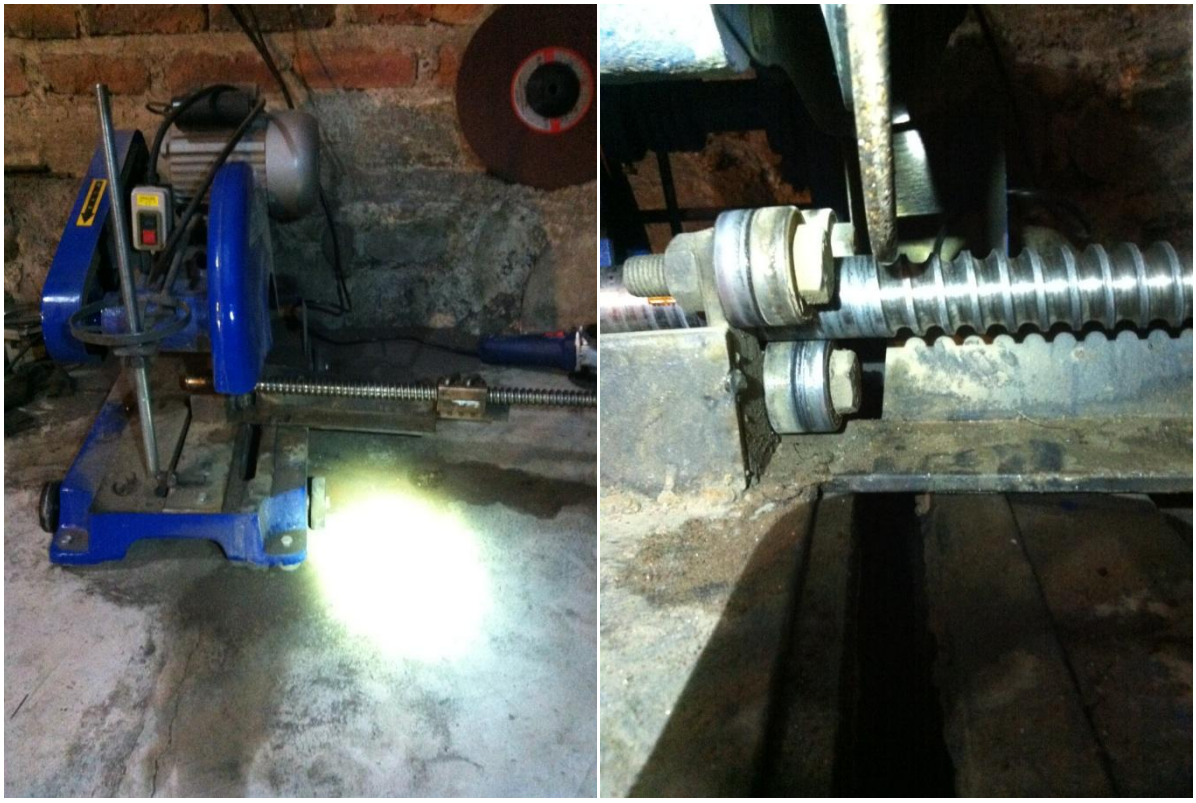
(Milton Terán TCC.)

La pista de rodadura que se está cortando en su vista de corte trasversal debe tener la forma de un arco de media circunferencia pero ligeramente gótica en el centro o una canal en el centro, lo que es fácil de lograr se debe dar forma al filo cortante de la piedra, con un disco diamantado de cortar cerámica y una plantilla para ir comprobando la forma del filo de la piedra.

Esto se debe hacer especialmente en la etapa de rectificación. Una vez terminado todo lo que la longitud del sinfín nos permite el siguiente paso es

cambiar de lado la tuerca; antes de hacerlo se debe estar seguro que la pista de rodadura es de la misma medida que del sinfín mediante el uso de un calibrador en centésimas de milímetro, entonces se debe hacer el mismo arreglo pero al otro lado de la máquina, se notará que ahora la tuerca enrosca en la pista recién cortada por lo tanto en este punto ya se puede desechar el sinfín que vino en el arreglo comprado. (Ver ilustración 32)

Ilustración 32 Filo cortante de la piedra



(Milton Terán TCC.)

Para terminar con el eje de tornillo se le puede dar un pulido o abrillantado, en la misma máquina pero en lugar de la piedra se usará un disco de tela para abrillantado y una barra de pasta abrasiva para acero inoxidable, el tornillo recién rectificado ya es funcional, el abrillantado es más bien estético. En los extremos del tornillo se calzan rodamientos, uno de carga radial y el otro de

carga axial, en el de carga axial se debe soldar un anillo que sirva de tope para transmitir las fuerzas en uno de los lados del rodamiento, por el otro lado el extremo del eje va roscado para con una tuerca apretar junto con una polea contra el rodamiento.

Ilustración 33 Abrillantado y calzado de rodamientos de fijación

(Milton Terán TCC.)

V.E.2. Tornillo completo y listo para ser instalado en un actuador

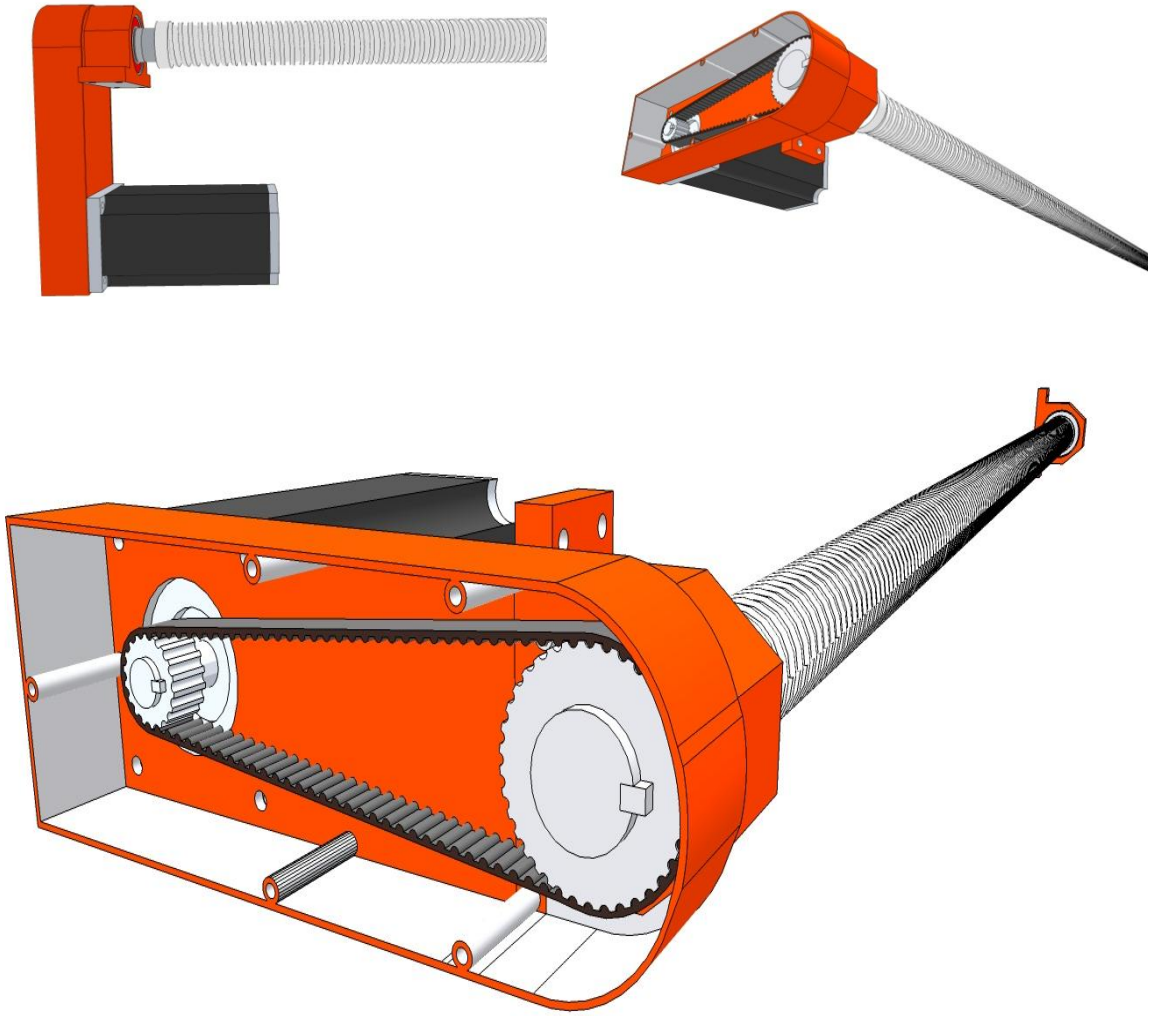
Una fotografía del tornillo completo y listo para ser instalado en un actuador de eje se presenta a continuación:

Ilustración 34 Tornillo de bolas recirculantes construido en la cochera equivalente a MT2510 x 2.500.0 milímetros.

(Milton Terán TCC.)

El diseño del actuador de eje, al que le incluí a parte del tornillo de bolas un motor de pasos, la banda de tiempo, las dos poleas y el enjaulado o estructura que contiene a las partes mencionadas. (Ver ilustración 35).

Ilustración 35 Actuador de eje



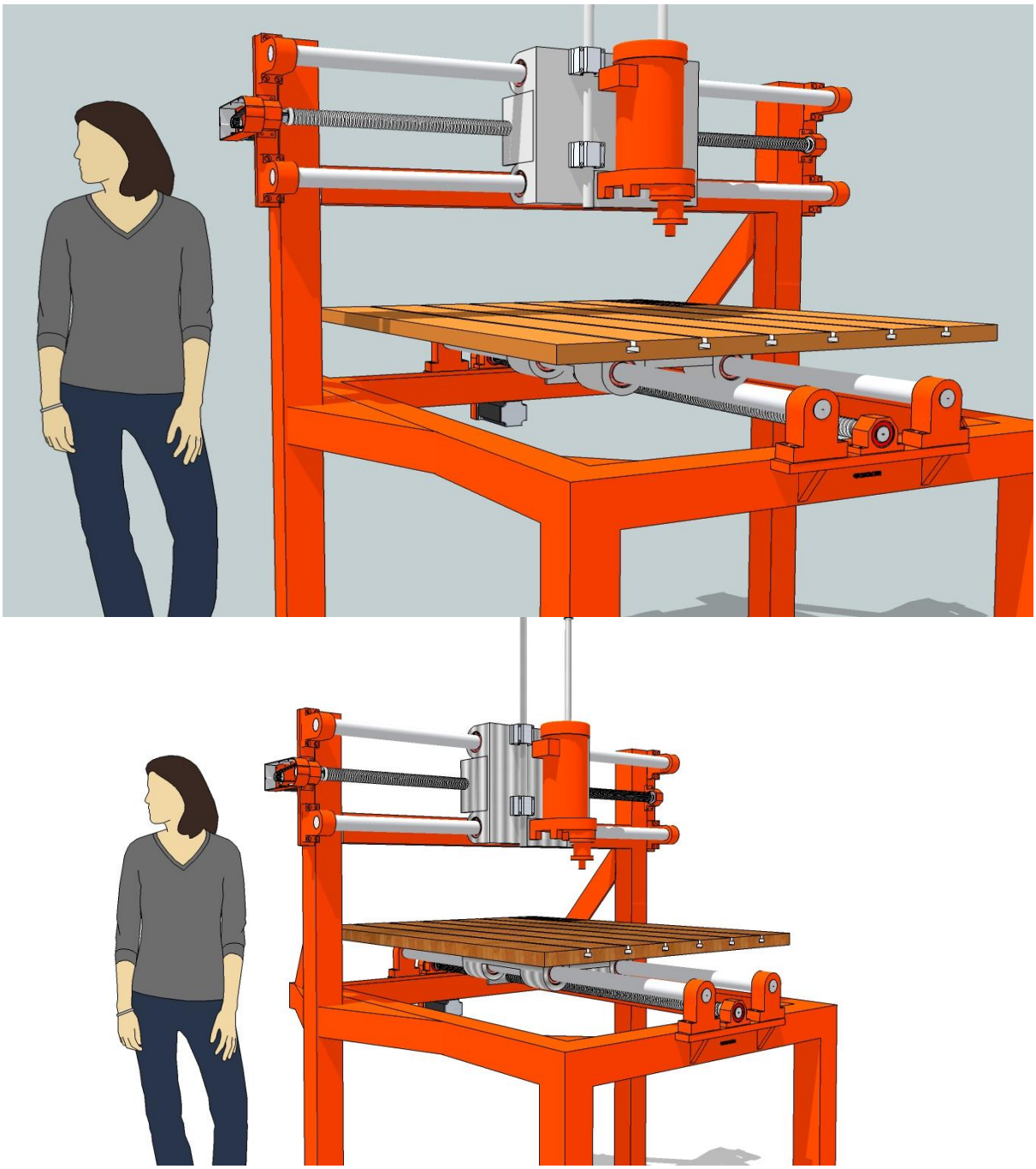
(Milton Terán TCC.)

V.F. Diseño final de la máquina (Versión digital en CAD 3D)

Luego de cientos de horas de trabajo de diseño como consecuencia de muchas más horas de investigación y asimilación de datos empíricos muchos por prueba y error, he concluido el diseño final.

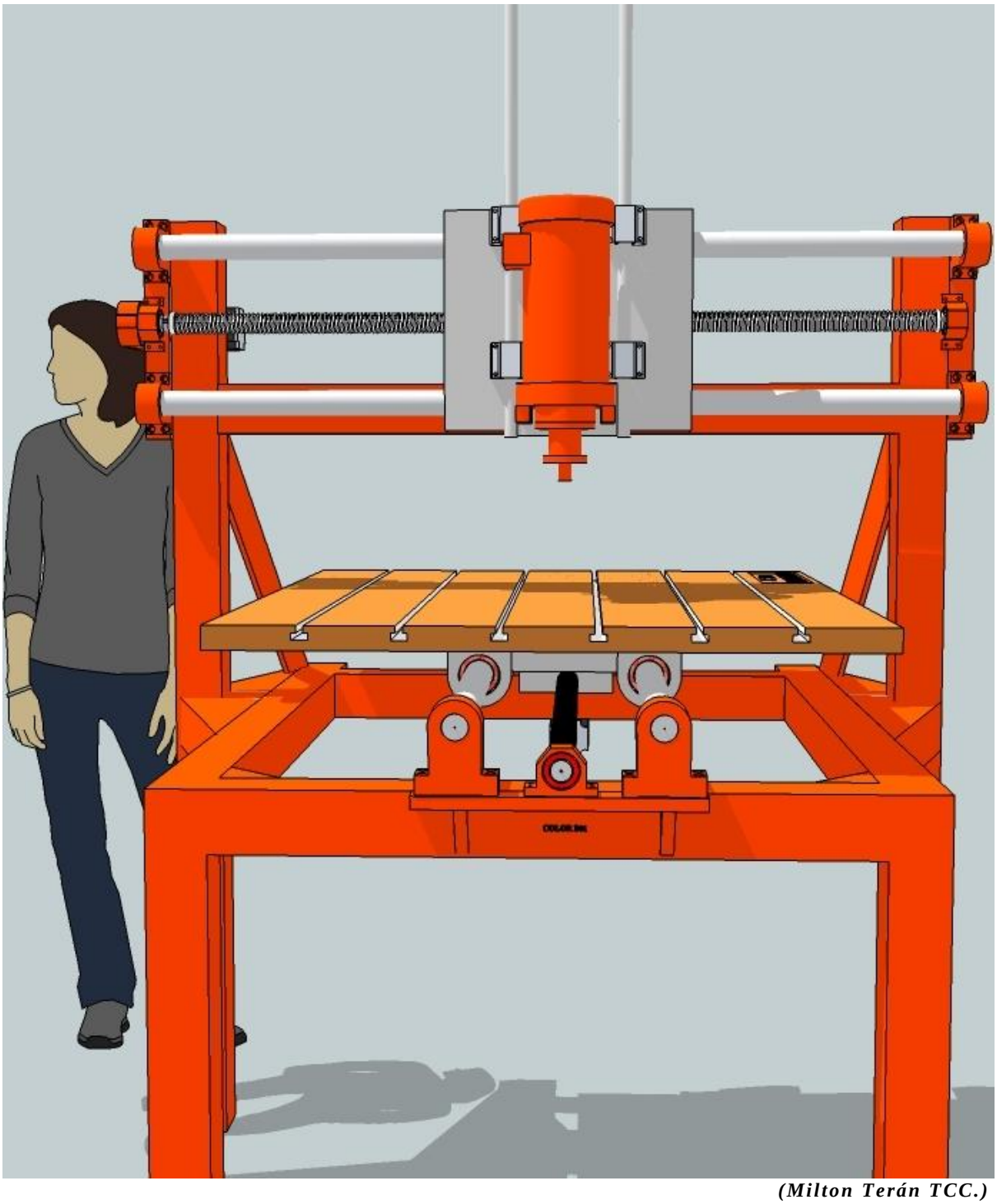
Presento a continuación gráficos de la secuencia digital del diseño final de la máquina: LA MÁQUINA DE DIRECCIONAMIENTO POR TRES EJES (CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA TRES DIMENSIONES CNC 3D).

Ilustración 36 DISEÑO FINAL



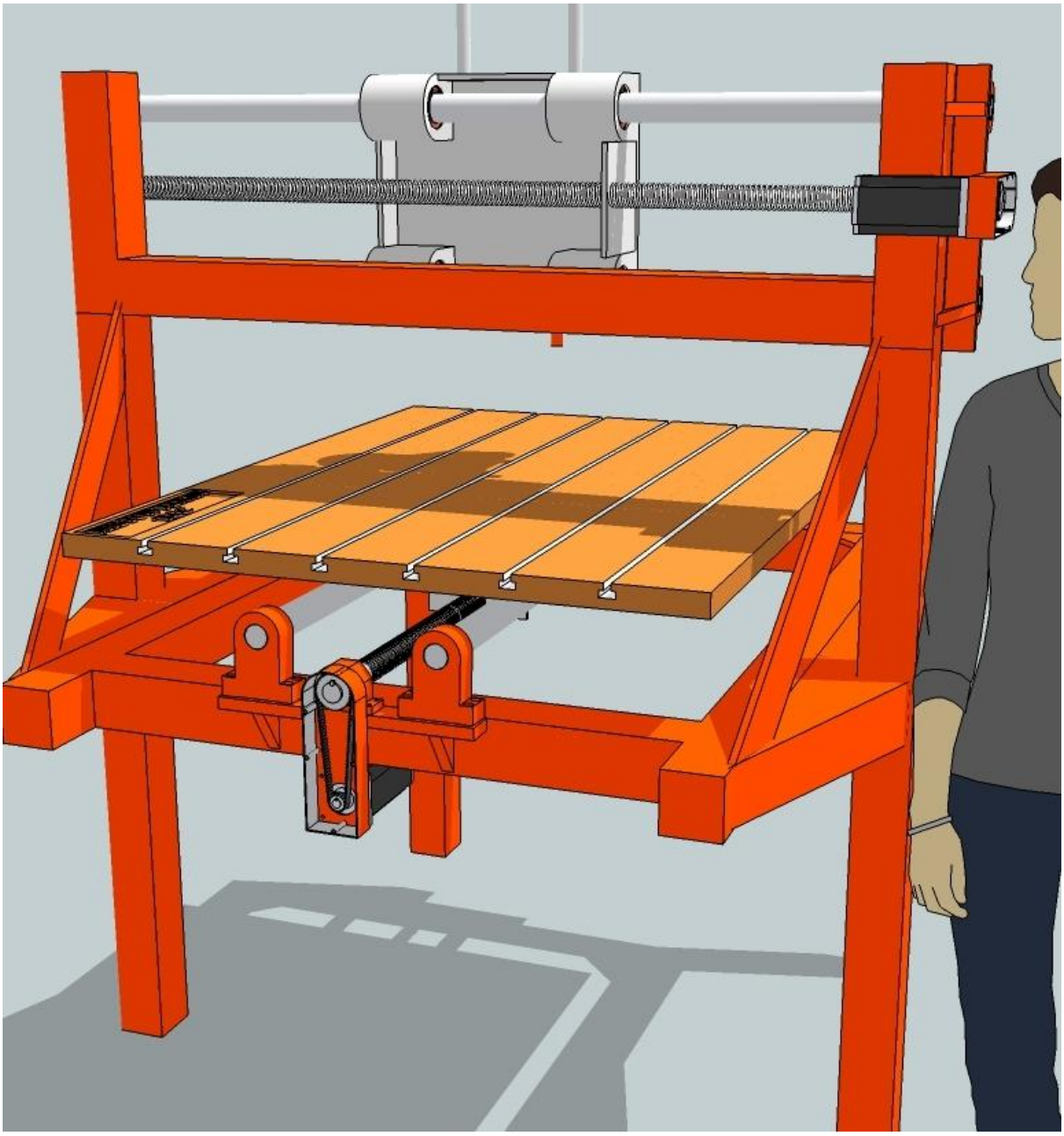
(Milton Terán TCC.)

Ilustración 37 Diseño Vista frontal



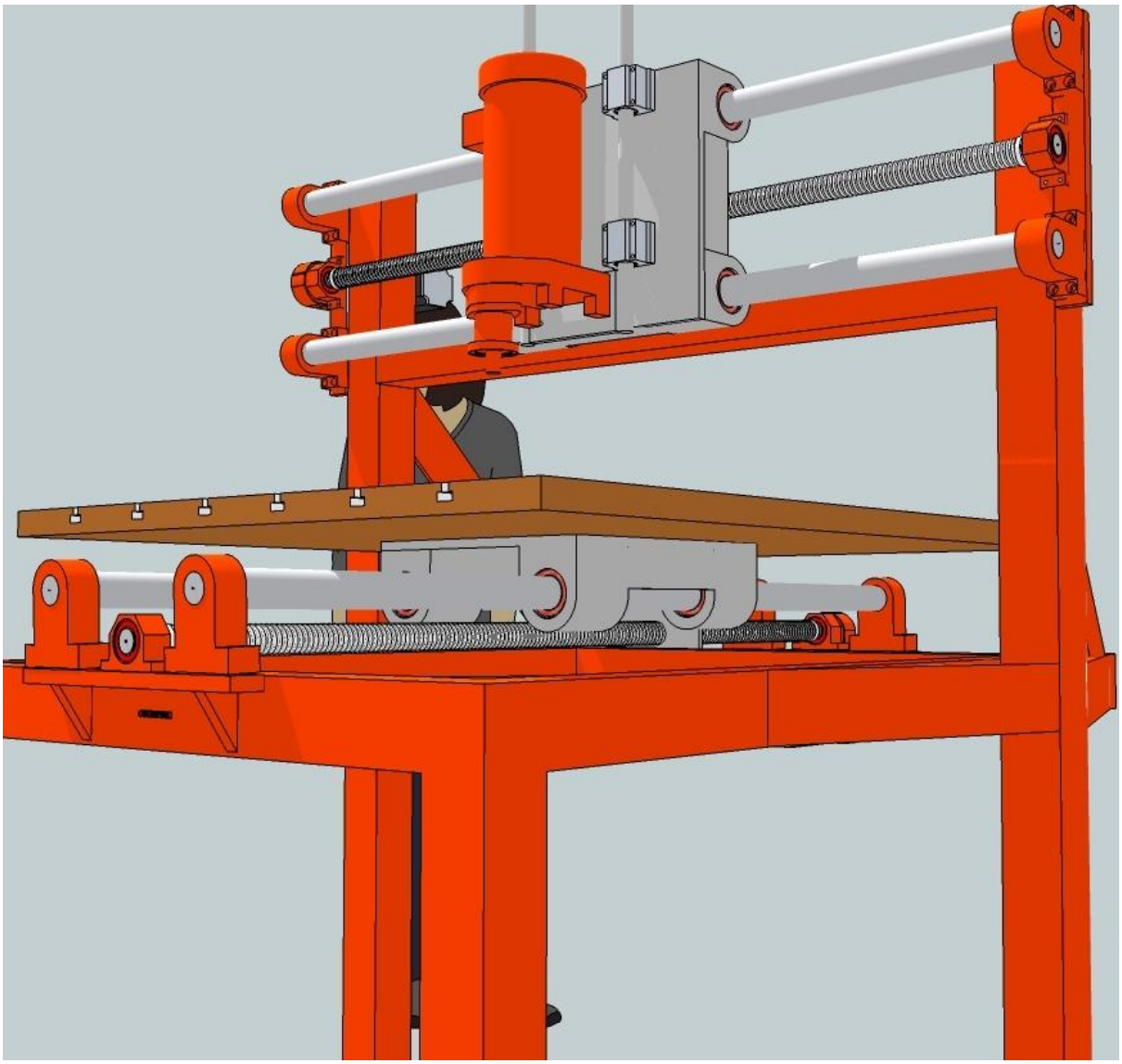
(Milton Terán TCC.)

Ilustración 38 Diseño vista posterior



(Milton Terán TCC.)

Ilustración 39 Diseño vista lateral



(Milton Terán TCC.)

CAPÍTULO VI

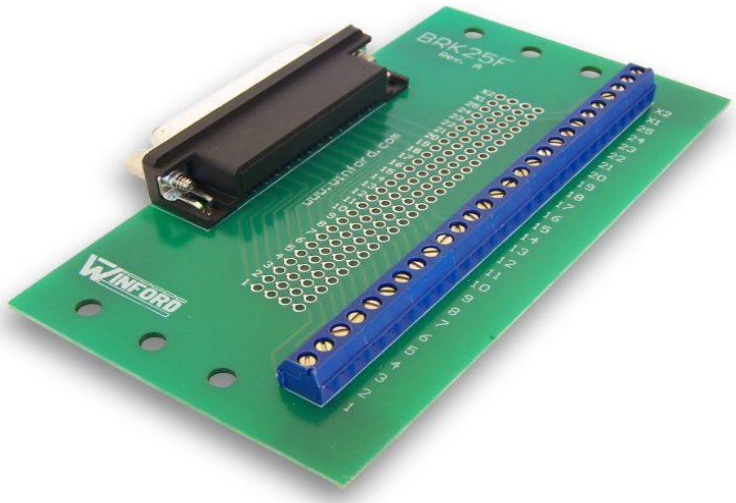
LA ELECTRÓNICA INVOLUCRADA

La electrónica es el medio que traduce al software en movimiento cinético, es así que cada movimiento de los ejes está orquestado por una codificación que se origina en el ordenador y pasa a la electrónica de la máquina (Sistema de control) en forma de señales eléctricas que son distribuidas (Tarjeta de distribución) a un amplificador de potencia por cada eje manejador o controlador de motor (Drive), luego y por último el actuador que en este caso es un motor de pasos.

VI.A. Tarjeta de distribución (Breakout Boards)

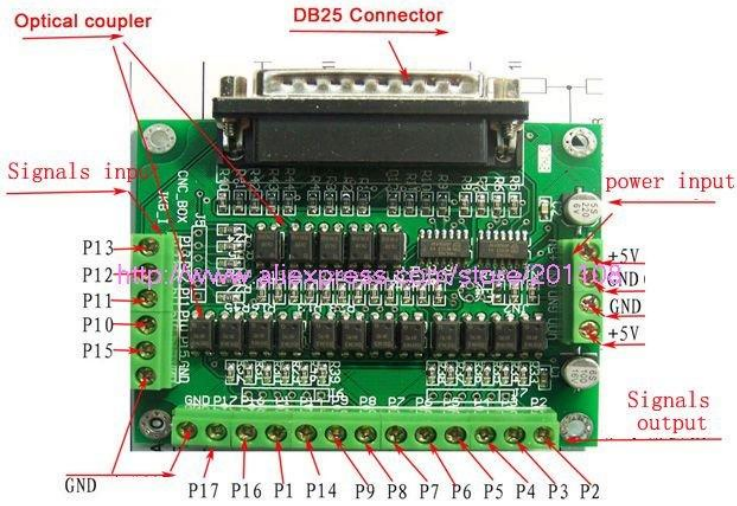
Las tarjetas de distribución son componentes electrónicos comunes que toman un cable empaquetado y lo desmenuza cada conductor a un terminal que puede fácilmente aceptar un terminal de gancho para su distribución a otro dispositivo. Son un elemento común en los proyectos de electrónica para permitir una fácil instalación de dispositivos electrónicos. La ilustración siguiente muestra una sencilla tarjeta DB25 como las que se muestran en la ilustración 40 y 41.

Ilustración 40 Tarjetas de distribución directa sin control de seguridad



(winfordeng.com)

Ilustración 41 tarjeta con aisladores ópticos u opto acopladores de seguridad

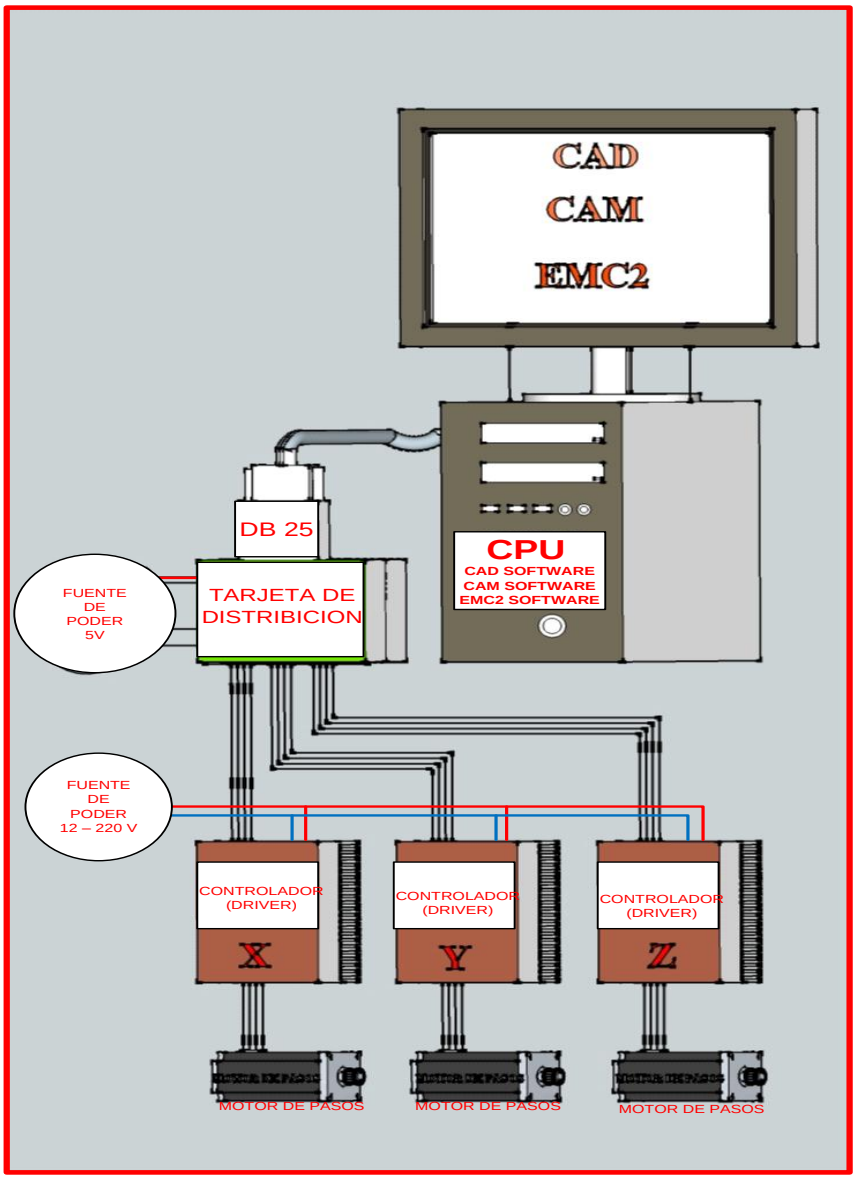


(winfordeng.com)

La tarjeta se sitúa entre el ordenador o indexador y los drivers de motor y sirve para dos propósitos en el sistema de control de CNC: protección del circuito y la distribución de la señal.

En mi caso, hay tres motores bipolares paso a paso de dos fases, cada uno con lo normal de 4 hilos. Su esquema de cableado sería algo como lo siguiente:

Ilustración 42 Esquema de cableado con fuentes de poder separadas



(Milton Terán TCC.)

La ilustración anterior muestra un diagrama de bloques de un sistema de control de motor de pasos CNC. En la parte inferior se aprecian cuatro hilos conductores entre los controladores (drivers) y los motores. Estos cables corresponden con las bobinas en el interior del motor que son energizados para coordinar la rotación. Sería de seis hilos para cada paso a paso si tuviera motores unipolares y podría ser de hasta ocho hilos.

Dentro del sistema de control, hay una señal de dirección y una señal de paso que se distribuye desde la tarjeta de distribución a cada conductor (driver). Una línea de tierra común se distribuye de la misma manera. Una fuente de energía también distribuye energía a cada conductor (driver). En este sistema no hay alimentación de distribución.

En la parte superior, hay tres pares de señales procedentes de la computadora, un par para cada eje que es igual a cada motor, y una línea de tierra para el retorno, como se indica con la línea de color negro debajo de los tres pares de cables de señales. Para un típico cable DB-25, el tierra suele ser la funda exterior del conector.

VI.A.1. Aisladores ópticos u opto acopladores

La tarjeta de distribución en sí mismo puede ser de tipo inteligente, en la que la tarjeta necesita energía para hacer el trabajo. Un ejemplo podría ser una con aisladores ópticos u opto acopladores. Estos son dispositivos activos que

requieren energía, y dado que el propósito de la tarjeta es aislar el equipo, no puede recibir la alimentación del equipo. Este tipo de tarjeta obtendría energía de una fuente de alimentación externa.

Los Opto-acopladores son pequeños interruptores ópticos que aíslan los circuitos para evitar que un cortocircuito eléctrico de un circuito que afecte a otro. En este caso, los opto-acopladores protegen a la computadora de un corto circuito en los motores o interruptores. Muchos conductores (Drivers) de alta calidad ofrecen su propio opto-aislamiento del sistema.

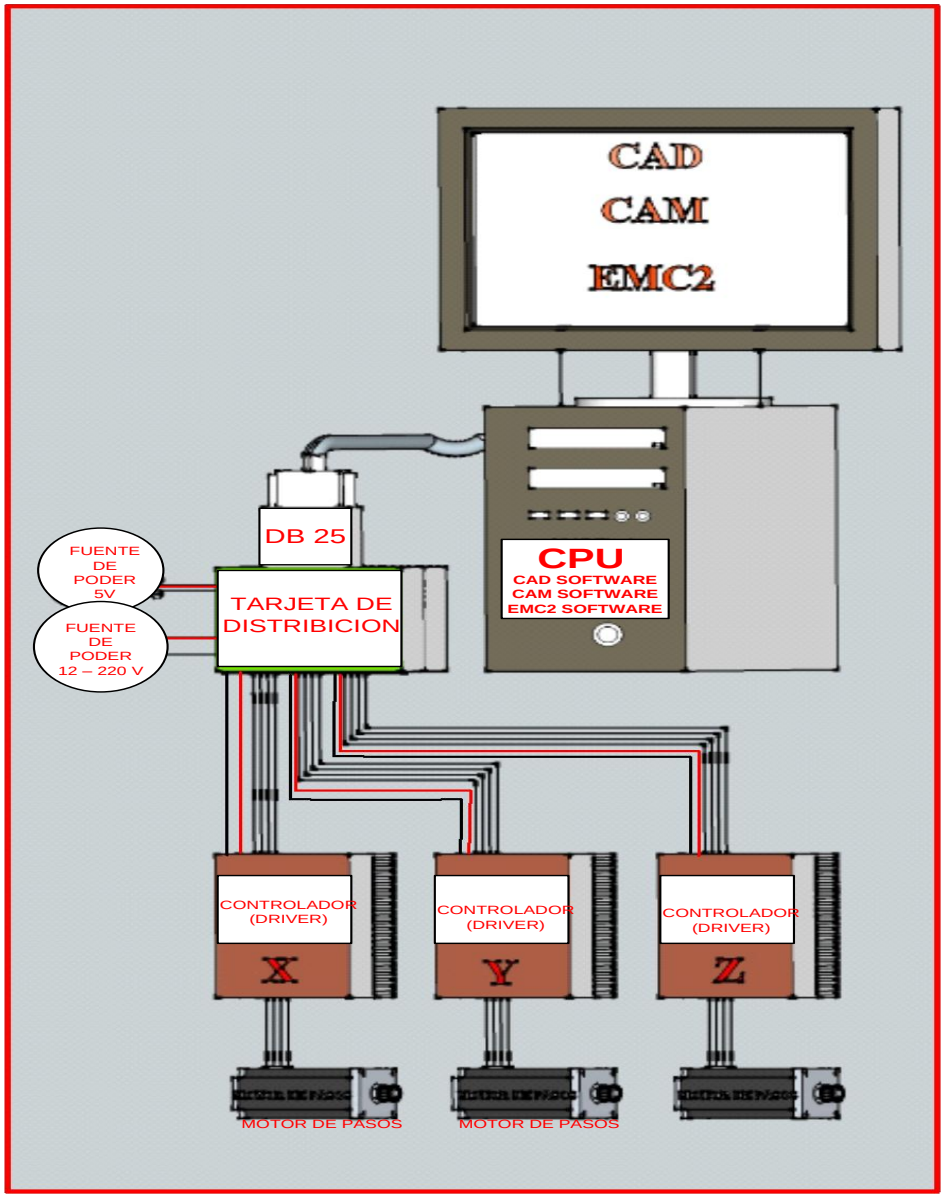
La selección de una tarjeta de distribución debe ser parte de un esfuerzo amplio para encontrar componentes compatibles. Las características principales que se deben buscar en cuanto a la selección de estos dispositivos son el tipo de conector y el número de señales.

Las tarjetas de distribución (Breackout) constituyen un tema común de la electrónica, y no son específicas de la rama de CNC. Hay literalmente miles de ellas entre las que se puede elegir. En la mayoría de los casos, se desea una configuración con un terminal DB25 hembra en un extremo, y terminales de tornillo en el otro. El número de señales I/O. En la mayoría de los casos, el cable de interfaz DB-25 le dará hasta 24 señales I/O y una tierra común.

También se pueden ver tarjetas que incluyen un sistema interno de distribución con protección de fusibles. Esta configuración es más común en

los sistemas de tensión inferiores, tales como sistemas de 12V. Para estas configuraciones, su esquema se muestra en la ilustración 43.

Ilustración 43 Esquema de cableado con distribución de poder por la tarjeta



(Milton Terán TCC.)

La fuente de alimentación se conecta a la tarjeta de Distribución, y esta distribuye la energía a los conductores (Drivers) de los motores.

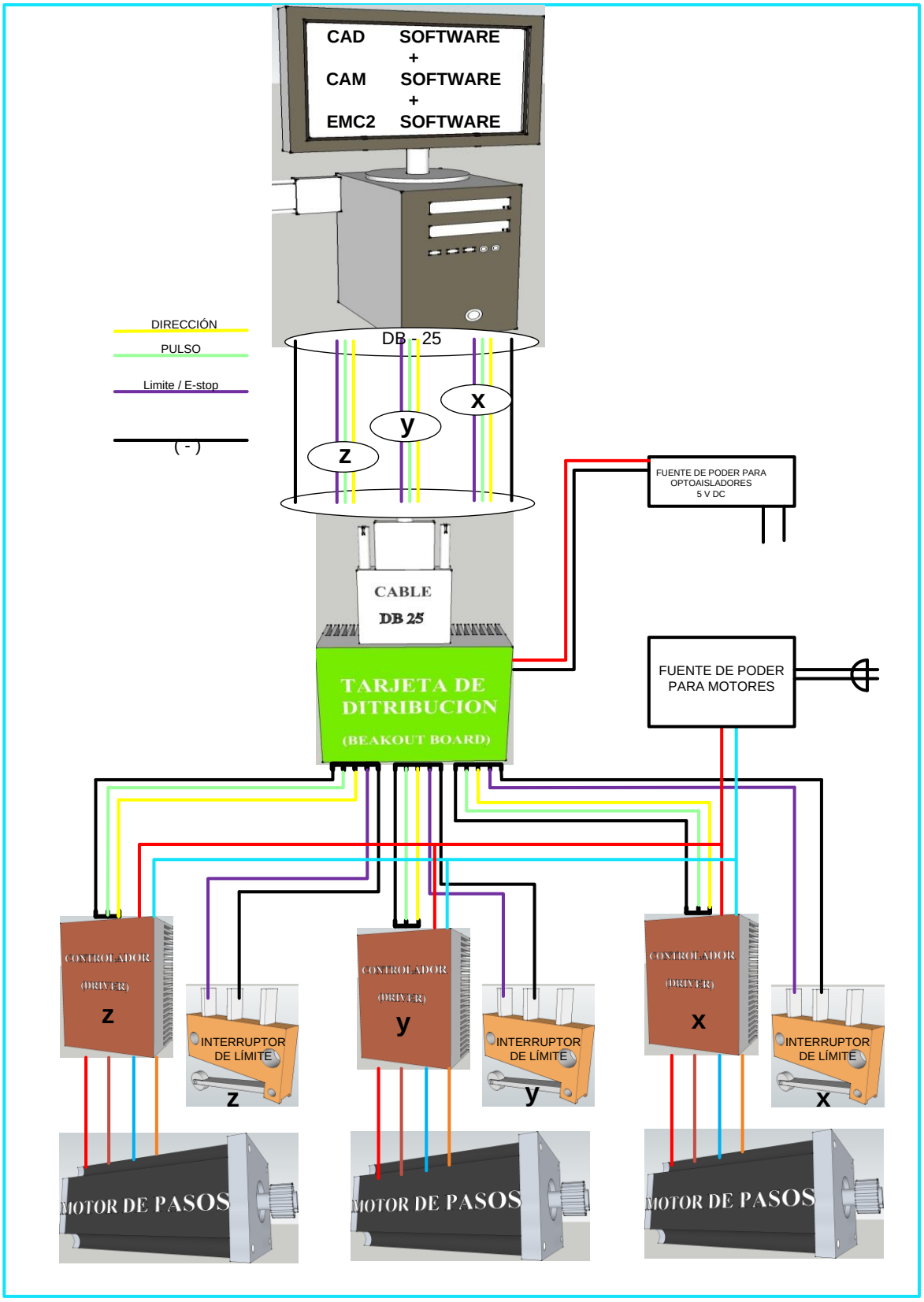
La tarjeta aísla las conexiones para proteger el PC contra cortocircuitos. De esta manera, la electrónica del ordenador está completamente aislada de la circuitería del CNC. Las señales se transmiten a través de la luz y no a través de conexiones físicas. De este modo, una subida de tensión no tiene manera de llegar a la computadora. Esa es la razón por la que esta tarjeta tiene dos conexiones de alimentación, una de alimentación de energía que es capaz de alimentar el circuito que interactúa con el PC, y la otra que es para alimentar el circuito que interactúa con el sistema de CNC. Precauciones adicionales se han tomado en el diseño de este tipo de circuitos, teniendo en cuenta las tensiones extremadamente altas que los controladores paso a paso pueden lograr y la falta de experiencia que algunos usuarios podrían tener con el cableado de circuitos de este tipo.

Las tarjetas de distribución son dispositivos útiles que a menudo incluyen conexiones convenientes para otras cosas que se puede desear para conectar a la computadora. Estas líneas de señales pueden ser de cualquier extra que se desee, siempre y cuando se pueden interactuar con el software CNC que se está utilizando.

La mayoría de sistemas CNC usan interruptores de fin de carrera o detectores de proximidad a los límites de desplazamiento para evitar que la máquina pueda conducir en sí más allá de sus propios límites físicos. Como se muestra en la ilustración 44, los interruptores de límite se conectan a la placa de distribución directamente.

Como se ha descrito anteriormente, algunos dispositivos de distribución permiten distribuir la alimentación de una fuente a los conductores de los motores. Otros simplemente distribuyen las señales y requieren la conexión de la fuente de alimentación directamente a cada controlador, sin pasar por la tarjeta de distribución (ver ilustración 44).

Ilustración 44 Esquema de cableado seleccionado



(Milton Terán TCC.)

Las tarjetas de distribución son dispositivos que pueden ser pasivos, que no ofrecen la protección del circuito, tal como el mostrado en la parte superior de este informe. Para aplicaciones CNC, es muy recomendable utilizar un dispositivo activo con algún tipo de protección de circuitos. La solución más eficaz implica el uso de aisladores ópticos que utilizan pulsos de luz para transmitir información a través de un espacio de aire. Otros tendrán fusibles que evitan que la corriente que pasa a través no exceda la del ordenador.

Algunas placas están diseñadas específicamente para dispositivos CNC y ofrecen buenas características que mejoran la máquina.

VI.B. Controladores (drivers)

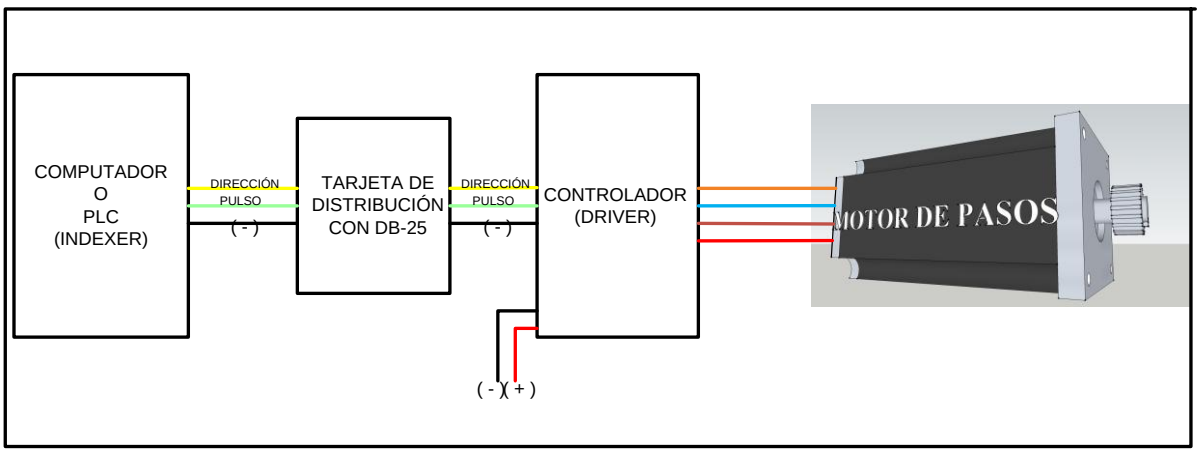
El generador de pasos, el controlador de motor paso a paso y el motor deben estar todos presentes en una forma u otra. El rendimiento de cada componente tendrá un efecto sobre los otros.

En primer lugar está el generador de impulsos, también conocido como un controlador de motor paso a paso o indizador (controller or indexer). El generador de impulsos dará comandos de impulsos que el motor seguirá. Mediante la alteración de la frecuencia del tren de impulsos, el generador de impulsos puede indicar al motor si acelerar o correr a una velocidad, desacelerar o parar. Un generador de impulsos debe estar presente, de lo contrario el motor no se mueve.

El siguiente es el controlador de motor (Motor Drive). La función del controlador paso a paso es el de controlar la magnitud y dirección del flujo de corriente en los bobinados del motor. El controlador lleva los pulsos del generador de impulsos y determina cómo y cuando los bobinados deben ser energizados. Las bobinas deben ser energizadas en una secuencia específica para generar movimiento.

La cantidad, velocidad y dirección de rotación de un motor paso a paso se determinan mediante configuraciones adecuadas de dispositivos de control digitales. Estos dispositivos se emplean, como se muestra en la siguiente ilustración. El ordenador o PLC (controlador lógico programable) envía comandos al indizador. El indizador crea los impulsos de reloj y señales de dirección. El controlador acepta impulsos de reloj y señales de dirección y traduce estas señales en corrientes de fase adecuadas para el motor.

Ilustración 45 Sistema de motor de pasos



(Milton Terán TCC.)

Un controlador de motor paso a paso proporciona una velocidad y posicionamiento controlable con precisión. El motor incrementa una cantidad precisa con cada pulso de control. El motor puede fácilmente convertir la información digital en rotación incremental exacta sin la necesidad de dispositivos de realimentación tales como tacómetros o codificadores. Debido a que el sistema es de lazo abierto, los problemas de desplazamiento de fase común en servo accionamientos de bucle de realimentación, y la inestabilidad resultante, se eliminan.

Ilustración 46 Controlador [KL-11080 8 Amp. Bipolar Stepper Motor Driver]

(Automation Technologies Inc.)

El KL-11080 es un controlador de alta gama y de alta potencia diseñado para motores de los tamaños más grandes como los Nema 42 que son para aplicaciones industriales, su precio es de unos $170,00 USD, algunas de sus características son:

1: Alto Rendimiento.

2: Tensión de alimentación AC 80-120V, la fuente de alimentación está construida dentro del dispositivo.

3: Reducción automática de corriente si no hay movimiento.

4: Micro paso: 1,2,4,5,6,8,10,16, 18,10,32,40,50,64,128,256.

5: Corriente: 0,5A, 1,0A, ,.5A, 2,0A, 2,5A, 3,0A, 3,5A, 4,0A, 4,5A

5,0A, 5,5A, 6,0A, 6,5A, 7,0A, 7,5A, 8,0A.

5: Modo completo o medio de Amperes: Sw4: 1 = La mitad de Amperes.

6: Señal aislada ópticamente I / O.

7: Protección a bajo-voltaje, sobre-voltaje y de la temperatura.

8: Frecuencia de impulsos de entrada de hasta 200 KHz.

9: Apoyo PUL / DIR y los modos de CW / CCW.

9: Se utiliza para la alta inductancia NMEA34 o motor NEMA42.

10: No necesita fuente de alimentación. Este controlador es para motor de alta inductancia, es necesario conectar el motor en configuración en serie (bi-polar).

Las características de carga, requisitos de desempeño y diseño mecánico, incluyendo técnicas de acoplamiento deben ser cuidadosamente considerados antes de que el diseñador pueden seleccionar eficazmente el motor más adecuado y la combinación de controlador para una aplicación. Los factores que deben ser considerados con el fin de obtener una solución óptima son los cálculos de: Medida de la inercia, fricción y cargas de trabajo reflejada en el motor.

En un sistema de circuito abierto de motor de pasos, el motor no sabe si la inercia o fricción excesiva han hecho que el motor pierda o gane uno o más pasos, lo que afecta a la exactitud posicional.

La inercia de la carga debe limitarse a no más de cuatro veces la inercia del rotor del motor en un sistema de alto rendimiento (relativamente rápido). Un sistema de bajo rendimiento puede ofrecer precisión en cada paso con cargas de inercia muy altos, a veces hasta diez veces la inercia del rotor. Es decir a baja velocidad puede superar mayor carga sin perder pasos.

VI.B.1. Controlador de tipo de dos niveles (Drivers BILEVEL)

La función básica de un controlador de motor es proporcionar la fase de corriente nominal a los bobinados del motor en el menor tiempo posible. El conductor de dos niveles usa alta tensión para obtener una rápida tasa de tiempo de subida de corriente en los bobinados del motor. Cuando el nivel de corriente de operación apropiado es alcanzado, el controlador apaga la alta tensión y sostiene el nivel de corriente a partir de una fuente de bajo voltaje. Por lo tanto, toma el término de dos niveles. Mientras el motor está acelerando, la alta tensión conduce la corriente en los bobinados, el suministro de más corriente a medida que aumenta la velocidad de paso a paso. Este bajo-alto-bajo voltaje esquema de conmutación da una mayor eficiencia y un menor costo que el que se obtiene a partir de choppers y otros sistemas más exóticos. Además, los conductores de dos niveles no tienen problemas con calentamiento de los motores o problemas de interferencia asociados con los controladores de tipo chopper. Los Conductores o controladores BILEVEL sólo puede conducir motores en el modo medio paso o paso completo.

Hay tres modos de excitación de uso común; Paso Completo, medio paso-y micro-paso.

VI.B.2. Paso completo

En el funcionamiento de paso completo, el motor paso a paso gira a través de su ángulo normal por ejemplo si es de 1,8 grados/paso daría 200 pasos por cada revolución, mientras que a medio paso sería de 0.9 grados. Hay dos tipos de modos de paso completo (de doble fase y de una fase).

Paso Completo de una Fase es donde el motor es operado con una sola fase energizada al mismo tiempo. Este modo sólo debe utilizarse cuando el par y velocidad de ejecución no son importantes, por ejemplo, donde el motor se hace funcionar a una velocidad fija y las condiciones de carga están bien definidas. Problemas con resonancia puede impedir la operación a ciertas velocidades. Este modo requiere la menor cantidad de energía del suministro de potencia de accionamiento de cualquiera de los modos de excitación.

Paso Completo de doble Fase. La excitación es donde en el motor, se hace funcionar con dos fases energizadas al mismo tiempo. Este modo proporciona un buen par motor y velocidad de ejecución, con un mínimo de problemas de resonancia. La excitación dual proporciona un par motor de 30 a 40 por ciento más de excitación única, pero requiere el doble de potencia de la fuente de alimentación de la unidad.

VI.B.3. Medio Paso (HALF-STEP)

Medio paso también tiene funcionamiento alternativo de fase única y de doble. Resultando en pasos de un medio del tamaño de paso normal. Este modo proporciona el doble de resolución. Se consigue el doble de pasos a través de sólo la mitad del ángulo normal. Este ofrece una libertad casi completa de los problemas de resonancia. Los motores pueden funcionar en un amplio intervalo de velocidades y se utiliza para conducir casi cualquier carga comúnmente encontrada.

VI.B.4. Micro Paso (MICRO-STEP)

En el modo de micro-paso, el ángulo de un paso normal se puede dividir en ángulos mucho más pequeños. Por ejemplo, un motor estándar de 1,8 grados tiene 200 pasos / revolución. Si el motor es micro-escalonado con una división por 10, entonces cada micro paso sería de 0,18 grados y habría 2.000 pasos / revolución. Típicamente, los modos de micro-paso pueden variar el divisor de 10 a 256 (51 200 pasos / Rev. para un motor de grado 1,8). Los micro pasos son producidos por dosificación de la corriente en los dos bobinados de acuerdo con funciones seno y coseno. Este modo se utiliza sólo donde un movimiento más suave o más resolución se requiere.

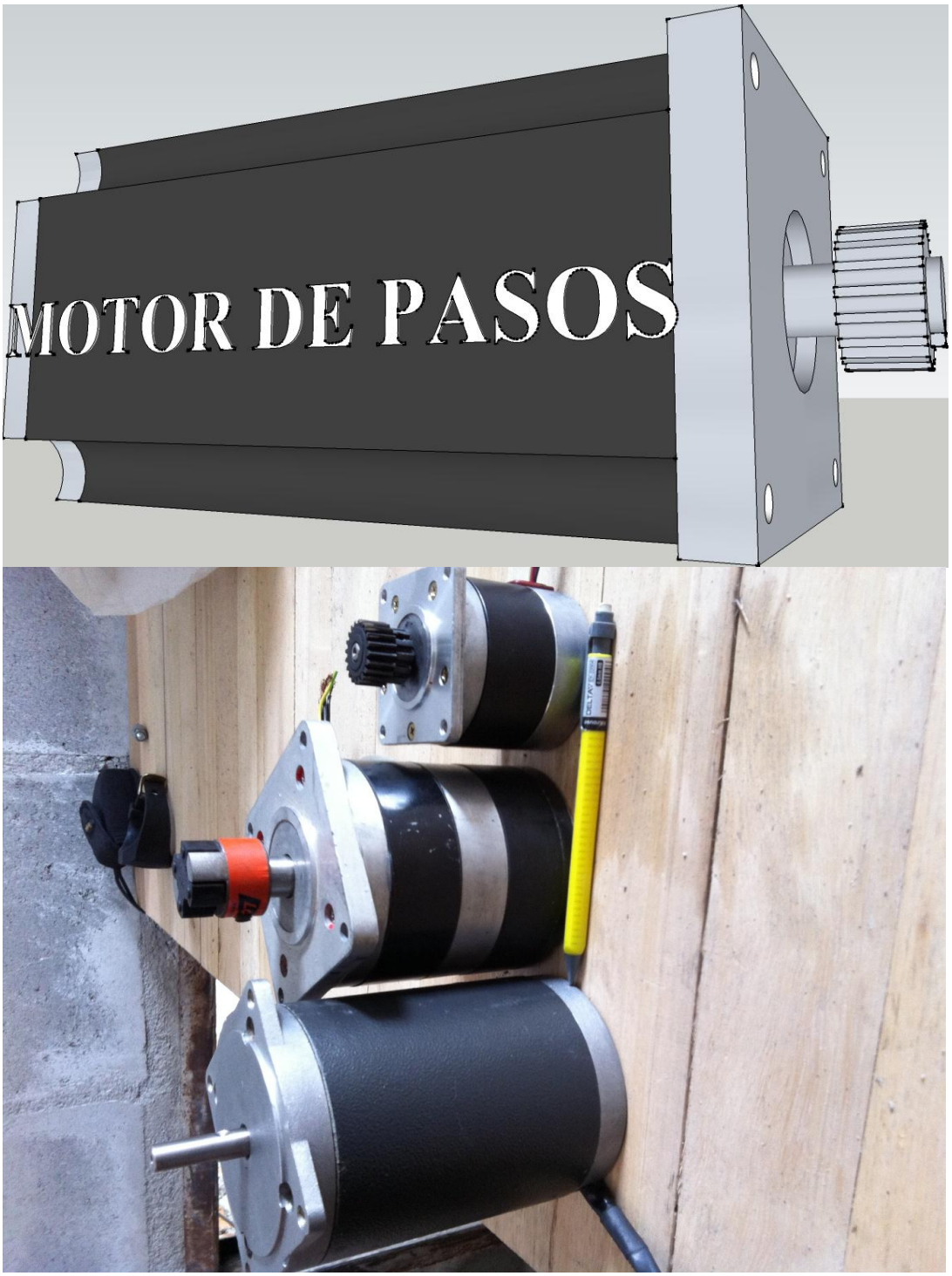
VI.C. Motor Paso a Paso

El motor paso a paso o motor de pasos es un dispositivo electromagnético que convierte los pulsos digitales en rotación del eje mecánico.

Las ventajas de los motores paso a paso son de bajo costo, alta confiabilidad, alto torque a bajas velocidades y una construcción sencilla y robusta que funciona en casi cualquier entorno. Los principales inconvenientes en el uso de un motor paso a paso es el efecto de resonancia a menudo exhiben a baja velocidad y el par disminuye al aumentar la velocidad.

Un motor paso a paso es un motor eléctrico de corriente continua CC, sin escobillas que divide una rotación completa en un número de pasos iguales. La posición del motor puede entonces ser mandado para mover y mantener a uno de estos pasos sin ningún sensor de retroalimentación (un controlador de bucle abierto), siempre y cuando el tamaño del motor sea cuidadosamente estudiado para la aplicación, hace que la fuerza requerida para los movimientos de la máquina sea siempre y en todo momento superada por la fuerza nominal del motor, para que no se pierda el conteo normal de pasos.

Ilustración 47 Motores Paso Paso, desde la parte superior: Nema 23, Nema 34, Nema 34



(Milton Terán TCC.)

Ilustración 48 Motor Paso a Paso desarmado, Nema 34 de 1200 oz/in. Hibrido de dos fases.

(Milton Terán TCC.)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El informe en sí está propuesto como una guía de trabajo, un manual de operaciones con explicaciones de los aspectos más importantes y resalta el potencial en ciertos dispositivos como el Tornillo de bolas.

A lo largo de esta investigación se ha presentado de forma clara que todo lo relacionado con el campo de la Mecatrónica es de limitado o nulo acceso para el publico general; es así que, la comunidad más grande dedicada a esta rama se limita a unos pocos aficionados en casa (DIY, hobby), sin embargo ésta crece rápidamente y se pudo constatar a través de la red, que en menos de un año se ha duplicado el número tan solo en el círculo de conectados, lo que retiene en su mayoría aún para las grandes organizaciones la disponibilidad de componentes especializados, pero gracias al crecimiento rápido de la comunidad de aficionados al CNC, muchos fabricantes están ofreciendo diversos dispositivos, en especial los electrónicos a precios accesibles, pero aún requieren de cierto grado de conocimiento para interconectarlos.

Luego de experimentar, directamente de manera física como investigación de campo docenas de diseños basados en diversos dispositivos, se ha culminado con el diseño propuesto en este informe, logrando así la construcción de una máquina a partir de componentes de fácil acceso para el público general, y recomendaciones para las reconfiguraciones por etapas para crear componentes especializados sin perder las características de profesional.

El tiempo requerido para completar esta investigación ha sido grande, muy grande, por tratarse de no solo teórica si no en esencia de investigación y desarrollo cuya principal característica ha sido la innovación, gestión y adaptación de tecnologías de última generación, como son las usadas en los controladores que han reducido su tamaño asombrosamente a unos pocos centímetros, en sus inicios se trataba de metros.

El completar este proyecto ha sido gratificante y muy enriquecedor de conocimiento, además de saborear la satisfacción de haber cumplido con la tesis inicial de hacer un diseño de fabricación que pueda ser ejecutado por un estudiante de esta rama en general, y con un presupuesto directamente proporcional al tamaño, pero aún tratándose del tamaño propuesto en este trabajo que es de tipo comercial su costo esta alrededor del expuesto al inicio ($ 2.900,00)

Se he presentado en este trabajo la implementación de EMC2, un sistema de control numérico basado en Linux para la máquina de 3 ejes tipo centro de mecanizado. EMC2 se puede considerar de gran importancia académica y educativa; ya que, cumple con las exigencias esenciales de la investigación de este campo con beneficios de un sistema operativo robusto de código abierto, incluidas las posibilidades de expansión con otros programas de código abierto.

Un gran potencial que este software tiene es en aplicaciones comerciales que ya han sido adoptadas por proyectos de automatización en especial de la pequeña empresa (hay restricciones de licencia si se trata de comercializarlo), incluyendo sistemas con cinemáticas complejas. Es importante señalar que el software completo basado en este enfoque es totalmente libre de regalías. Sin embargo, GPL y LGPL son restricciones de licencia y se debe tener en cuenta antes de cualquier consideración comercial. Las interfaces de hardware compatible para los sistemas de servo y paso a paso existen y se desarrollan activamente por varios fabricantes. La implementación de EMC2 es tarea relativamente sencilla para configuraciones de máquinas comunes, aunque las aplicaciones avanzadas pueden requerir conocimiento más amplio y multidisciplinario de las tres ingenierías involucradas en especial si es para la construcción de los mecanismos que responderán a este software. Este proyecto dará como resultado la construcción de una Máquina tipo Centro de mecanizado CNC y contará con EMC2 como sistema de control abierto.

La adquisición de conocimientos en este campo ha sido extenso y mucho más allá del expuesto en este documento, por lo que para cualquier lector con avidez de saber más y desee recomendaciones en algún tema en especial, se ofrezco la humilde opinión a través de miltonteran@live.com

BIBLIOGRAFÍA

Airliners.net. 7 de 12 de 2012 <http://www.google.com.ec/imgres?q=ball+screw+assembly&start=84&hl=en&sa=X&rls=com.microsoft:en-us:IE-SearchBox&rlz=1I7GPEA_en&biw=1440&bih=664&tbm=isch&tbnid=I7dNTL0jly9F9M:&imgrefurl=http://www.airliners.net/aviation-forums/tech_ops/read.main/234279/&doc>.

Aland Darbyshire. Mechanical Engineering: BTEC National Engineering Specialist Units. Tirth edition Newnes-2010.

American Society of Mechanical Engineers. Mechanical Engineering, Volume 67. American Society of Mechanical Engineers, 1945.

Atlanta Drive Sistens. <http://www.atlantadrives.com/highforce.htm>.

Automation Technologies Inc. www.automationtechnologiesinc.com. 15 de 1 de 2013 <http://www.automationtechnologiesinc.com/products-page/kl-stepper-drivers/kl-11080-stepper-drive>.

Blogspot.com. 6 de 12 de 2012 <http://ballscrewinfo.blogspot.com/2010/12/ball-screw-assemblies.html>.

Drives.co.uk. drives.co.uk. 3 de 1 de 2013 <http://www.drives.co.uk/fullstory.asp?id=2553>.

France-Japan and 7th Europe-Asia Congress on Mechatronics (MECATRONICS) / 13th Int'l Workshop on Research and Education in Mechatronics (REM) IEEE, Nov 21, 2012 - Technology & Engineering.

HIWIN CO. Hiwin.com. 10 de 1 de 2013 <http://www.hiwin.com/html/ball%20screws/RBSDrawingList.htm>.

HIWIN. Hiwin.com. <http://www.hiwin.com/html/ball%20screws/RBSDrawingList.htm>.

I Heart Robotics. <http://www.iheartrobotics.com/2009/11/timing-belt-tensioner.html>.

International Manufacturing Technology Show. 26 de 11 de 2012 <http://en.wikipedia.org/wiki/International_Manufacturing_Technology_Show>.

LinuxCNC. LinuxCNC.org. Last Updated on Wednesday, 25 January 2012 11:45 . 1 de 12 de 2012 <http://www.linuxcnc.org/index.php/english/documentation>.

Milton Terán TCC.Realizado por Milton Terán. Máquina CNC. Informe Tecnico-Científico (Tesis de Ingenieria). cuenca, 2013.(miltonteran@live.com)

Mittal & Nagrath, R K Mittal I J Nagrath. Robotics And Control. McGraw-Hill 2007.

Mahalik, Nitaigour Premchand Mahalik. Mechatronics: Principles, Concepts and Applications. Tata McGraw-Hill 2006.

Milwaukee MachineTool Corporation. Milwaukee MachineTool Corporation. 4 de 1 de 2013 <http://www.milwaukeemachinetool.com/RS_Series.htm>.

MTConnect. MTConnect .wikipedia. 2 de 12 de 2012 <http://en.wikipedia.org/wiki/MTConnect>.

National Institute of Standards and Technology wikipedia. National Institute of Standards and Technology. 26 de 11 de 2012 <http://en.wikipedia.org/wiki/National_Institute_of_Standards_and_Technology>.

Nookindustries. Nookindustries. 4 de 12 de 2012 <http://www.nookindustries.com/Product/ProductLine/Ball-Screw-Products>.

Probotix. Probotix. 3 de 12 de 2012 <http://www.probotix.com/index.php?view=home>.

Proceedings of the Japan-U.S.A. Symposium on Flexible Automation, Volume 1.

Servo-drive.com. <http://www.servo-drive.com/inverted_roller_screw_servoactuator.php>.

Sabri Cetinkunt. Mechatronics Edition illustrated. Publisher Patria, 2007.

Thomasnet.com. thomasnet.com. 3 de 1 de 2013 <http://news.thomasnet.com/companystory/Bearings-and-Linear-Guides-Make-Medical-Equipment-Safer-and-More-Flexible-828874>.

V. S. Bagad. Mechatronics. Technical Publications Pune fourth edition-2008.

Wikimedia Foundation, Inc. 8 de 12 de 2012 <http://en.wikipedia.org/wiki/Roller_screw>.

winfordeng.com. Winfordeng.com. 10 de 1 de 2013 <http://www.winfordeng.com/products/brk25.php>.

ANEXOS

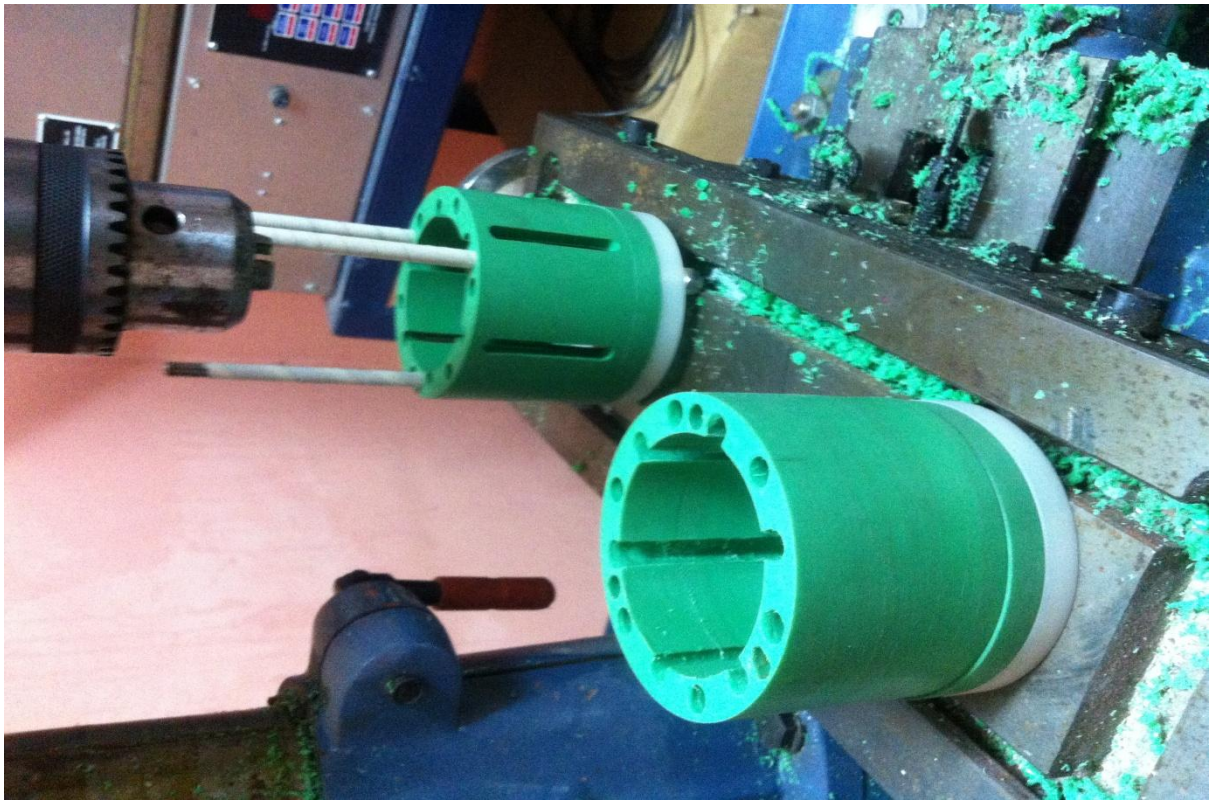
Entre los anexos más importantes ofrezco adelantos de la construcción física de la maquina, puesto que lo expuesto en este trabajo se trata de un informe de tipo científico gran parte de la investigación de campo requiere ser efectuada de manera paralela a la teórica lo que y es muy importante enfatizar extiende el tiempo de investigación de manera exponencial mismo que no está aún contemplado en los lineamientos de las instituciones universitarias. Para una mejor comprensión de la investigación, se muestra a continuación un registro fotográfico:

Construcción del taller tipo laboratorio para la investigación física.

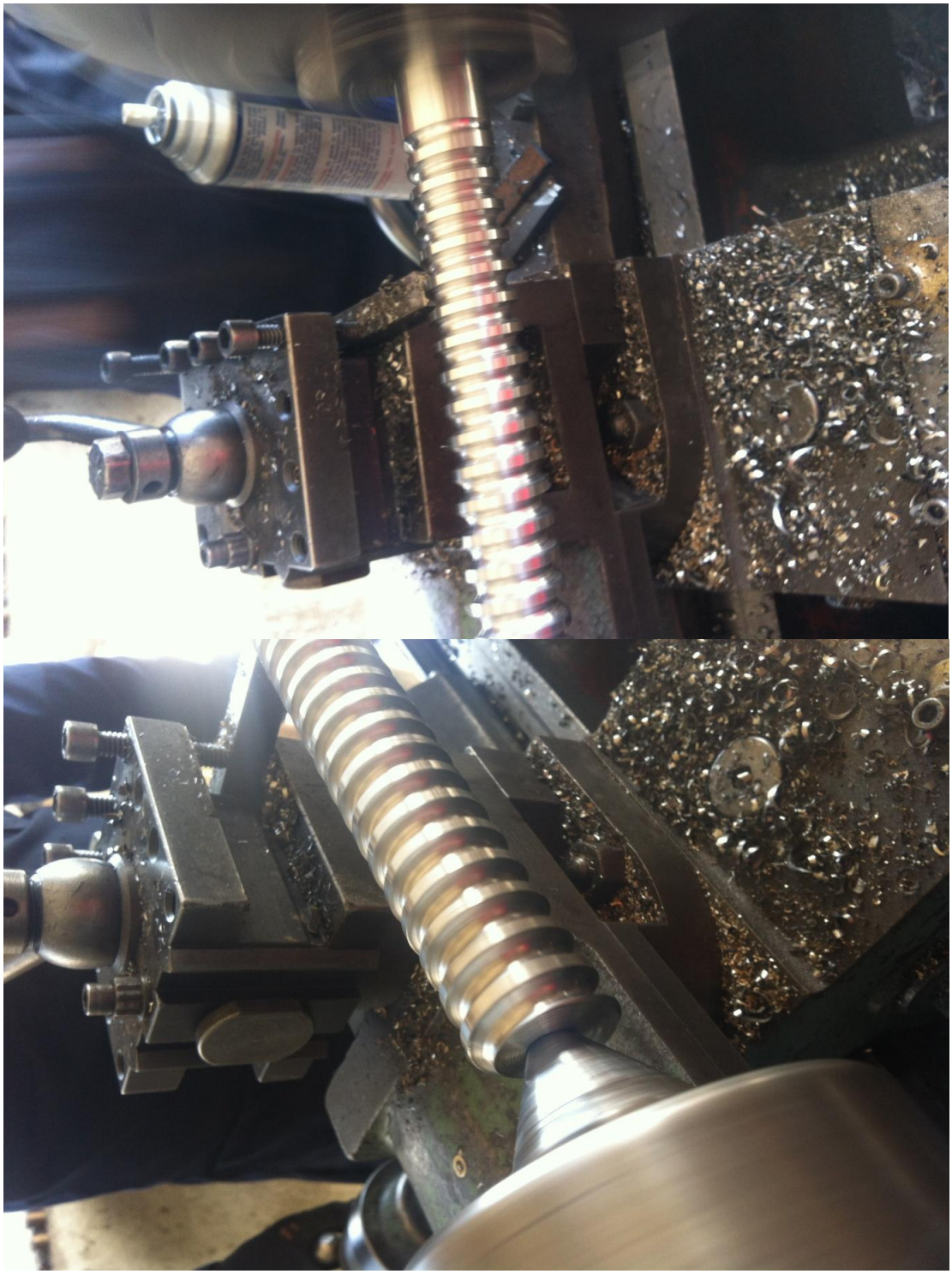
Componentes principales de la electrónica especificados anteriormente para tres ejes (X, Y, Z)

Tarjeta de interfaz, Controladores y Motores de pasos.

Construcción de los rodamientos lineales de 50 milímetros de diámetro interno.

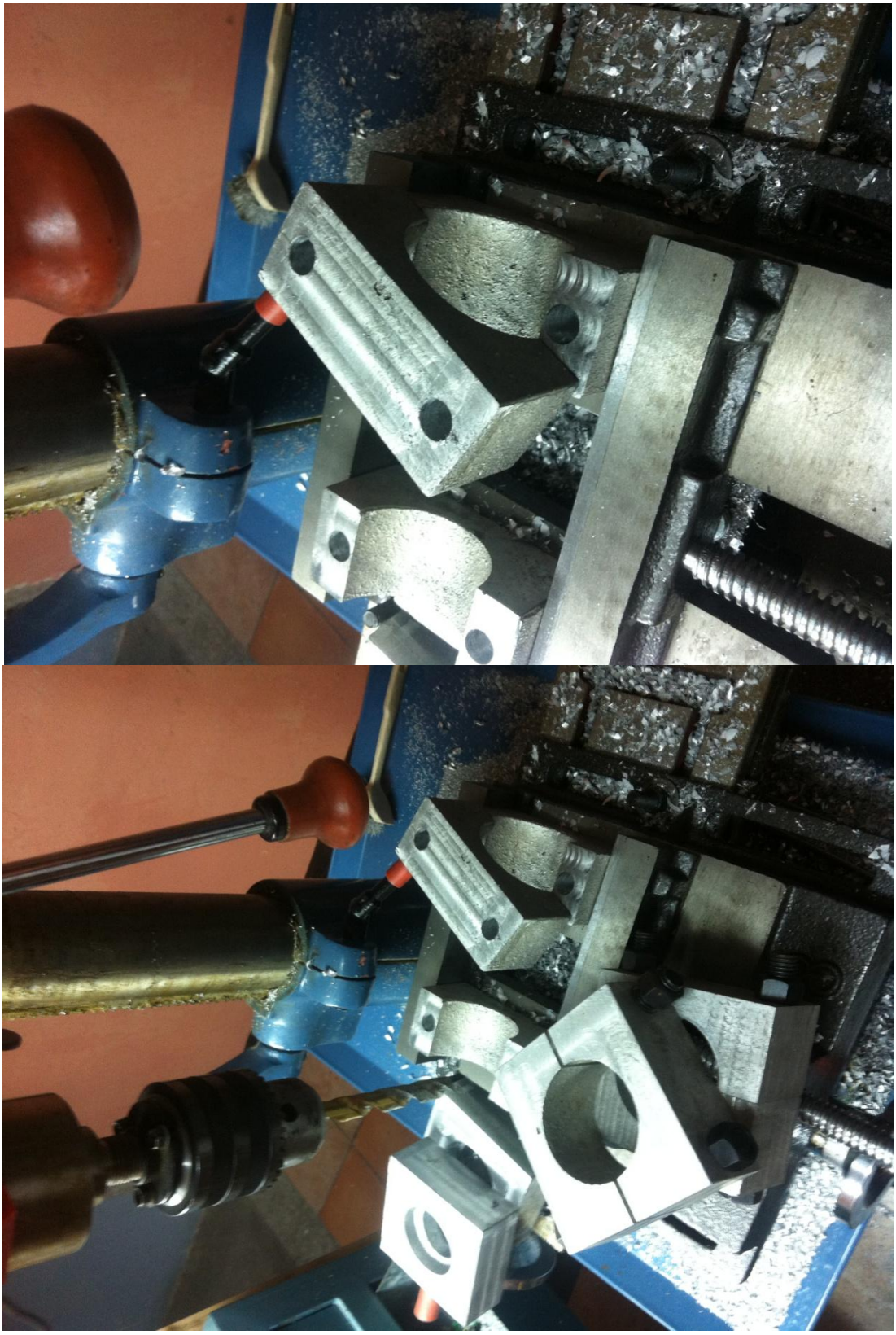


Construcción de rodamientos lineales de bolas recirculantes.



Experimentación con torno para la fabricación de tornillo de bolas recirculantes. No recomendable. No funciona. Se debe usar método de rectificación.

Fabricación del chasis con perfil cuadrado de acero de 100 milímetros.



Construcción de las bases terminales de tornillo de bolas.

Montaje de componentes en el chasis.

Montaje de componentes en el eje Y.

Montaje de componentes en el eje X y Y vista diagonal.

Montaje de componentes en el eje X y Y vista lateral.

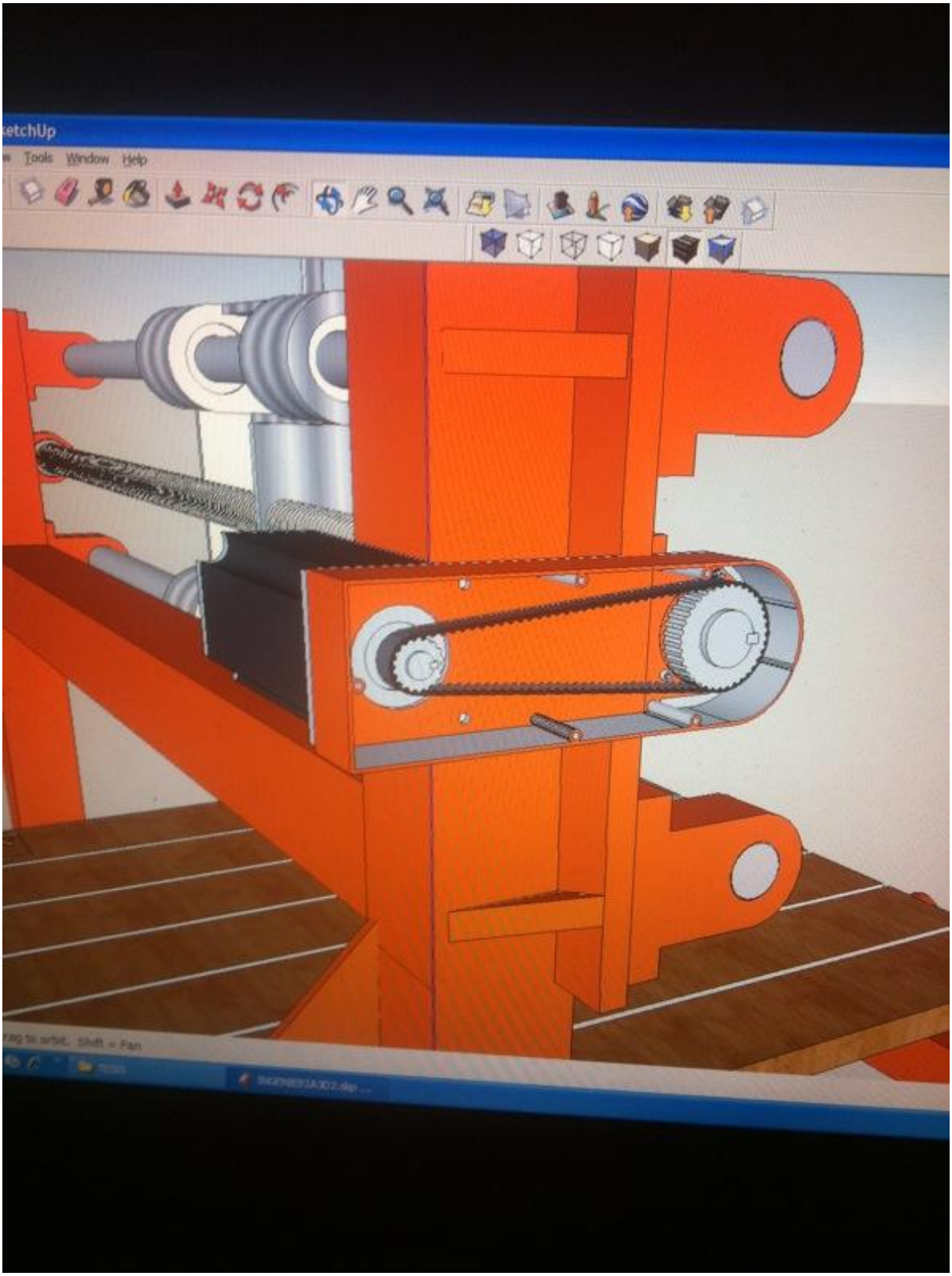
Montaje de componentes en el eje X y Y vista lateral.

Montaje de componentes en el eje X y Y vista posterior.

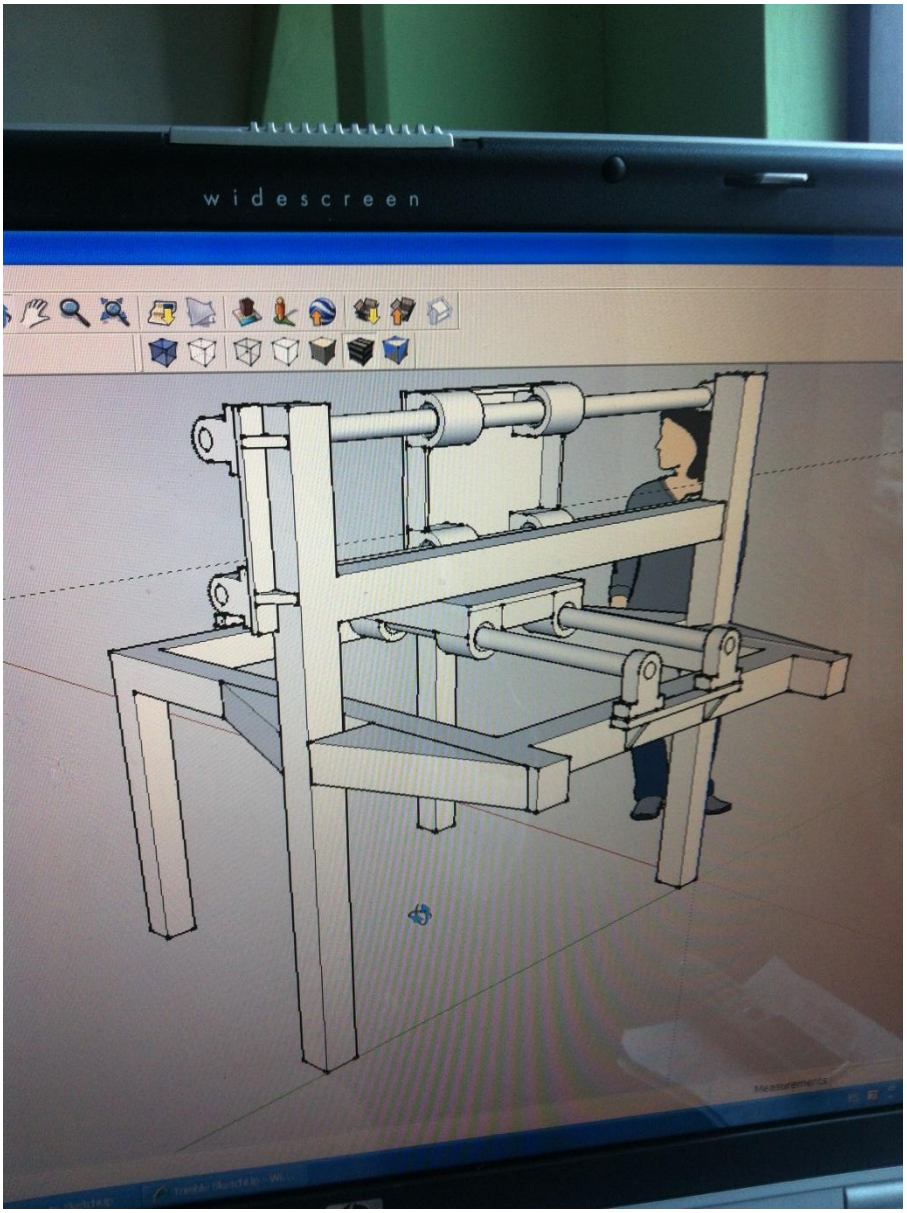
Montaje de componentes en el eje X vista frontal

Montaje de componentes en el eje Y vista posterior.

Montaje de componentes en el eje X y Y vista posterior.

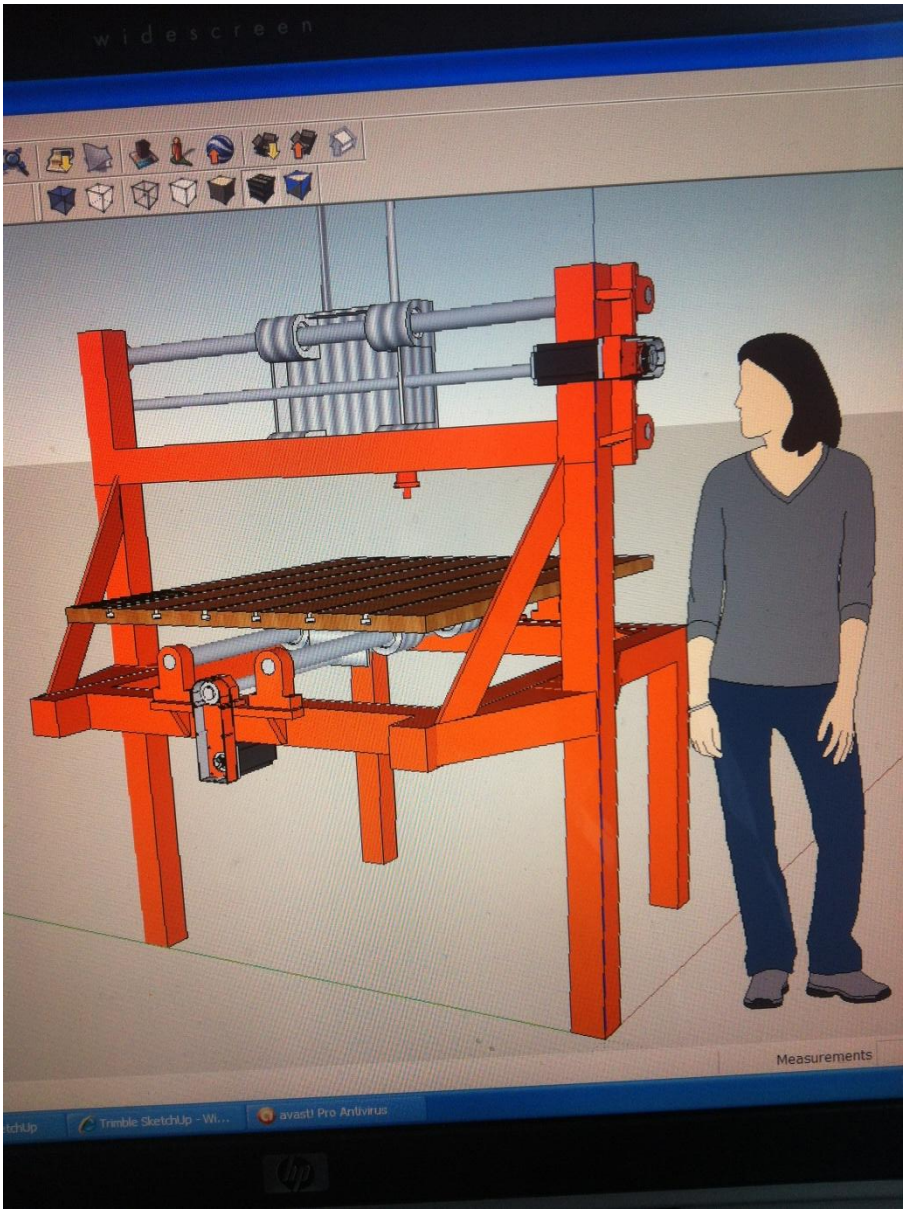


Diseño en CAD de componentes del eje Y vista del sistema del actuador.

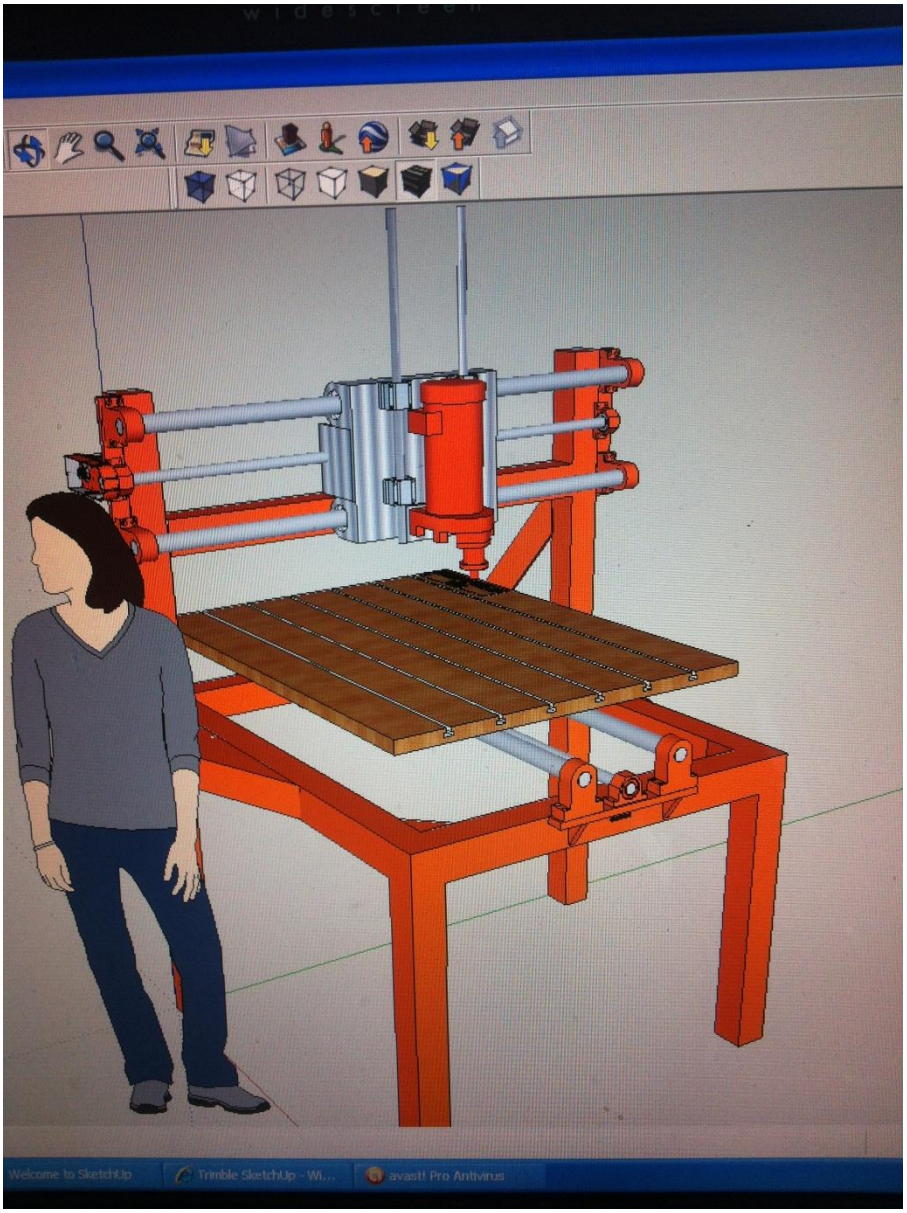


Diseño en CAD del chasis eje X y Y.

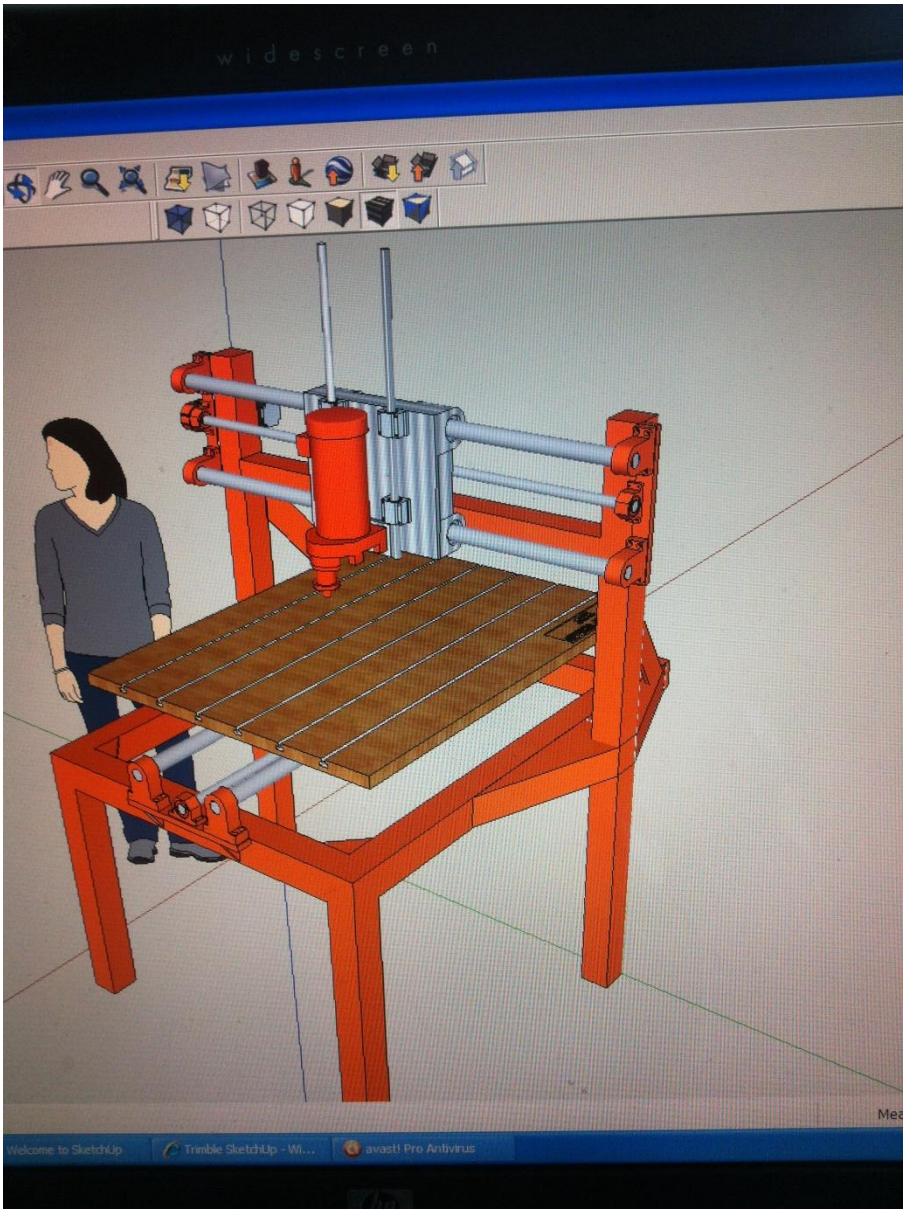
Diseño en CAD del chasis eje X y Y vista aerea.



Diseño en CAD del chasis eje X y Y vista posterior.

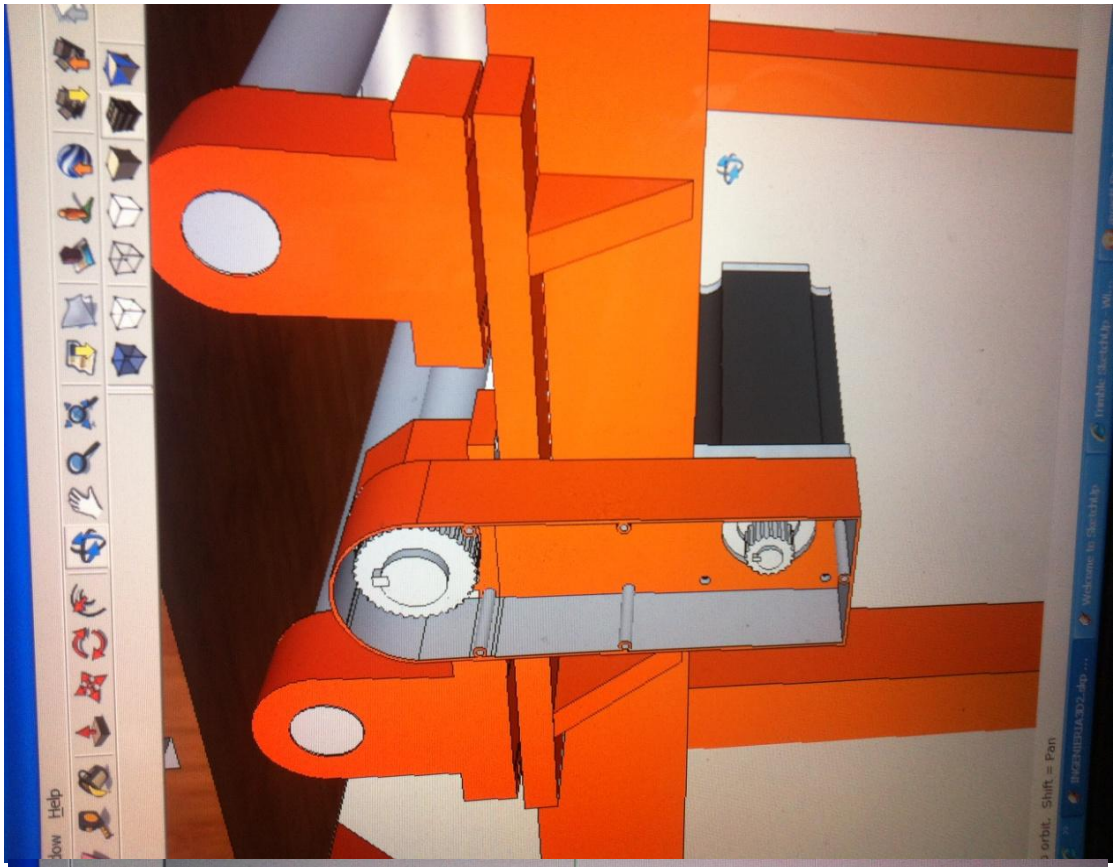


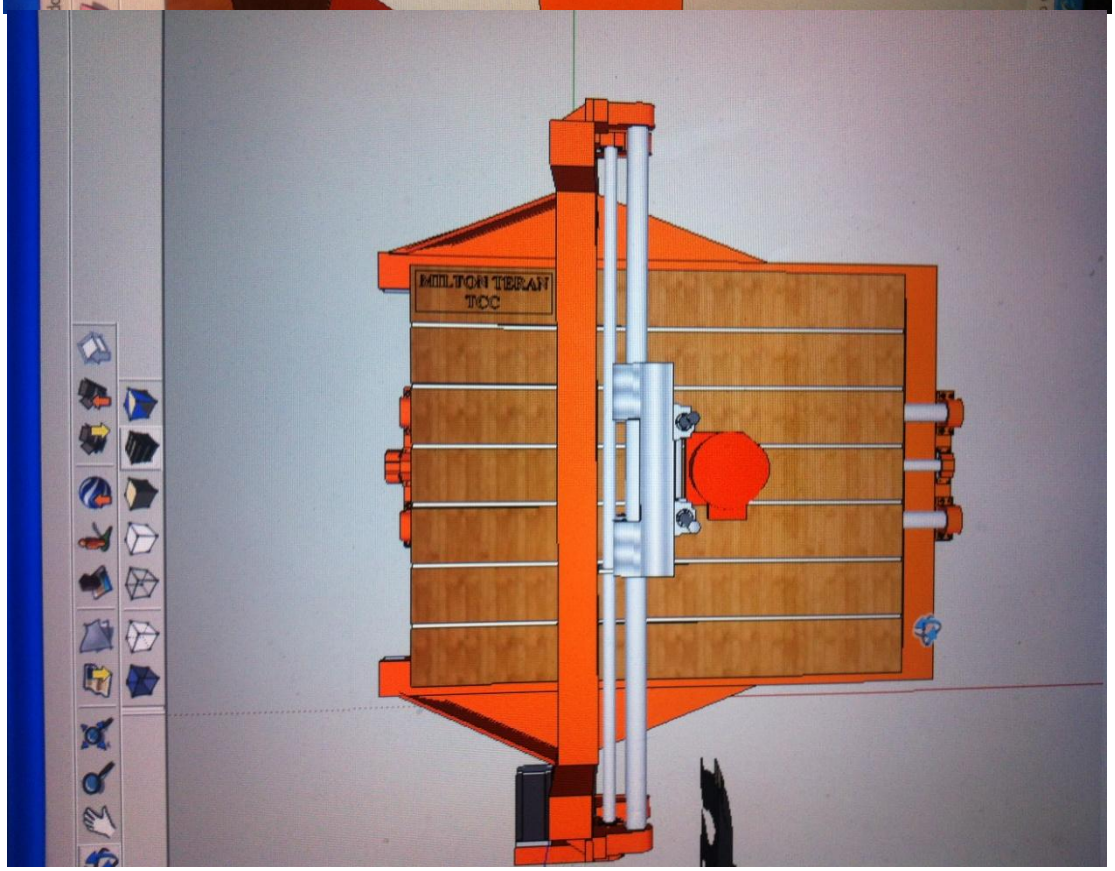
Diseño en CAD del chasis eje X y Y vista diagonal derecha.

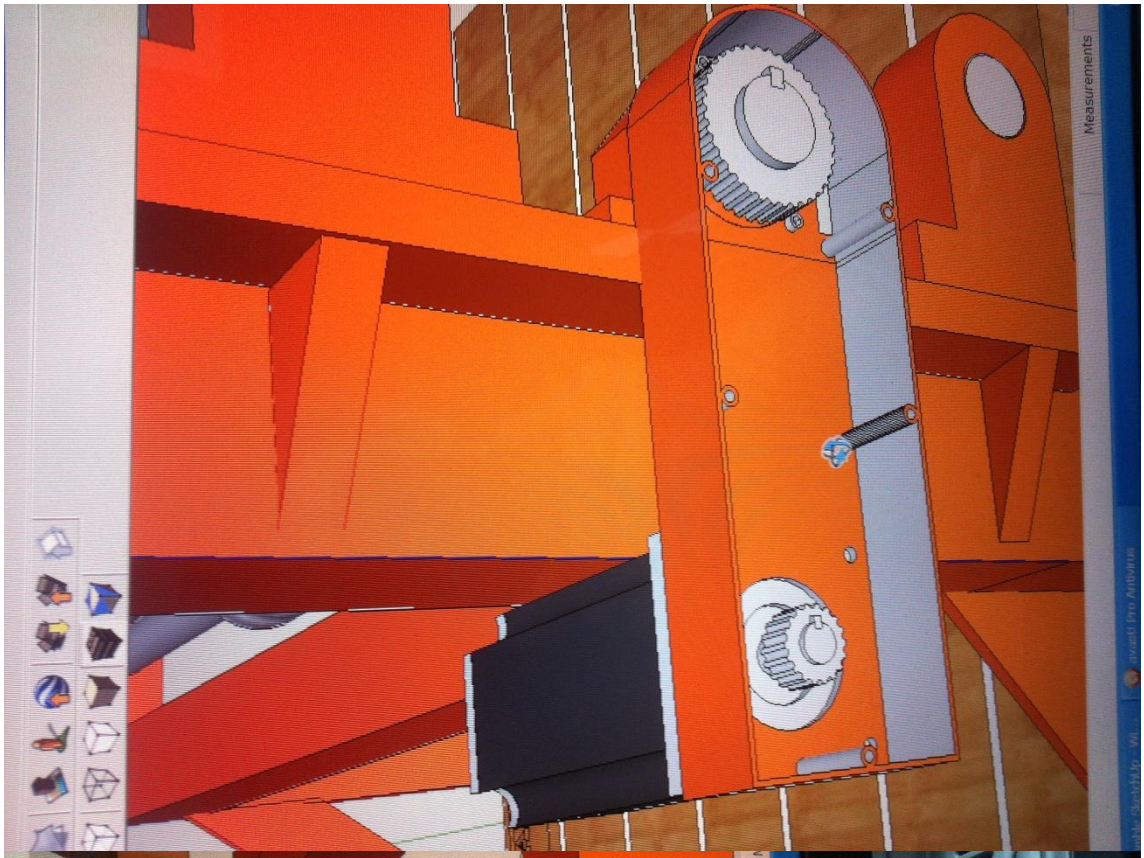


Diseño en CAD del chasis eje X y Y vista diagonal izquierda.

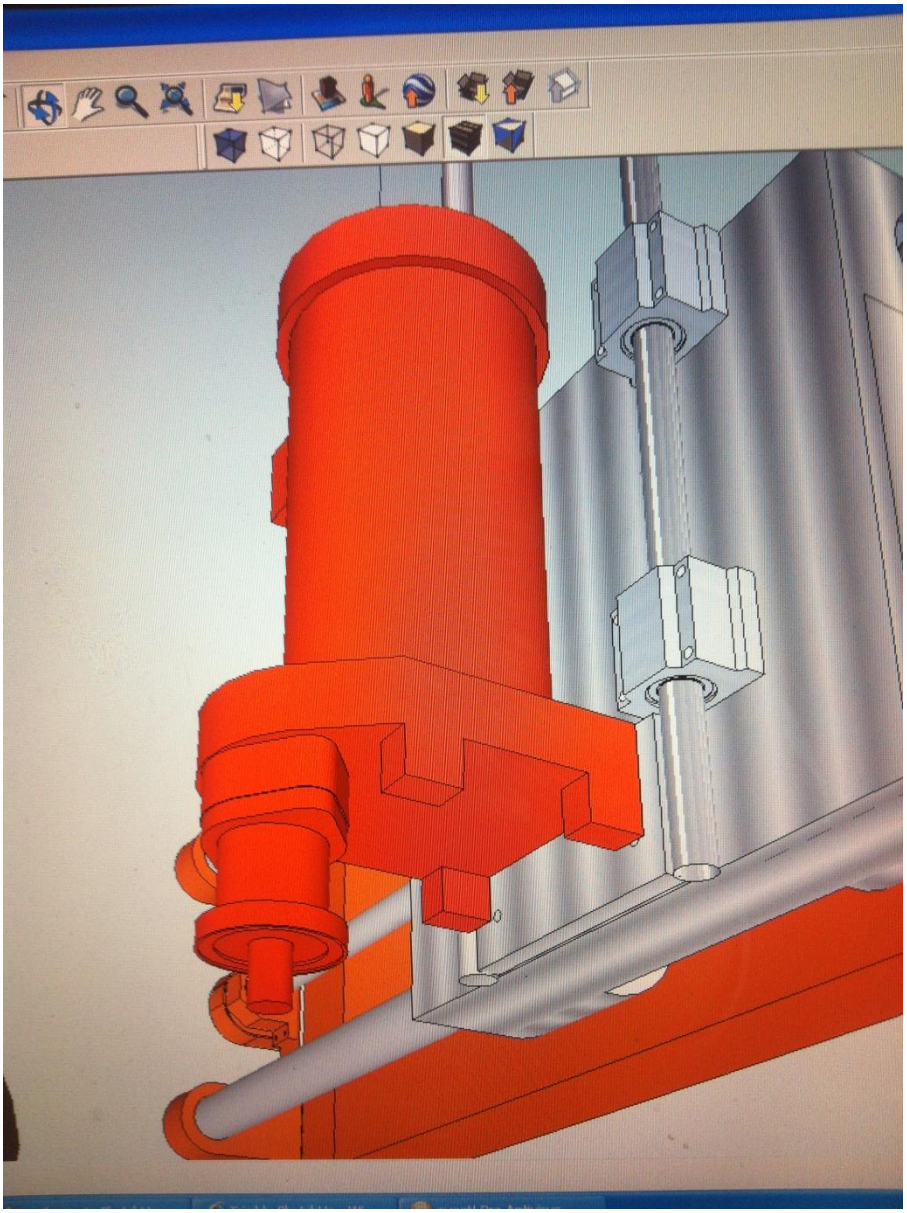
Vistas múltiples del diseño en CAD.






Measurements

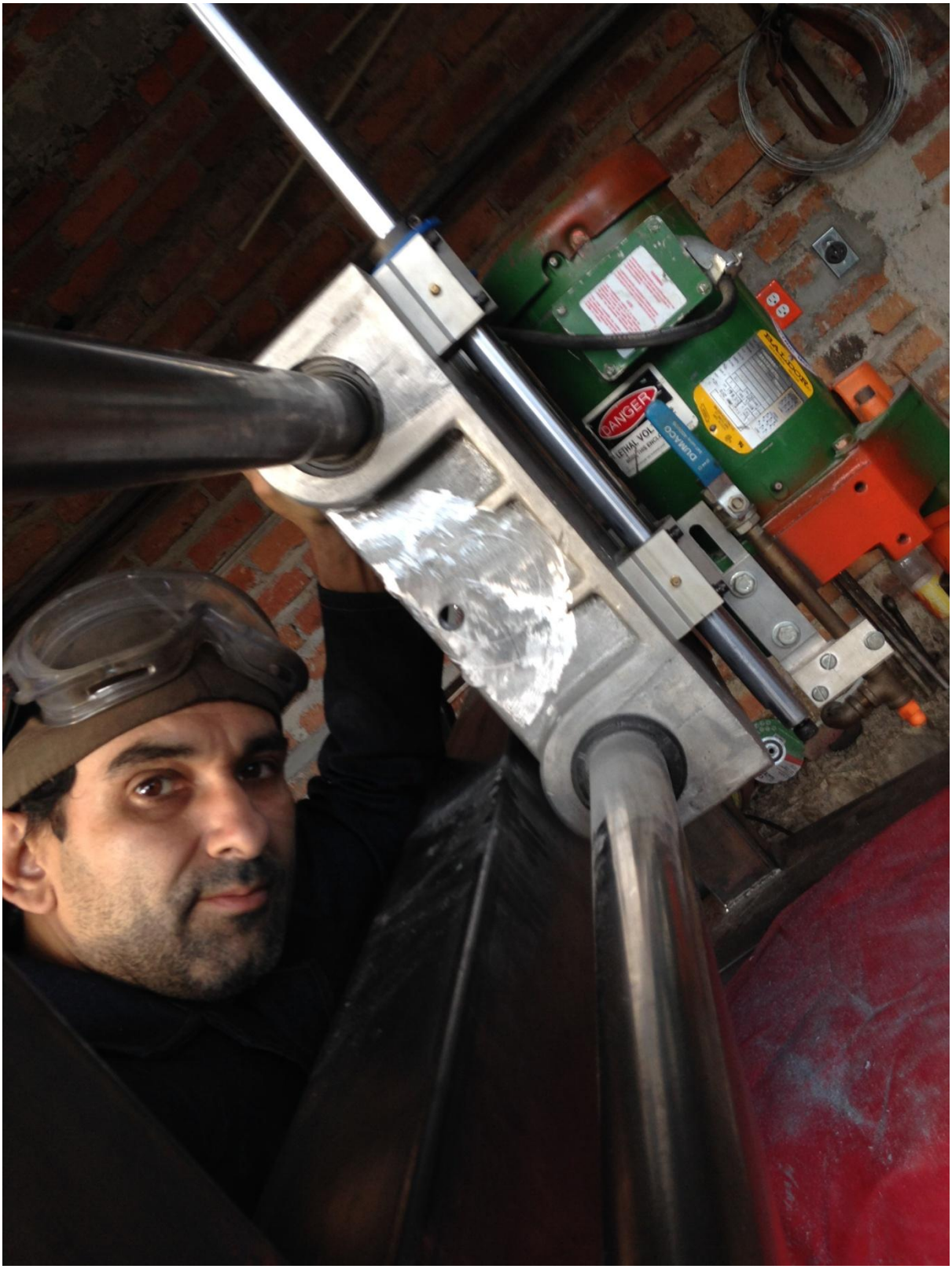
COLOR #01
Welcome to SketchUp
Trimble SketchUp - Wi...
avast! Pro Antivirus
HP Pavilion zd8000
DVD



Montaje del eje Z en el chasis.

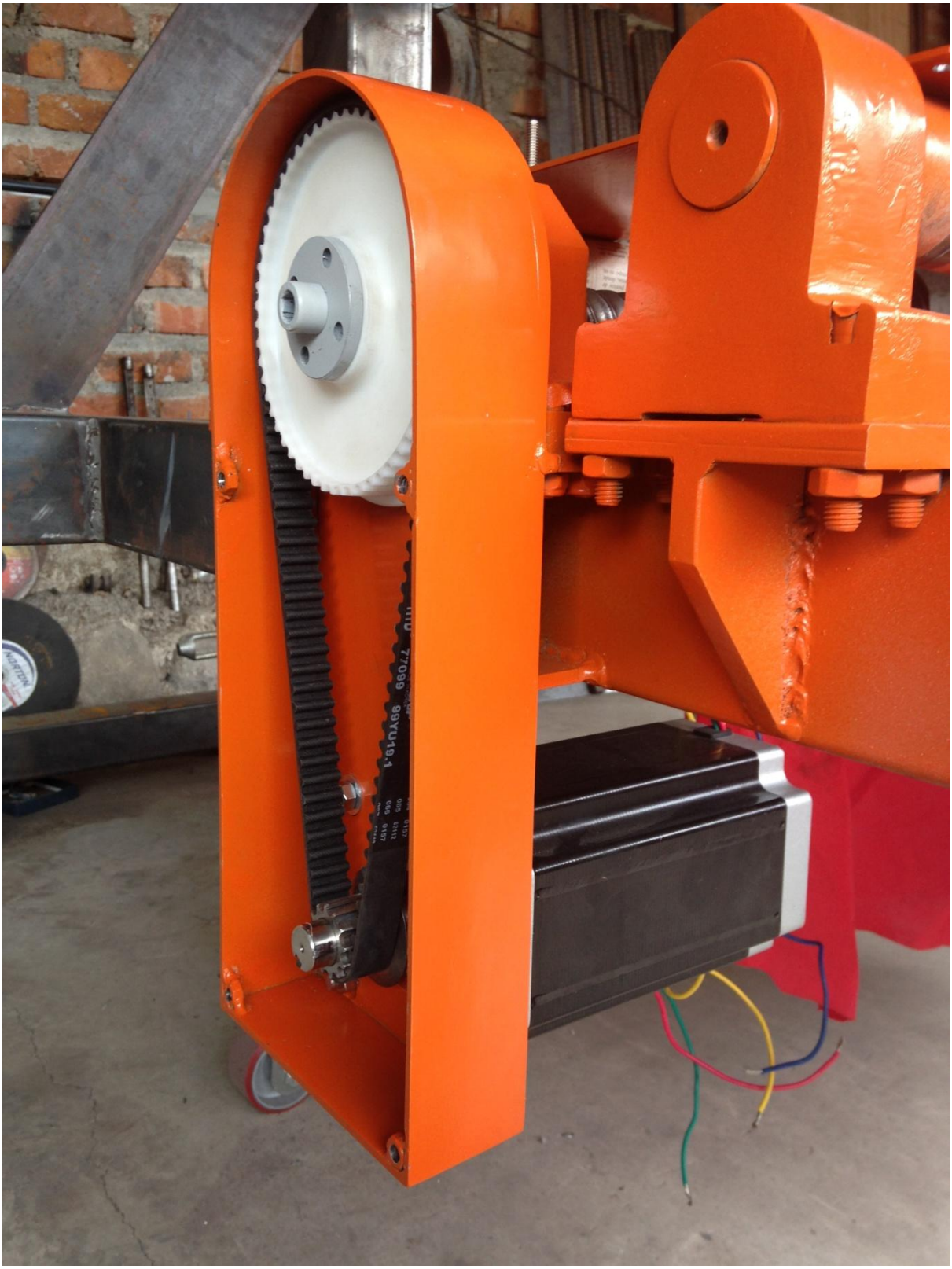
Fabricando tornillo de bolas.

Colocando tornillo de bolas para el eje Y.

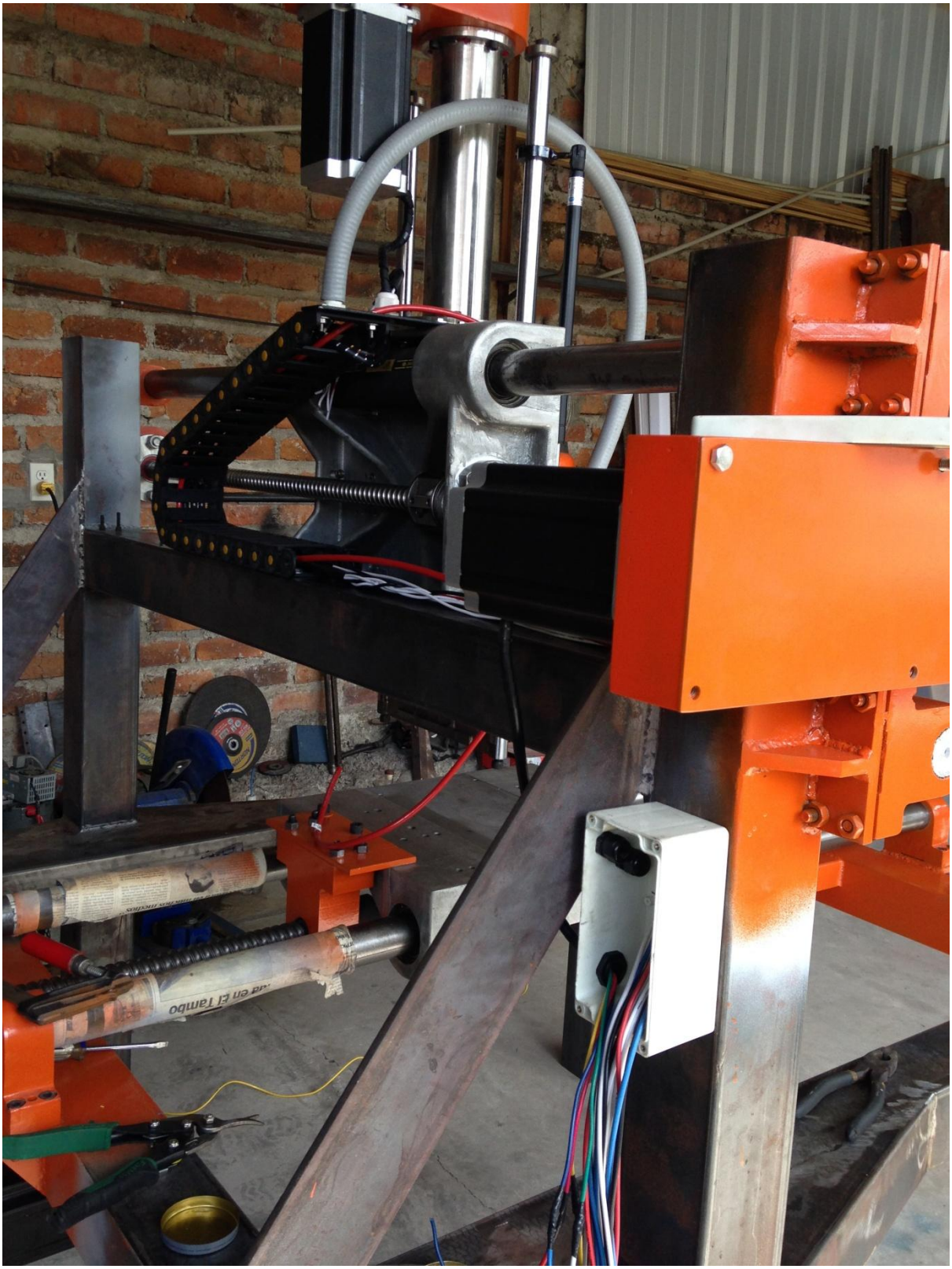


Tornillo eje Y colocado.

Sistema de actuador del eje X.



Actuador del eje Y y del eje Z.



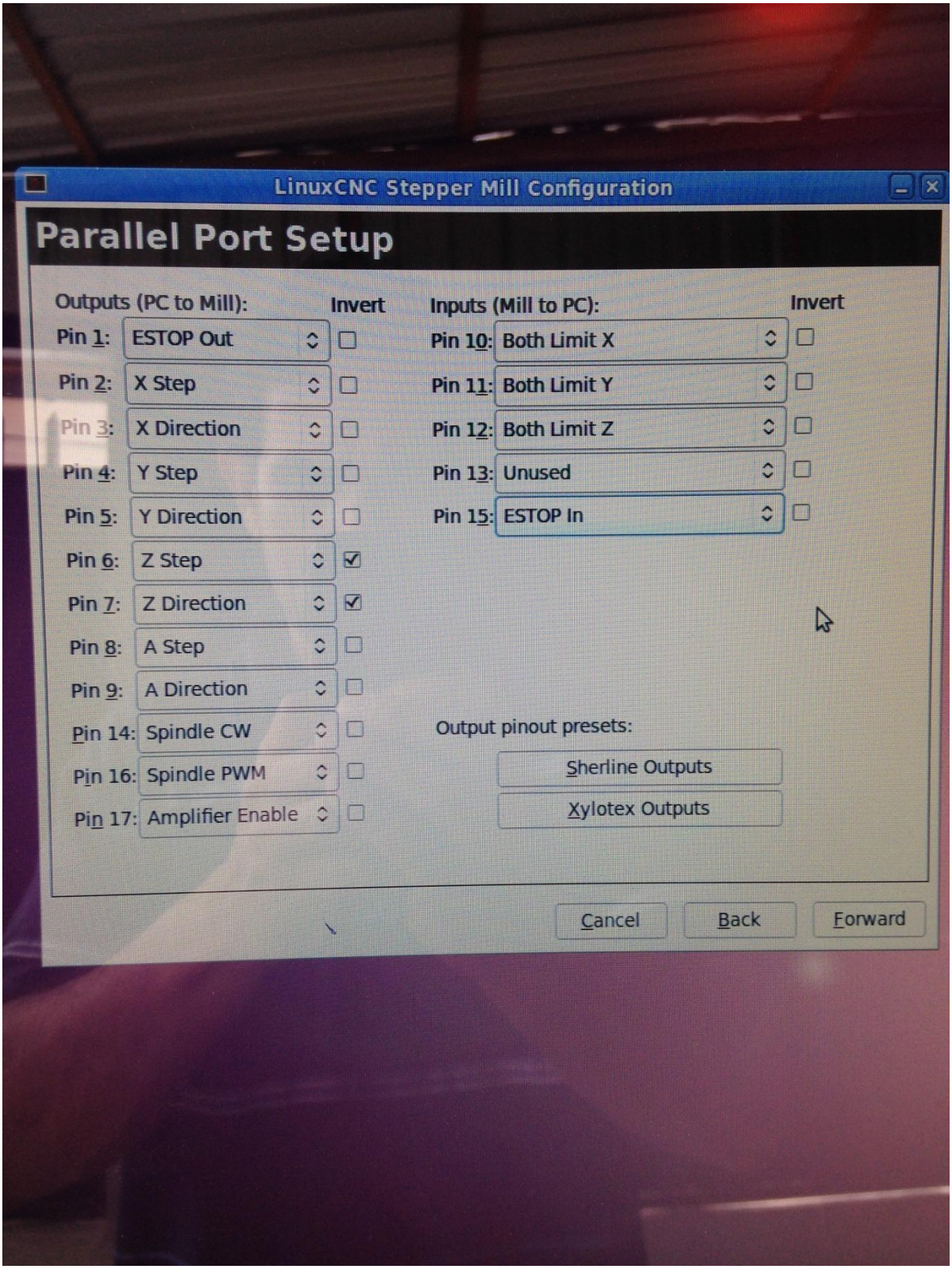
Fabricación del modulo de control.

Distribución de los componentes electrónicos.

Modulo de control.

Prueba del modulo de control.

Configuración del puerto paralelo del modulo de control.



Prueba del Ruter de corte con las funciones 3D.

Prueba con cuchilla de 1.5mm