

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON  
CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO  
DIDÁCTICO**

PRESENTADO POR:

**OSCAR ALEJANDRO CRUZ GARCÍA**

**EVELYN REBECA GUERRA LÓPEZ**

**RICARDO ALFREDO HERRERA CASTRO**

**NÉSTOR OSWALDO MEZA ORELLANA**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2014

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIA GENERAL :

**DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR :

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON  
CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO  
DIDÁCTICO**

Presentado por :

**OSCAR ALEJANDRO CRUZ GARCÍA**  
**RICARDO ALFREDO HERRERA CASTRO**  
**EVELYN REBECA GUERRA LÓPEZ**  
**NÉSTOR OSWALDO MEZA ORELLANA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**  
**ING. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ**

San Salvador, Mayo de 2014

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ**

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos profundamente a Dios Todopoderoso por el regalo de la vida, por las bendiciones recibidas y por permitirnos culminar con este trabajo de graduación nuestra formación universitaria.

A nuestras familias, pues han sido ellas quienes siempre han contribuido de múltiples formas para que nosotros hayamos alcanzado este objetivo.

A nuestros asesores, Ing. Rigoberto Velásquez Paz e Ing. Carlos OSMÍN Pocasangre Jiménez, por sus observaciones y propuestas sobre el trabajo, también por su disponibilidad de tiempo y flexibilidad para atender nuestras consultas.

A las autoridades de la Universidad de Sonsonate y especialmente, al Ing. MSci Cesar Morales quien nos ha ayudado de manera significativa en el desarrollo del sistema de control de la máquina; su colaboración ha sido fundamental para la culminación de este trabajo puesto que en todas las ocasiones que lo visitamos, él nos asesoró oportunamente y brindó todo su conocimiento de manera desinteresada.

Al Ing. William Martinez, encargado del Centro de Mecanizado de la EIM, por su valiosa colaboración en la elaboración de algunas de las piezas de la máquina y por su buena voluntad para ayudarnos cuando fue requerido.

A la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica por su aporte al proyecto, especialmente al Ing. Mauricio Polanco, y a Julio Quintanilla por sus ideas.

Al Sr. Pompilio Torres, Jefe de Taller Industrial, quien puso a nuestro servicio las herramientas, personal y equipo necesario para la construcción de la máquina y procuro solventar nuestras dificultades aportando su experiencia y gran conocimiento de mecánica.

A los ingenieros Mario García, Saúl Morales, Emilio Velis, Juan Antonio Ramírez y Daniel Molina, quienes en su momento colaboraron de manera oportuna y ayudaron a solventar problemas.

En general, agradecemos a todas aquellas personas que colaboraron de una u otra manera en el desarrollo de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Inicialmente deseo dedicarle este trabajo especial a todas las personas que siempre creyeron en mi capacidad, capacidad que tenemos todos, es grato saber la fuerza y determinación que poseemos cuando queremos alcanzar algo.

A Dios por ser siempre ese sentimiento de alegría, tranquilidad y serenidad en cada momento de esta etapa de la vida que esta próxima a culminar espero ser digno por tan valioso esfuerzo, como también doy gracias a Dios por otorgarnos la sabiduría necesaria a mis compañeros y a mí persona para salir adelante ante cada obstáculo que se presentó.

A mi familia, mi madre Rosa Aminta Castro por ser un apoyo incondicional y estar en las buenas y en las no tan buenas a mi lado llenándome de consejos sabios y aliento, a mi hermano Oscar Alfredo Herrera Castro que con mucho esfuerzo me apoyo en el transcurso de mi carrera universitaria, Dios los bendiga hoy y siempre, no hay un día en el que no le agradezca a Dios el haberme colocado entre ustedes, la fortuna más grande es tenerlos conmigo y el tesoro más valioso son todos y cada uno de los valores que me inculcaron.

A Fátima Isabel Castro Acevedo una bella persona que demuestra la sencillez sin juzgar, gracias por tu cariño y apoyo factores fundamental que me brindan y brindaron equilibrio.

Si algo me enseñó esta carrera es que existen personas valiosas, compañeros de armas Rebeca Guerra, Oscar Cruz, y Néstor Meza, demás compañeros y amigos de promoción valió la pena luchar juntos por una meta, si bien a de terminar esta etapa

me queda la satisfacción de haber compartido con personas tan valiosas como ustedes, les doy las gracias por su apoyo y afecto, también va dedicado a todos ustedes.

“...se requiere de muchos estudios para ser profesional, pero se requiere de toda una vida para aprender a ser persona”

**Ricardo Alfredo Herrera Castro.**



## **DEDICATORIA**

A Dios: que nos ha regalado vida y las fuerzas necesarias para lograr emprender y finalizar con éxito esta tarea.

A Mis Padres: los cuales son un orgullo para mí ya que han dado todo su esfuerzo durante toda mi vida para que este día llegue, siempre brindándome su apoyo y sus oraciones.

A mis compañeros de tesis: con los que hemos trabajado con empeño y dedicación hasta lograr concluir satisfactoriamente los objetivos trazados.

A mis amigos: que en los momentos más difíciles sirvieron como un gran apoyo y siempre estuvieron dispuestos a ayudarnos en todo lo que les fuera posible para la finalización del proyecto alcanzando así nuestra meta.

**Néstor Oswaldo Meza Orellana.**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la oportunidad de culminar mi experiencia universitaria, por darme siempre la fortaleza y el ánimo de salir adelante.

De manera especial a mi familia, mi Padre Fermín Cruz por sus consejos y regaños, mi madre Juana María García por su amor incondicional y su paciencia, a mi hermano Fermín Osvaldo Cruz por su interés y su apoyo, a mi hermana Eneida Beatriz Cruz por su alegría y su ayuda, a mi hermano Ramiro Fernando Cruz por su apoyarme en lo que necesitaba.

A mis compañeros de tesis Néstor Meza, Rebeca Guerra, Ricardo Herrera Castro por su arduo trabajo en este proyecto que hemos llevado a feliz final.

A la Familia Iriondo Tobar: Marvin Stanley Iriondo Tobar, Víctor Hugo Iriondo Tobar, Kevin Ulises Alvares Tobar porque a lo largo de mi vida universitaria me han tomado como uno más de su familia gracias por su apoyo incondicional.

A mis amigos con los que me cruce a lo largo de mi carrera universitaria: Juan Ayala, Marvin Flores, Fátima García, Douglas Aguilar, Roberto Iraheta, Sergio Ardon, por ser las personas que llenaron de risas esta travesía y con los que dejamos a un lado el cansancio por estudiar para los parciales, por sus muestras de apoyo y cariño en todo este tiempo.

A los amigos de la Asociación de Estudiantes de Ingeniería Mecánica que conocí durante mi estadía en la universidad por darle un toque de humor a las tardes después de las clases.

Un agradecimiento a la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica por su apoyo en la construcción de este proyecto: al ing. Mauricio Polanco, Julio Quintanilla por su aporte de ideas a este proyecto y enseñanzas a lo largo de mi formación universitaria, Rafael Peralta por su apoyo y al Lic. Edgardo Méndez (Q.D.E.P) por sus enseñanzas en el taller.

*Nunca andes por caminos  
trazados, pues te conducirán únicamente  
hacia donde los otros fueron.*

**Oscar Alejandro Cruz García.**

## **DEDICATORIA**

A Dios Todopoderoso, por darme la fuerza, la determinación y la paciencia para lograr la realización de este trabajo y por todas las bendiciones recibidas hasta el día de hoy.

A mi madre, Griselda López, por su incondicional apoyo y su contribución a la formación de mi carácter por medio de la enseñanza de valores como la disciplina y perseverancia que han hecho posible la culminación de mi formación universitaria.

A mi tío, Mario López, quien ha sido como mi padre y me ha apoyado a lo largo de la carrera tanto en lo económico como en lo emocional por medio del constante ánimo, apoyo y colaboración en todas las circunstancias.

A mis compañeros de trabajo de graduación, porque a lo largo del tiempo que duró la ejecución del mismo, se logró establecer buenas relaciones de comunicación que permitieron dar final al proyecto pese a todas las dificultades atravesadas.

A Ismael Santa Cruz, novio y mejor amigo quien me ha acompañado desde el 2007 hasta la fecha brindándome su incondicional apoyo y ayuda oportuna en cada momento de dificultad, porque ha sido y es una fuente de motivación que me impulsa a dar lo mejor de mí y superar todos los obstáculos para lograr mis objetivos tal como este trabajo de graduación. Gracias Ismael por estar ahí siempre que te he necesitado.

**Evelyn Rebeca Guerra López**

## INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	X
II. OBJETIVOS .....	XII
i.    Objetivo General .....	XII
i.    Objetivos Especificos .....	XII
III. ALCANCES .....	XIII
IV. GLOSARIO DE SIGLAS .....	XIV
1. MARCO TEÓRICO .....	2
1.1    Antecedentes.....	2
1.1.1    Introducción al Control Numérico por Computadora. ....	4
1.1.2    Control Numérico por Computadora en Fresadoras.....	5
1.2    Fresadora, definición y estructura básica. ....	7
1.2.2    Estructura de una Fresadora. ....	8
1.2.3    Tipos de Fresadora.....	9
1.2.4    Fresadoras Especiales. ....	13
1.2.5    Operaciones De Fresado. ....	18
1.2.6    Operaciones de Fresado con CNC. ....	19
1.2.7    Parámetros de Corte del Fresado.....	23
1.2.8    Tipos de Herramientas.....	23
1.2.9    Clasificación de las Fresas. ....	26
1.2.10    Accesorios de una Fresadora. ....	27

1.3	Microcontrolador, definición y clasificación. ....	30
1.3.1	Estructura y Elementos de los Microcontroladores. ....	30
1.3.2	Clasificación de los Microcontroladores. ....	33
1.3.2	Aplicaciones de los Microcontroladores. ....	37
1.3.3	Lenguajes de Programación. ....	38
1.3.6	Interfaces de Programación. ....	42
1.4	Motores de corriente continua (DC).....	43
1.4.1	Descripción y Distribución de las Piezas .....	44
1.5	Motores paso a paso .....	48
1.5.1	Definición de un Motor Paso a Paso. ....	48
1.5.3	Principio de Funcionamiento. ....	50
1.5.4	Tipos de Motores Paso a Paso.....	52
1.5.5	Control de Motores Paso a Paso. ....	54
1.5.6	Consideraciones Acerca de los Motores Paso a Paso.....	58
2.	DISEÑO MECÁNICO Y DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO .....	62
2.1	DISEÑO MECÁNICO.....	62
2.1.1	Pruebas Preliminares .....	62
2.1.2.	Volumen de Trabajo. ....	64
2.1.3.	Mesa de Trabajo. ....	64
2.1.4	Selección del Prototipo. ....	65
2.1.5	Diseño del Sistema de Transmisión de Potencia.....	66
2.2	DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO .....	95

2.2.1	Generalidades.....	95
2.2.2	Modelo de Capas .....	96
2.2.3	Selección de componentes .....	98
3.1	CONFIGURACIÓN MECANICA.....	111
3.1.1	Chasis .....	111
3.1.2	Mecanismo de desplazamiento.....	113
3.1.3	Cabezal. ....	115
3.1.4	Mesa de Trabajo .....	121
3.1.5	Transmisión de Potencia .....	122
3.1.6	Accesorios.....	149
3.2	Pruebas Mecánicas .....	150
3.3	Sistema Eléctrico-Electrónico .....	152
3.4	Pruebas Electrónicas .....	156
3.5	RESULTADOS .....	162
3.5.1	Maquinado en Aluminio.....	162
3.5.2	Maquinado en Cobre .....	163
3.5.3	Maquinado en Nylon.....	165
3.5.4	Maquinado en Madera.....	166
4.1	GENERALIDADES.....	169
4.2	COSTOS .....	169
4.2.1	Presupuesto General del Proyecto. ....	170
4.3	MANUAL DE OPERACIÓN, SERVICIO Y MANTENIMIENTO.....	171

4.3.1	Operacion.....	175
4.3.2	Mantenimiento.....	177
4.4	GUIA DE LABORATORIO 1.....	186
4.5	GUIA DE LABORATORIO 2.....	192
5.1	CONCLUSIONES.....	202
5.2	RECOMENDACIONES.....	204
	BIBLIOGRAFÍA.....	205
	ANEXO 1. Tabla de coeficientes de fricción entre tornillo, tuerca y arandela.....	208
	ANEXO 2. Tamaños de roscas cuadradas y ACME.....	208
	ANEXO 3. Tabla de propiedades mecánicas de los materiales.....	209
	ANEXO 4. planos de circuitos eléctricos.....	210
	ANEXO 5. Planos Constructivos y de Conjunto.....	218
	ANEXO 6. manual de inkscape.....	244

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Fresadora de Whitney.....	2
Figura 1.2.	Fresadora vertical construida en 1857 por "Sharp, Stewart y Co".....	3
Figura 1.3.	Fresadora de control numérico por computadora (CNC).....	5
Figura 1.4.	Diagrama de una fresadora horizontal.....	8
Figura 1.5.	Fresadora CNC horizontal.....	10
Figura 1.6.	Fresadora CNC vertical.....	11
Figura 1.7.	Fresadora CNC universal.....	12



Figura 1.8. Posibles ejes en una fresadora.....	13
Figura 1.9. Fresadora circular.....	14
Figura 1.10. Fresadora copiadora.....	15
Figura 1.11. Fresadora de pórtico.....	16
Figura 1.12. Fresadora de puente móvil.....	16
Figura 1.13. Fresadora CNC para madera.....	17
Figura 1.14. (A) fresado cilíndrico, (B) fresado frontal, (C) fresado de acabado.....	18
Figura 1.15. Fresa de planear de plaquitas de metal duro.....	20
Figura 1.16. Fresa de disco para ranurar.....	21
Figura 1.17 Nomenclatura de una fresa.....	24
Figura 1.19. Fresa con mango cónico.....	26
Figura 1.21. Cabezal universal.....	28
Figura 1.22. Mordaza para sujeción de piezas.....	29
Figura. 1.25. Esquema de microcontrolador Harvard.....	35
Figura 1.26. Micro-motores DC utilizados en robótica.....	43
Figura 1.27. Piezas fundamentales de un motor de corriente directa.....	44
Figura 1.28. Detalle del rotor.....	45
Figura 1.29. Detalle del estator.....	47
Figura 1.30. Diseño de los polos.....	47
Figura. 1.31. Motor paso a paso.....	49
Figura. 1.32. Izquierda rotor de un motor paso a paso, derecha estator de 4 bobinas..	50
Figura. 1.33. Imagen de motor paso a paso unipolar.....	53
Figura. 1.34. Motor paso a paso con sus dos bobinas.....	53
Figura 2.1 configuración para ensayos realizados.....	63
Figura 2.2. Volumen de trabajo.....	64
Figura 2.3. Mesa de trabajo.....	65
Figura 2.6 Paso y avance del sistema tornillo-tuerca.....	67

Figura 2.8 Diagrama de fuerzas que actúan sobre cada guía. ....	69
Figura 2.9 Tornillo de potencia.....	74
Figura 2.10 Diagrama de fuerza cortante en guías del Eje X. ....	74
Figura 2.11 Diagrama de Fuerza Cortante sobre las guías del eje X. ....	75
Figura 2.12 Diagrama de Momento Flector para guías Eje X.....	75
Figura 2.13 Configuración de guías para el Eje y.....	82
Figura 2.14 Diagrama de cuerpo libre, vista lateral guías eje "y" (SIN ESCALA). ....	83
Figura 2.15 Fuerzas soportadas por la guía A del eje "Y" .....	84
Figura 2.16 Fuerzas soportadas por la guía A análisis vertical.....	85
Figura 2.17 Fuerzas soportadas por la guía A análisis horizontal.....	86
Figura 2.18 Fuerzas soportadas por la guía B del eje "Y" .....	87
Figura 2.19 Fuerzas soportadas por la guía B análisis vertical. ....	88
Figura 2.20 Fuerzas soportadas por la guía B análisis horizontal.....	89
Figura 2.21 diagrama de secuencia de acciones de una máquina CNC.....	95
Figura 2.22 Esquema de funcionamiento de una máquina CNC.....	96
Figura 2.24 Motor de paso seleccionado. Tamaño NEMA 23.....	99
Figura 2.25 Circuito de driver de control. ....	100
Figura 2.26 Arduino UNO .....	103
Figura 2.27 Pantalla principal de TxapuCNC_TX.....	107
Figura 3.1 Estructura y dimensiones finales de Chasis. ....	111
Figura 3.2 Chasis y Caja de Control.....	112
Figura 3.3 Esquema de collarines. ....	113
Figura 3.4 Collarines de TIVAR 1000 .....	114
Figura 3.5 Juego de guías elaboradas de Acero Inoxidable. ....	115
Figura 3.6 Prototipo de porta-herramientas.....	116
Figura 3.7 Cuerpo Móvil.....	116
Figura 3.8 Prototipo del Cabezal.....	116

Figura 3.10 Herramienta manual de Corte .....	118
Figura 3.11 Motor DC a utilizar para husillo.....	118
Figura 3.12 Detalle de Husillo.....	119
Figura 3.13a Cubo con rodamientos del husillo.....	119
Figura 3.13b se muestra el mecanismo del husillo completo.....	120
Figura 3.14a Mesa de Trabajo: detalle de ranuras.....	121
Figura 3.14b Mesa de Trabajo: detalle de acople de collarines y tuerca.....	121
Figura 3.15 Diagrama de fuerzas que actúan sobre cada guía.....	124
Figura 3.16 Diagrama de fuerza cortante en guías del Eje X.....	129
Figura 3.17 Diagrama de Fuerza Cortante (en N) sobre las guías del eje X.....	129
Figura 3.18 Diagrama de Momento Flector (en N·m)para guías Eje X.....	130
Figura 3.19 Configuración de guías Eje Y final.....	136
Figura 3.20 Diagrama de cuerpo libre, vista lateral guías eje "y" (SIN ESCALA).....	137
Figura 3.21 Fuerzas soportadas por la guía A del eje "Y" .....	138
Figura 3.22 Fuerzas soportadas por la guía A análisis vertical.....	139
Figura 3.23 Fuerzas soportadas por la guía A análisis horizontal.....	140
Figura 3.24 Fuerzas soportadas por la guía B del eje "Y" .....	141
Figura 3.25 Fuerzas soportadas por la guía B análisis vertical.....	142
Figura 3.26 Fuerzas soportadas por la guía B análisis horizontal.....	143
Figura 3.27 Detalle de los rodamientos.....	149
Figura 3.28 Montaje Eje X para prueba mecánica.....	151
Figura 3.29 Montaje de Cuerpo Móvil para prueba mecánica.....	151
Figura 3.30 Ensamble completo.....	153
Figura 3.31 Motor de paso unipolar SANYO.....	154
Figura 3.32a Tarjeta de control perforada.....	155
Figura 3.32b Tarjeta de control circuito impreso.....	155
Figura 3.33 Circuito de pruebas individuales.....	157

Figura 3.34 Circuito de pruebas de conjunto. ....	158
Figura 3.35 Detalle de acople flexible. ....	159
Figura 3.36 Circuito eléctrico completo. ....	161
Figura 3.37 Prueba de maquinado de aluminio. ....	163
Figura 3.38 Prueba de maquinado de cobre 1. ....	164
Figura 3.39a Prueba de maquinado de cobre, inicio. ....	164
Figura 3.39 Prueba de maquinado de cobre, final. ....	165
Figura 3.40 Prueba en Nylon. ....	166
Figura 3.41 Prueba 1 en madera. ....	166
Figura 3.42 Prueba 2 en madera. ....	167
Figura 4.2 Componentes principales de la fresadora. ....	173
Figura 4.2 Detalle de acople flexible. ....	174

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Aplicaciones de los microcontroladores. ....	38
Tabla 1.2. Distribución de piezas de un motor de corriente directa. ....	44
Tabla 1.3. Secuencia para controlar motores paso a paso bipolares. ....	54
Tabla 1.5. Ssecuencia tipo wave drive para motores paso a paso unipolares. ....	56
Tabla 1.6. Secuencia tipo medio paso para motores paso a paso unipolares. ....	57
Tabla 2.1. Resultados del ensayo. ....	63
Tabla 2.1 esfuerzos determinados para Eje X. ....	73
Tabla 2.2 esfuerzos determinados para Eje Y. ....	80
Tabla 2.3 esfuerzos determinados para Eje Z. ....	93
Tabla 2.4 Contenido de las capas. ....	97
Tabla 2.5 Tabla de verdad compuerta 7404. ....	101
Tabla 2.6 Comandos G reconocidos por Txapuzas CNC. ....	109
Tabla 3.1 Cuadro de propiedades mecánicas del TIVAR 1000. ....	114

Tabla 3.2 Resultados del diseño Sección 2.1.5.....	122
Tabla 3.3 Esfuerzos determinados para Eje X (re-diseño) .....	128
Tabla 3.4 Esfuerzos determinados para Eje Y (re-diseño) .....	134
Tabla 3.5 Comparación de Resultados del diseño .....	148
Tabla 4.1. Presupuesto general del proyecto.....	170
Tabla 4.2. Componentes de fresadora CNC. ....	173
Tabla 4.3 Rutina de mantenimiento sugerida .....	178

## I. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo, se exponen las bases teóricas y conceptuales del proyecto de diseño y construcción de una fresadora controlada por control numérico computarizado.

El Primer Capítulo, se ha dividido conceptualmente en tres secciones de igual importancia; la primera de ellas corresponde a las bases para el diseño mecánico, en esta se enmarca todo lo relacionado a las características, estructura básica, componentes y funciones de una máquina fresadora así como un breve repaso de la evolución de las mismas a través del tiempo y cómo han llegado a posicionarse como las máquinas más polivalentes de la industria de hoy en día; luego, se presenta una sección en la cual se desarrollan temas de carácter electrónico; es aquí donde se exponen las definiciones sobre microcontroladores, lenguajes de programación y otros relacionados con la electrónica del proyecto y finalmente, se presenta otra parte muy importante, esta es, la referente a los motores. Dentro de esta sección, se exponen las características básicas, modo de funcionamiento y estructura de los motores de corriente continua haciendo énfasis en los motores de paso a paso; además, se presenta una clasificación sobre estos motores y su modo de control.

Todo esto, se ha elaborado con el objeto de presentar la información necesaria que servirá de respaldo al momento de llevar a cabo la selección de los componentes eléctricos y electrónicos para la ejecución del trabajo y la mecánica del mismo.

En el Segundo Capítulo, se exponen los detalles de diseño mecánico y selección de componentes electrónicos; en el diseño mecánico se detallan los parámetros tomados en cuenta para la realización del mismo, mostrando los cálculos y consideraciones tomadas en cuenta para cada uno de los pasos del diseño; también, en este capítulo se presenta el modelo de capas utilizado para la realización del control de la máquina y se

detallan los pormenores de la selección de componentes electrónicos a utilizar en la parte del control de la misma.

En el Tercer Capítulo, se exponen los detalles de la fabricación de la maquina; en esta sección se presenta de manera detallada el procedimiento llevado a cabo para la fabricación de cada uno de los componentes tanto mecánicos como de la parte de control electrónica; además, se describe el proceso de pruebas ejecutado para la verificación del correcto funcionamiento de la misma y la coherencia entre software y hardware.

Finalmente, en el Cuarto Capítulo, se presentan las guías de mantenimiento y utilización de la maquina, estas se han incluido con objeto de que el lector pueda ser capaz de entender de una manera más clara el funcionamiento de este tipo de maquinas herramientas; también en este capítulo se incluye un presupuesto detallado que muestra los costos reales de diseño y fabricación del proyecto.

## **II. OBJETIVOS**

### **I. OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y Construir una máquina fresadora para uso didáctico haciendo uso de Control Numérico por Computadora.

### **I. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los procesos de maquinado de distintos tipos de materiales y correspondientes herramientas de corte.
- Hacer uso de hardware libre que controlará la máquina fresadora, lo cual dará las pautas para lograr el bajo costo en la implementación.
- Diseñar los elementos mecánicos y el sistema de control adecuados para el desempeño óptimo de la máquina.
- Llevar a cabo la construcción de la máquina con materiales y componentes que se puedan obtener en el mercado local, esto con el propósito de facilitar su reproducción y mantenimiento.
- Elaborar guías de laboratorio con las cuales se puedan poner en práctica las operaciones principales de la máquina.



### **III. ALCANCES**

- La máquina estará destinada para trabajar con materiales blandos como madera y plásticos, no obstante será la base para diseñar y construir máquinas con mejores prestaciones.
- La operación de maquinado tridimensional se limitara a 2.5D, que implica que se trabajara con trayectorias en el plano XY con la posición en el eje Z constante, modificable únicamente después de haber sido trazada la trayectoria.
- El control de la máquina CNC se hará por medio de software y hardware libres disponibles bajo licencia GNU.

## IV. GLOSARIO DE SIGLAS

<b>ANSI</b>	AMERICAN NATIONAL STANDAR INSTITUTE
<b>CNC</b>	CONTROL NUMERICO COMPUTARIZADO
<b>GNU</b>	es un acrónimo recursivo que significa "GNU No es Unix".
<b>ISO</b>	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION

# CAPÍTULO I

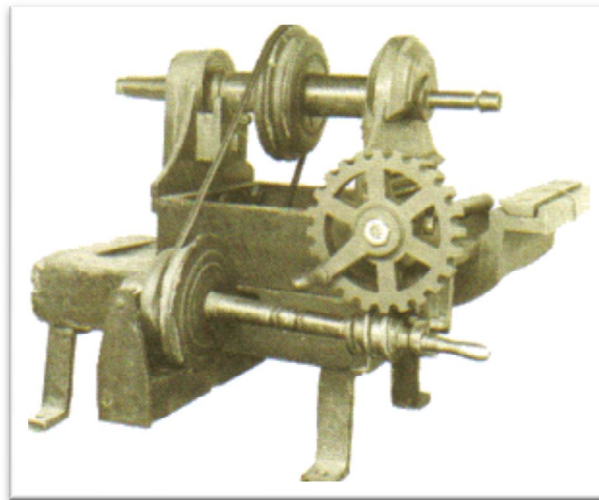
## MARCO TEÓRICO

---

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 ANTECEDENTES.

La primera máquina de fresar (Figura 1.1) se construyó en 1818 y fue diseñada por el estadounidense Eli Whitney con el fin de agilizar la construcción de fusiles en el estado de Connecticut. Esta máquina se conserva en el Museo de Ingeniería Mecánica de Yale. En la década de 1830, la empresa Gay & Silver construyó una fresadora que incorporaba el mecanismo de regulación vertical y un soporte para el husillo portaherramientas.



*Figura 1.1 Fresadora de Whitney, construida en 1818 para fabricar gran cantidad de fusiles en serie durante la guerra de la independencia americana. Destacaba un eje sinfin que se podía embragar y desembragar sobre una corona dentada alojada en el husillo del carro. Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico).*

En 1848 el ingeniero americano Frederick. W. Howe diseñó y fabricó para la empresa Robbins & Lawrence la primera fresadora universal que incorporaba un dispositivo de copiado de perfiles. Por esas mismas fechas se dio a conocer la fresadora Lincoln, que incorporaba un carnero cilíndrico regulable en sentido vertical. A mediados del siglo XIX

se inició la construcción de fresadoras verticales. Concretamente, en el museo Conservatoire National des Arts et Métiers de París, se conserva una fresadora vertical construida en 1857, Figura 1.2.

La primera fresadora universal equipada con plato divisor que permitía la fabricación de engranajes rectos y helicoidales fue fabricada por Brown & Sharpe en 1853, por iniciativa y a instancias de Frederick W. Howe, y fue presentada en la Exposición Universal de París de 1867. En 1884 la empresa americana Cincinnati construyó una fresadora universal que incorporaba un carnero cilíndrico posicionado axialmente.



*Figura 1.2. Fresadora vertical construida en 1857 por "Sharp, Stewart y Co"  
Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)*

En 1874, el constructor francés de máquinas-herramienta Pierre Philippe Huré diseñó una máquina de doble husillo, vertical y horizontal que se posicionaban mediante giro manual.

En 1894 el francés R. Huré diseñó un cabezal universal con el que se pueden realizar diferentes mecanizados con variadas posiciones de la herramienta. Este tipo de cabezal, con ligeras modificaciones, es uno de los accesorios más utilizados actualmente en las fresadoras universales. En 1938 surge la compañía Bridgeport Machines, Inc. en Bridgeport, Connecticut, la cual en las décadas posteriores se hace famosa por sus fresadoras verticales de tamaño pequeño y mediano.

Debido a la variedad de mecanizados que se pueden realizar en las fresadoras actuales, al amplio número de máquinas diferentes entre sí, tanto en su potencia como en sus características técnicas, a la diversidad de accesorios utilizados y a la necesidad de cumplir especificaciones de calidad rigurosas, la utilización de fresadoras requiere de personal cualificado profesionalmente, ya sea programador, preparador o fresador.

### **1.1.1 Introducción al Control Numérico por Computadora.**

El primer desarrollo en el área del control numérico por computadora (CNC) lo realizó el inventor norteamericano John T. Parsons (Detroit 1913-2007) junto con su empleado Frank L. Stulen, en la década de 1940. El concepto de control numérico implicaba el uso de datos en un sistema de referencia para definir las superficies de contorno de las hélices de un helicóptero. La aplicación del control numérico abarca gran variedad de procesos. Se dividen las aplicaciones en dos categorías: las aplicaciones con máquina herramienta, tales como taladrado, fresado, laminado o torneado; y las aplicaciones sin máquina herramienta, tales como el ensamblaje, trazado, oxicorte, o metrología. El principio de operación común de todas las aplicaciones del control numérico es el control de la posición relativa de una herramienta o elemento de procesado con respecto al objeto a procesar. Al principio los desplazamientos eran de punto a punto, y se utilizaban básicamente en taladradoras. La invención de las funciones de interpolación lineal y circular y el cambio automático de herramientas hizo posible la

construcción de una generación de máquinas herramientas con las que se taladra, rosca, fresa e incluso se tornea y que han pasado a denominarse centros de mecanizado en lugar de fresadoras propiamente dichas (Figura 1.3).[]



*Figura 1.3. Fresadora de control numérico por computadora (CNC).  
Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)*

### **1.1.2 Control Numérico por Computadora en Fresadoras**

Las fresadoras con control numérico por computadora (CNC) permiten la automatización programable de la producción. Se diseñaron para adaptar las variaciones en la configuración de productos. Su principal aplicación se centra en volúmenes de producción medios de piezas sencillas y en volúmenes de producción medios y bajos de piezas complejas, permitiendo realizar mecanizados de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otra mediante la inserción del programa correspondiente y de las nuevas herramientas que se tengan que utilizar así como el sistema de sujeción de las piezas.

El equipo de control numérico se controla mediante un programa que utiliza números, letras y otros símbolos, por ejemplo, los llamados códigos G (movimientos y ciclos fijos) y M (funciones auxiliares), denominados así por el hecho de que el programa está constituido por instrucciones Generales y Misceláneas. Estos números, letras y símbolos, los cuales llegan a incluir &, %, \$ y " (comillas), están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para desarrollar una tarea concreta. Cuando la tarea en cuestión varía se cambia el programa de instrucciones. En las grandes producciones en serie, el control numérico resulta útil para la robotización de la alimentación y retirada de las piezas mecanizadas.

Las fresadoras universales modernas cuentan con visualizadores electrónicos donde se muestran las posiciones de las herramientas, según un sistema de coordenadas, y así se facilita mejor la lectura de cotas en sus desplazamientos. Asimismo, a muchas fresadoras se les incorpora un sistema de control numérico por computadora (CNC) que permite automatizar su trabajo. Además, las fresadoras copiadoras incorporan un mecanismo de copiado para diferentes perfiles de mecanizado.

Existen varios lenguajes de programación CNC para fresadoras, todos ellos de programación numérica, entre los que destacan el lenguaje normalizado internacional ISO y los lenguajes HEIDENHAIN, Fagor y Siemens. Para desarrollar un programa de CNC habitualmente se utilizan simuladores que, mediante la utilización de una computadora, permiten comprobar la secuencia de operaciones programadas.

La aplicación de sistemas de control numérico por computadora en las máquinas-herramienta permite aumentar la productividad respecto a las máquinas convencionales y ha hecho posible efectuar operaciones de conformado que son imposibles de realizar con un elevado grado de precisión dimensional en máquinas convencionales, por ejemplo la realización de superficies esféricas. El uso del control numérico incide favorablemente en los costos de producción al propiciar la reducción



del número de tipos de máquinas utilizadas en un taller de mecanizado, manteniendo o mejorando su calidad.

Los procesos que utilizan máquinas-herramienta de control numérico tienen un coste horario superior a los procesos que utilizan máquinas convencionales, pero inferior a los procesos que utilizan máquinas especiales con mecanismos de transferencia (transfert) que permiten la alimentación y retirada de piezas de forma automatizada. En el mismo sentido, los tiempos de preparación para un lote son mayores en una máquina de control numérico que en una máquina convencional, pues se necesita preparar la programación de control numérico de las operaciones del proceso. Sin embargo, los tiempos de operación son menores en una máquina de control numérico que en una máquina convencional, por lo cual, a partir de cierto número de piezas en un lote, el mecanizado es más económico utilizando el control numérico. Sin embargo, para lotes grandes, el proceso es más económico utilizando máquinas especializadas con mecanismos de transferencia.

## **1.2 FRESADORA, DEFINICIÓN Y ESTRUCTURA BÁSICA.**

Una fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. Mediante el fresado es posible mecanizar los más diversos materiales como madera, acero, fundición de hierro, metales no férricos y materiales sintéticos, superficies planas o curvas, de entalladura, de ranuras, de dentado, etc. Además, las piezas fresadas pueden ser desbastadas o afinadas. En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando las zonas a mecanizar a la herramienta, permitiendo obtener formas diversas, desde superficies planas a otras más complejas.

## 1.2.2 Estructura de una Fresadora.

Los componentes principales de una fresadora, según la Figura 1.4, son la base, el cuerpo, la consola, el carro, la mesa, el puente y el eje de la herramienta. La base permite un apoyo correcto de la fresadora en el suelo. El cuerpo o bastidor tiene forma de columna y se apoya sobre la base o ambas forman parte de la misma pieza. Habitualmente, la base y la columna son de fundición aleada y estabilizada. La columna tiene en la parte frontal unas guías templadas y rectificadas para el movimiento de la consola y unos mandos para el accionamiento y control de la máquina.

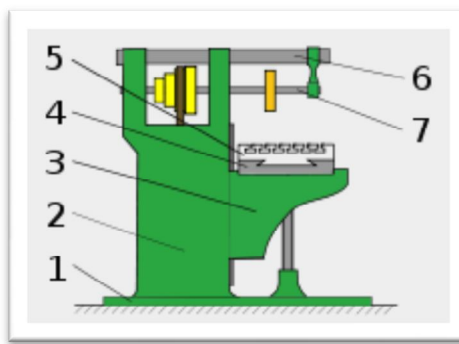


Figura 1.4. Diagrama de una fresadora horizontal.

1: base. 2: columna. 3: consola. 4: carro transversal. 5: mesa. 6: puente. 7: eje portaherramientas.

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

La consola se desliza verticalmente sobre las guías del cuerpo y sirve de sujeción para la mesa. La mesa tiene una superficie ranurada sobre la que se sujeta la pieza a conformar. La mesa se apoya sobre dos carros que permiten el movimiento longitudinal y transversal de la mesa sobre la consola.

El puente es una pieza apoyada en voladizo sobre el bastidor y en él se alojan unas lunetas donde se apoya el eje portaherramientas. En la parte superior del puente suele haber montado uno o varios tornillos de cáncamo para facilitar el transporte de la máquina. El portaherramientas o portafresas es el apoyo de la herramienta y le

transmite el movimiento de rotación del mecanismo de accionamiento alojado en el interior del bastidor. Este eje suele ser de acero aleado al cromo-vanadio para herramientas.

### **1.2.3 Tipos de Fresadora.**

Las fresadoras pueden clasificarse según varios aspectos, como la orientación del eje de giro o el número de ejes de operación. A continuación se indican las clasificaciones más usuales.

#### ***A. Fresadoras según la orientación de la herramienta.***

Dependiendo de la orientación del eje de giro de la herramienta de corte, se distinguen tres tipos de fresadoras: horizontales, verticales y universales.

##### **✓ *Fresadora Horizontal***

Una fresadora horizontal, Figura 1.5, utiliza fresas cilíndricas que se montan sobre un eje horizontal accionado por el cabezal de la máquina y apoyado por un extremo sobre dicho cabezal y por el otro sobre un rodamiento situado en el puente deslizante llamado carnero. Esta máquina permite realizar principalmente trabajos de ranurado, con diferentes perfiles o formas de las ranuras.

Cuando las operaciones a realizar lo permiten, principalmente al realizar varias ranuras paralelas, puede aumentarse la productividad montando en el eje portaherramientas varias fresas conjuntamente formando un tren de fresado.



Figura 1.5. Fresadora CNC horizontal.  
Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

### ✓ **Fresadora Vertical**

En una fresadora vertical, Figura 1.6, el eje del husillo está orientado verticalmente, perpendicular a la mesa de trabajo. Las fresas de corte se montan en el husillo y giran sobre su eje.

En general, puede desplazarse verticalmente, bien el husillo, o bien la mesa, lo que permite profundizar el corte. Hay dos tipos de fresadoras verticales: las fresadoras de banco fijo o de bancada y las fresadoras de torreta o de consola. En una fresadora de torreta, el husillo permanece estacionario durante las operaciones de corte y la mesa se mueve tanto horizontalmente como verticalmente. En las fresadoras de banco fijo, sin embargo, la mesa se mueve sólo perpendicularmente al husillo, mientras que el husillo en sí se mueve paralelamente a su propio eje.



Figura 1.6. Fresadora CNC vertical.  
Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

### ✓ **Fresadora Universal**

Una fresadora universal, Figura 1.7, tiene un husillo principal para el acoplamiento de ejes portaherramientas horizontales y un cabezal que se acopla a dicho husillo y que convierte la máquina en una fresadora vertical. Su ámbito de aplicación está limitado principalmente por el costo y por el tamaño de las piezas que se pueden trabajar. En las fresadoras universales, al igual que en las horizontales, el puente es deslizante, conocido en el argot como carnero, puede desplazarse de delante a detrás y viceversa sobre unas guías.



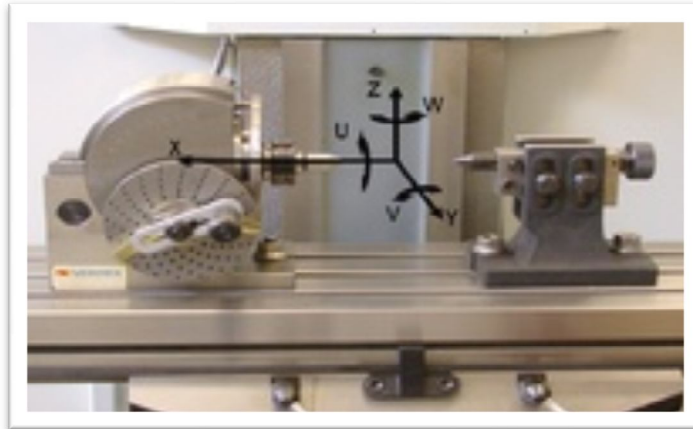
Figura 1.7. Fresadora CNC universal.  
Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

### ***B. Fresadoras según el número de ejes***

Las fresadoras pueden clasificarse en función del número de grados de libertad que pueden variarse durante la operación de arranque de viruta, Figura 1.8.

- ***Fresadora de tres ejes.*** Puede controlarse el movimiento relativo entre pieza y herramienta en los tres ejes de un sistema cartesiano.
- ***Fresadora de cuatro ejes.*** Además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar el giro de la pieza sobre un eje,

como con un mecanismo divisor o un plato giratorio. Se utilizan para generar superficies con un patrón cilíndrico, como engranajes o ejes estriados.



*Figura 1.8. Posibles ejes en una fresadora.*

*Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)*

- **Fresadora de cinco ejes.** Además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar o bien el giro de la pieza sobre dos ejes, uno perpendicular al eje de la herramienta y otro paralelo a ella (como con un mecanismo divisor y un plato giratorio en una fresadora vertical); o bien el giro de la pieza sobre un eje horizontal y la inclinación de la herramienta alrededor de un eje perpendicular al anterior. Se utilizan para generar formas complejas, como el rodete de una turbina Francis.

#### **1.2.4 Fresadoras Especiales.**

Además de las fresadoras tradicionales, existen otras fresadoras con características especiales que pueden clasificarse en determinados grupos. Sin embargo, las formas constructivas de estas máquinas varían sustancialmente de unas a otras dentro de cada grupo, debido a las necesidades de cada proceso de fabricación.

Las fresadoras circulares, Figura 1.9, tienen una amplia mesa circular giratoria, por encima de la cual se desplaza el carro portaherramientas, que puede tener uno o varios cabezales verticales, por ejemplo, uno para operaciones de desbaste y otro para operaciones de acabado. Además pueden montarse y desmontarse piezas en una parte de la mesa mientras se mecanizan piezas en el otro lado.



*Figura 1.9. Fresadora circular.*

*Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)*

Las fresadoras copiadoras, Figura 1.10, disponen de dos mesas: una de trabajo sobre la que se sujeta la pieza a mecanizar y otra auxiliar sobre la que se coloca un modelo. El eje vertical de la herramienta está suspendido de un mecanismo con forma de pantógrafo que está conectado también a un palpador sobre la mesa auxiliar. Al seguir con el palpador el contorno del modelo, se define el movimiento de la herramienta que mecaniza la pieza. Otras fresadoras copiadoras utilizan, en lugar de un sistema mecánico de seguimiento, sistemas hidráulicos, electro-hidráulicos o electrónicos.





Figura 1.10. Fresadora copiadora.

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

En las fresadoras de pórtico, Figura 1.11, también conocidas como fresadoras de puente, el cabezal portaherramientas vertical se halla sobre una estructura con dos columnas situadas en lados opuestos de la mesa.

La herramienta puede moverse verticalmente y transversalmente y la pieza puede moverse longitudinalmente. Algunas de estas fresadoras disponen también a cada lado de la mesa sendos cabezales horizontales que pueden desplazarse verticalmente en sus respectivas columnas, además de poder prolongar sus ejes de trabajo horizontalmente. Se utilizan para mecanizar piezas de grandes dimensiones.



Figura 1.11. Fresadora de pórtico.

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

En las fresadoras de puente móvil, Figura 1.12, en lugar de moverse la mesa, se mueve la herramienta en una estructura similar a un puente grúa. Se utilizan principalmente para mecanizar piezas de grandes dimensiones.



Figura 1.12. Fresadora de puente móvil.

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

Una fresadora para madera, Figura 1.13, es una máquina portátil que utiliza una herramienta rotativa para realizar fresados en superficies planas de madera. Son empleadas en bricolaje y ebanistería para realizar ranurados, como juntas de cola de milano o machihembrados; cajeados, como los necesarios para alojar cerraduras o bisagras en las puertas; y perfiles, como molduras. Las herramientas de corte que utilizan son fresas para madera, con dientes mayores y más espaciados que los que tienen las fresas para metal.



*Figura 1.13. Fresadora CNC para madera.*  
*Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)*

### 1.2.5 Operaciones De Fresado.

Las tres operaciones básicas de fresado se muestran en la Figura 1.14.

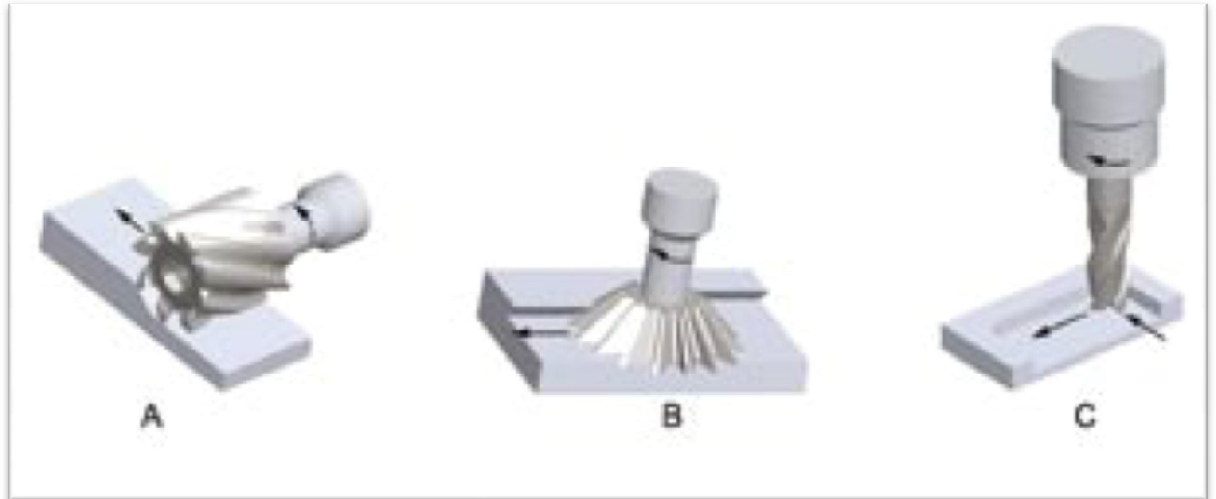


Figura 1.14. (A) fresado cilíndrico, (B) fresado frontal, (C) fresado de acabado.  
Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

#### A. Fresado cilíndrico.

El eje de rotación de las fresas es paralelo a la superficie de la pieza de trabajo a mecanizar. La fresa está rodeada de dientes a lo largo de su circunferencia, cada diente actúa como un punto de corte de la herramienta. Las fresas usadas para el fresado cilíndrico pueden tener estrías rectas o helicoidales, generando una sección de corte ortogonal u oblicua.

#### B. Fresado frontal.

La fresa se monta en el husillo de la máquina o en un portaherramientas, esta fresa tiene un eje de rotación perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo. Las fresas frontales, tienen los filos de corte localizados en la periferia de la fresa y en la parte frontal.

### C. Fresado de acabado.

las fresas generalmente rotan sobre un eje vertical a la pieza de trabajo. La fresa también puede estar inclinada respecto a la pieza de trabajo en caso que se quieran realizar superficies cónicas. Los dientes de corte están localizados en la periferia de la fresa y en la parte frontal.

#### 1.2.6 Operaciones de Fresado con CNC.

Con el uso creciente de las fresadoras de control numérico están aumentando las operaciones de fresado que se pueden realizar con este tipo de máquinas, siendo así que el fresado se ha convertido en un método polivalente de mecanizado. El desarrollo de las herramientas ha contribuido también a crear nuevas posibilidades de fresado además de incrementar de forma considerable la productividad, la calidad y exactitud de las operaciones realizadas.

En las fresadoras universales utilizando los accesorios adecuados o en las fresadoras de control numérico se puede realizar la siguiente relación de fresados:[]

- **Planeado.** La aplicación más frecuente de fresado es el planeado, que tiene por objetivo conseguir superficies planas. Para el planeado se utilizan generalmente fresas de planear de plaquitas intercambiables de metal duro (Figura 1.15), existiendo una gama muy variada de diámetros de estas fresas y del número de plaquitas que monta cada fresa. Los fabricantes de plaquitas recomiendan como primera opción el uso de plaquitas redondas o con ángulos de 45° como alternativa.

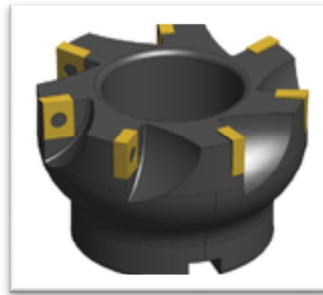


Figura 1.15. Fresa de planear de plaquitas de metal duro.  
Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

- **Fresado en escuadra.** El fresado en escuadra es una variante del planeado que consiste en dejar escalones perpendiculares en la pieza que se mecaniza. Para ello se utilizan plaquitas cuadradas o rómbicas situadas en el portaherramientas de forma adecuada.
- **Cubicaje.** La operación de cubicaje es muy común en fresadoras verticales u horizontales y consiste en preparar los tarugos de metal u otro material como mármol o granito en las dimensiones cúbicas adecuadas para operaciones posteriores. Este fresado también se realiza con fresas de planear de plaquitas intercambiables.
- **Ranurado recto.** Para el fresado de ranuras rectas se utilizan generalmente fresas cilíndricas con la anchura de la ranura y, a menudo, se montan varias fresas en el eje portafresas permitiendo aumentar la productividad de mecanizado (Figura 1.16.). Al montaje de varias fresas cilíndricas se le denomina tren de fresas o fresas compuestas. Las fresas cilíndricas se caracterizan por tener tres aristas de corte: la frontal y las dos laterales. En la mayoría de aplicaciones se utilizan fresas de acero rápido ya que las de metal duro son muy caras y por lo tanto solo se emplean en producciones muy grandes.



Figura 1.16. Fresa de disco para ranurar.

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

- **Ranurado de forma.** Se utilizan fresas de la forma adecuada a la ranura, que puede ser en forma de T, de cola de milano, etc.
- **Ranurado de chaveteros.** Se utilizan fresas cilíndricas con mango, conocidas en el argot como bailarinas, con las que se puede avanzar el corte tanto en dirección perpendicular a su eje como paralela a este.
- **Copiado.** Para el fresado en copiado se utilizan fresas con plaquitas de perfil redondo a fin de poder realizar operaciones de mecanizado en orografías y perfiles de caras cambiantes. Existen dos tipos de fresas de copiar: las de perfil de media bola y las de canto redondo o tóricas.
- **Fresado de cavidades.** En este tipo de operaciones es recomendable realizar un taladro previo y a partir del mismo y con fresas adecuadas abordar el mecanizado de la cavidad teniendo en cuenta que los radios de la cavidad deben ser al menos un 15% superior al radio de la fresa.
- **Torno-fresado.** Este tipo de mecanizado utiliza la interpolación circular en fresadoras de control numérico y sirve tanto para el torneado de agujeros de precisión como para el torneado exterior. El proceso combina la rotación de la

pieza y de la herramienta de fresar siendo posible conseguir una superficie de revolución. Esta superficie puede ser concéntrica respecto a la línea central de rotación de la pieza. Si se desplaza la fresa hacia arriba o hacia abajo coordinadamente con el giro de la pieza pueden obtenerse geometrías excéntricas, como el de una leva, o incluso el de un árbol de levas o un cigüeñal. Con el desplazamiento axial es posible alcanzar la longitud requerida.

- **Fresado de roscas.** El fresado de roscas requiere una fresadora capaz de realizar interpolación helicoidal simultánea en dos grados de libertad: la rotación de la pieza respecto al eje de la hélice de la rosca y la traslación de la pieza en la dirección de dicho eje. El perfil de los filos de corte de la fresa deben ser adecuados al tipo de rosca que se mecanice.
- **Fresado de engranajes.** El fresado de engranajes apenas se realiza ya en fresadoras universales mediante el plato divisor, sino que se hacen en máquinas especiales llamadas talladoras de engranajes y con el uso de fresas especiales del módulo de diente adecuado.
- **Taladrado, escariado y mandrinado.** Estas operaciones se realizan habitualmente en las fresadoras de control numérico dotadas de un almacén de herramientas y utilizando las herramientas adecuadas para cada caso.
- **Mortajado.** Consiste en mecanizar chaveteros en los agujeros, para lo cual se utilizan brochadoras o bien un accesorio especial que se acopla al cabezal de las fresadoras universales y transforma el movimiento de rotación en un movimiento vertical alternativo.
- **Fresado en rampa.** Es un tipo de fresado habitual en el mecanizado de moldes que se realiza con fresadoras copadoras o con fresadoras de control numérico.



### **1.2.7 Parámetros de Corte del Fresado.**

Los parámetros tecnológicos fundamentales que hay que considerar en el proceso de fresado son los siguientes:

- Elección del tipo de máquina, accesorios y sistemas de fijación de pieza y herramienta más adecuados.
- Elección del tipo de fresado: frontal, tangencial en concordancia o tangencial en oposición.
- Elección de los parámetros de corte: velocidad de corte ( $V_c$ ), velocidad de giro de la herramienta ( $n$ ), velocidad de avance ( $V_a$ ), profundidad de pasada ( $p$ ), anchura de corte ( $A_c$ ), etc.)

Al utilizar herramientas cuyos filos de corte permiten avanzar el corte en dirección axial y en dirección radial, como en las fresas de planear o las bailarinas, en la mayoría de los casos es recomendable que, cuando la fresa está cortando, se realicen prioritariamente los movimientos de avance en la dirección radial. Esto es debido a que la geometría de los filos de corte, en la mayoría de los casos, está diseñada para que se desgasten más lentamente al avanzar el corte en dirección radial. Teniendo esto en cuenta, los movimientos de profundización con estas herramientas se realizan preferentemente en vacío, se limitan a una perforación inicial o dicha perforación se realiza con otras herramientas, por ejemplo brocas o coronas trepanadoras. No obstante, cuando se utilizan plaquitas redondas en fresas de perfilar es indiferente la dirección de avance.

### **1.2.8 Tipos de Herramientas.**

Las herramientas de corte más utilizadas en una fresadora se denominan fresas, aunque también pueden utilizarse otras herramientas para realizar operaciones diferentes al fresado, como brocas para taladrar o escariadores. Las fresas son

herramientas de corte de forma, material y dimensiones muy variadas de acuerdo con el tipo de fresado que se quiera realizar. Una fresa está determinada por su diámetro, su forma, material constituyente, números de labios o dientes que tenga y el sistema de sujeción a la máquina (ver Figura 1.17)

NOMENCLATURA

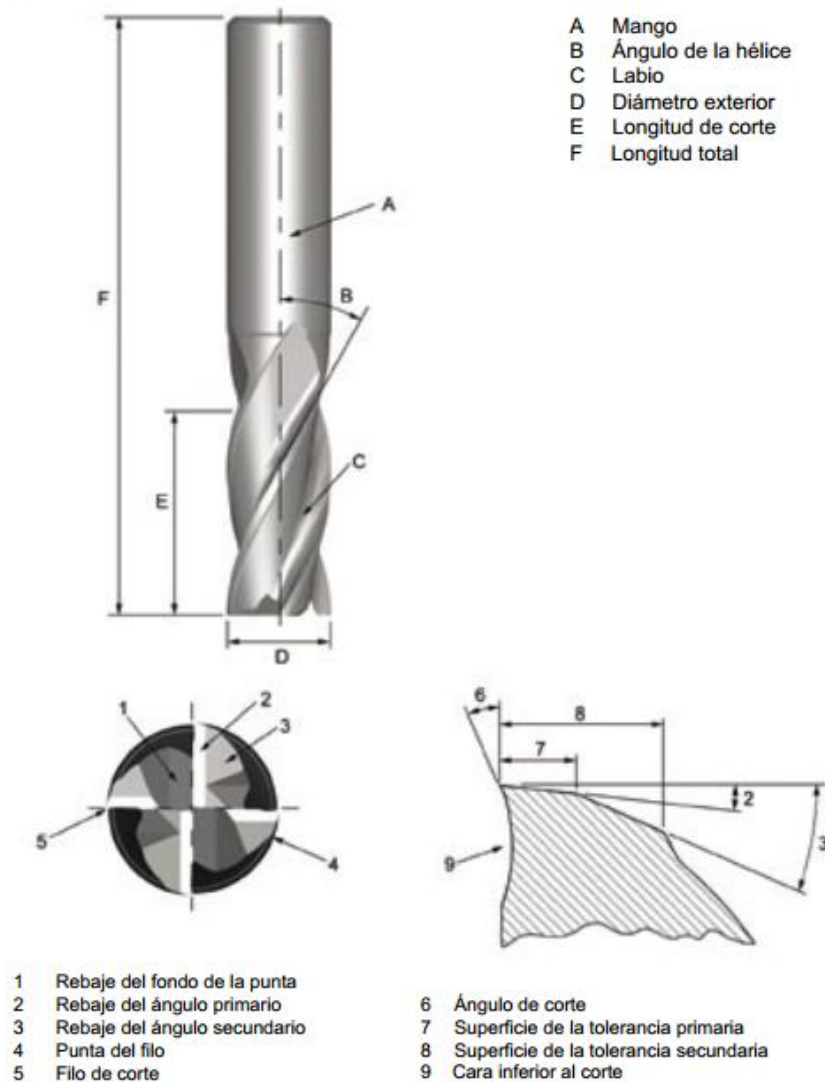






Figura 1.17 Nomenclatura de una fresa.  
 Fuente: [http://es./Fresadora\\_de\\_control\\_num%C3%A9rico](http://es./Fresadora_de_control_num%C3%A9rico)

En la Figura 1.18 se muestran los tipos de fresas más usuales para las operaciones básicas de fresado.

FRESAS CILÍNDRICAS Y FRESAS FRONTALES			
Fresas Cilíndricas	Fresas de Ranurar de 3 cortes	Fresas de Simple y Doble Ángulo	
			
Tienen los filos de corte periféricos y una sola cara de corte, estas fresas tienen una regata que las atraviesa que sirve como dispositivo de seguridad para el husillo de la máquina.	Tienen filos de corte en el costado y en la periferia. Los dientes están escalonados por eso que algunos dientes de corte dan a un lado y otros dan al otro lado. Esto permite realizar trabajos de corte duros.	La periferia de estas fresas hace un ángulo. Los filos de corte de estas fresas están situados en su periferia en forma de cono. Existen dos tipos de estas fresas; fresas con ángulo simple y fresas con ángulo doble.	





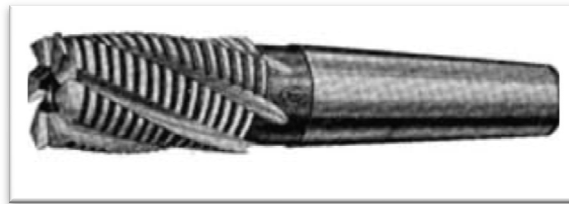
FRESAS FRONTALES DE ACABADO			
Fresas de acabado con encaste	Fresas radiales de acabado	Fresas de acabado con radio en la esquina	Minifresas
			
Este acabado deja un ángulo recto en las esquinas.	La forma del acabado de estas fresas es semiesférico.	Este acabado deja un pequeño radio en las esquinas.	Fresas de acabado con diámetros hasta 1mm.

Figura 1.18. Descripción de las fresas para cada tipo de operación de fresado.

fuelle: [http://html.rincondelvago.com/fresadoras\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/fresadoras_1.html).

### 1.2.9 Clasificación de las Fresas.

Las fresas pueden clasificarse según el mecanismo de sujeción al portaherramientas en fresas con mango cónico, fresas con mango cilíndrico y fresas para montar en árbol. Las fresas con mango cónico, Figura 1.19, a excepción de las fresas grandes, en general se montan al portaherramientas utilizando un mandril o un manguito adaptador intermedio, cuyo alojamiento tiene la misma conicidad que el mango de la fresa. Las conicidades utilizadas suelen ser las correspondientes a los conos ISO o a los conos Morse, existiendo también otros tipos menos utilizados en fresadoras como los conos Brown y Sharpe.



*Figura 1.19. Fresa con mango cónico.*  
*fuelle: [http://html.rincondelvago.com/fresadoras\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/fresadoras_1.html).*

Las fresas con mango cilíndrico, Figura 1.20, se fijan al portaherramientas utilizando mandriles con pinzas. Algunas fresas tienen un agujero en el mango y se fijan empleando mangos que se adaptan por un lado a la fresa mediante un roscado o utilizando un eje prisionero y por el otro lado disponen de un cono para montarse al husillo de la máquina.



*Figura 1.20. Fresa con mango cilíndrico*  
*fuelle: [http://html.rincondelvago.com/fresadoras\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/fresadoras_1.html).*

Las fresas para montaje sobre árbol tienen un agujero central para alojar el eje portaherramientas, cuyo diámetro está normalizado. Estas fresas disponen de un chavetero para asegurar la rotación de la herramienta y evitar que patinen. Para posicionar axialmente estas fresas en el eje, se emplean unos casquillos separadores de anchuras normalizadas. Además, en caso de necesidad pueden montarse varias fresas simultáneamente en lo que se denomina un tren de fresas.

### **1.2.10 Accesorios de una Fresadora.**

Existen varios accesorios que se instalan en las fresadoras para realizar operaciones de mecanizado diferentes o para una utilización con mayor rapidez, precisión y seguridad:

- ✓ Dispositivos de adición de ejes: cabezal multiangular (permite orientar el eje del portaherramientas), divisor universal con contrapunto y juego de engranes y mesa circular divisora.
- ✓ Dispositivos para sujeción de piezas: plato universal de 3 garras con contraplato; contrapunto y lunetas; mordaza giratoria graduada; mordaza hidráulica.
- ✓ Dispositivos para operaciones especiales: aparato de mortajar giratorio, cabezal de mandrinar.

#### ***Dispositivos de adición de ejes.***

##### **✓ *Cabezal vertical universal.***

El cabezal vertical universal Huré, Figura 1.21, es un mecanismo que aumenta las prestaciones de una fresadora universal y es de aplicación para el fresado horizontal, vertical, radial en el plano vertical, angular (inclinado) en un plano vertical perpendicular a la mesa de la fresadora y oblicuo o angular en el plano horizontal.



Figura 1.21. Cabezal universal.  
fuente: [http://html.rincondelvago.com/fresadoras\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/fresadoras_1.html).

Consta de dos partes: la primera, con el árbol portaherramientas, se une con la otra parte del cabezal según una corredera circular inclinada  $45^\circ$  respecto a la horizontal, y la segunda se une mediante una corredera circular vertical con la parte frontal de la columna de la fresadora, donde se acopla al husillo principal de la máquina. El cabezal está dispuesto para incorporarle herramientas de fresar, brocas y escariadores mediante pinzas, portabrocas y otros elementos de sujeción de herramientas. La velocidad de giro del husillo de este accesorio es la misma que la del husillo principal de la fresadora. No son adecuados para las operaciones con herramientas grandes de planear.

#### ✓ **Sujeción de piezas.**

Para conseguir una correcta fijación de las piezas en la mesa de trabajo de una fresadora se utilizan diversos dispositivos. El sistema de sujeción que se adopte debe permitir que la carga y la descarga de las piezas en la mesa de trabajo sean rápidas y precisas, garantizar la repetibilidad de las posiciones de las piezas y su amarre con una rigidez suficiente. Además, el sistema de sujeción empleado debe garantizar que la

herramienta de corte pueda realizar los recorridos durante las operaciones de corte sin colisionar con ningún utillaje. Existen dos tipos principales de dispositivos de fijación: las bridas de apriete y las mordazas, siendo estas últimas las más usuales, Figura 1.22. Las mordazas empleadas pueden ser de base fija o de base giratoria. Las mordazas de base giratoria están montadas sobre un plato circular graduado. Mordazas pueden ser de accionamiento manual o de accionamiento hidráulico. Las mordazas hidráulicas permiten automatizar la apertura y el cierre de las mismas así como la presión de apriete. Las mesas circulares, los platos giratorios y los mecanismos divisores son elementos que se colocan entre la mesa de la máquina y la pieza para lograr orientar la pieza en ángulos medibles.



Figura 1.22. Mordaza para sujeción de piezas.  
fuente: [http://html.rincondelvago.com/fresadoras\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/fresadoras_1.html).

### ✓ **Mecanismo divisor**

Un mecanismo divisor, es un accesorio de las máquinas fresadoras y de otras máquinas herramientas como taladradoras y mandrinadoras. Este dispositivo se fija sobre la mesa de la máquina y permite realizar operaciones espaciadas angularmente respecto a un eje de la pieza a mecanizar. Se utiliza para la elaboración de engranajes, prismas, escariadores, ejes ranurados, etc.

### **1.3 MICROCONTROLADOR, DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN.**

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico capaz de llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son plasmados en un lenguaje de programación por el usuario, y son introducidos en este a través de un programador.

El funcionamiento de los microcontroladores está determinado por el programa almacenado en su memoria. Este puede escribirse en distintos lenguajes de programación. Además, la mayoría de los microcontroladores actuales pueden reprogramarse repetidas veces.

Por las características mencionadas y su alta flexibilidad, los microcontroladores son ampliamente utilizados como el cerebro de una gran variedad de sistemas que controlan máquinas, componentes de sistemas complejos, como aplicaciones industriales de automatización y robótica, equipos médicos, sistemas aeroespaciales, e incluso dispositivos de la vida diaria como automóviles, hornos de microondas, teléfonos y televisores, etc.

#### **1.3.1 Estructura y Elementos de los Microcontroladores.**

A continuación se describen los elementos más comunes en todo tipo de microcontrolador.

##### ***A. El procesador.***

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.



## **B. Memoria.**

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos. Según el tipo de memoria ROM que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente.

A continuación se describen las cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado:

1. **ROM con máscara.** Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip.
2. **OTP.** El microcontrolador contiene una memoria no volátil de sólo lectura programable una sola vez por el usuario. OTP (One Time Programmable). Es el usuario quien puede escribir el programa en el chip mediante un sencillo grabador controlado por un programa desde un PC.
3. **EPROM.** Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, con un grabador gobernado desde un PC. Si posteriormente, se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos.
4. **EEPROM, E2PROM O E<sup>2</sup>PROM.** Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente EEPROM (Electrical Erasable

Programmable Read Only Memory). Tanto la programación como el borrado, se realizan eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de un PC.

5. **FLASH.** Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña. A diferencia de la ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM.

### ***C. Puertos de entrada y salida.***

Los puertos de Entrada y Salida (E/S) permiten comunicar al procesador con el mundo exterior, a través de interfaces, o con otros dispositivos, son la principal utilidad de las patas o pines de un microprocesador. Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

### ***D. Recursos especiales.***

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplía las capacidades de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el coste, el hardware y el software. Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o Timers.

- Perro guardián o Watchdog.
- Protección ante fallo de alimentación o Brownout.
- Estado de reposo o de bajo consumo (Sleep mode).
- Conversor A/D (Analógico ->Digital).
- Conversor D/A (Digital ->Analógico).
- Comparador analógico.
- Modulador de anchura de impulsos o PWM (PulseWide Modulation).
- Puertos de E/S digitales.
- Puertos de comunicación.

### 1.3.2 Clasificación de los Microcontroladores.

Existen diversos criterios para clasificar los microcontroladores. Estos son algunos:

✓ ***Según la longitud de bus de datos.***

Microcontroladores de 8bits, 16 bits, 32 bits: A mayor longitud de bus de datos, mayor será la eficiencia del microcontrolador en operaciones con datos grandes, pero al mismo tiempo la complejidad del chip y por ende su costo también aumentara.

✓ ***Según el set de instrucciones.***

**Con instrucciones CISC (Complex Instruction Set Computer):** el set de instrucciones CISC es inherente a los primeros microcontroladores que aparecieron en el mundo, los cuales estaban inspirados en los procesadores de las grandes computadoras de la época. Es complejo por que consta de muchas instrucciones complicadas y difíciles de recordar a la hora de programar en lenguaje ensamblador.

**Con instrucciones RISC (Reduce Instruction Set Computer):** Estos microcontroladores cuentan con instrucciones sencillas y en un número mínimo. Ello permite que la programación en ensamblador sea una labor cómoda y esté al alcance de todos. Sin embargo, cuando se desarrollan proyectos mucho más complejos, el uso del lenguaje ensamblador se torna cada vez más engorroso. Entonces se prefiere optar por los compiladores de alto nivel, para los cuales un set RISC no es obstáculo.

✓ *Según su arquitectura interna.*

**Microcontroladores con arquitectura Von Neumann.** Tan simple como verlo en la figura 1.24 de abajo: estos microcontroladores tienen una memoria única que constituye tanto el segmento de memoria de programa como el de datos. Con un solo bus de comunicación entre dicha memoria y el procesador no es posible realizar diversos accesos a la vez.

## ARQUITECTURA VON NEUMANN

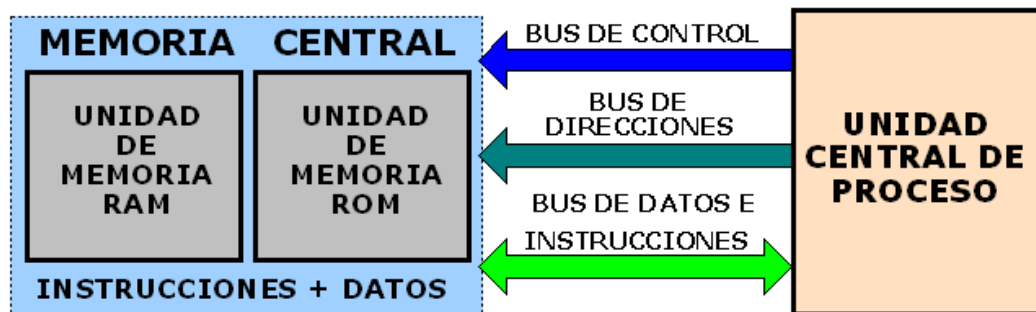


Fig. 1.24. Esquema de un microcontrolador Von Neumann.  
Tomado de <http://cursomicros.com>

**Microcontroladores con arquitectura de Harvard.** En esta estructura los microcontroladores disponen de dos memorias, una que contiene el programa y otra para almacenar los datos. De este modo el CPU puede tener acceso simultáneo a

ambas memorias utilizando buses diferentes. Más específicamente, el CPU puede leer la siguiente instrucción de programa mientras está procesando los datos de la instrucción actual. Actualmente todos los microcontroladores se inclinan por esta arquitectura. En la figura 1.25 se muestra un esquema de esta arquitectura.



Fig. 1.25. Esquema de microcontrolador Harvard.  
Tomado de <http://cursomicros.com>

✓ **Según el fabricante.**

Hay muchas marcas de microcontroladores en el mercado. De ellas solo se mencionan las más conocidas. A veces un mismo tipo de microcontrolador lo suelen proveer diversos fabricantes, por lo que ésta no es una clasificación estrictamente metódica.

En esta presentación las descripciones se hacen teniendo en cuenta solo a los microcontroladores de 8 bits. En este sentido, salvo el caso peculiar de los Basic Stamp, no se observan diferencias notables en el hardware interno de cada microcontrolador. No se puede decir lo mismo sobre la disponibilidad de herramientas de desarrollo software y hardware.

- A. Los Microcontroladores PICmicro o PIC de Microchip.** Sin lugar a dudas, son los microcontroladores que han fascinado al mundo en los últimos años. Su facilidad de uso, comodidad y rapidez en el desarrollo de aplicaciones, abundante información y libre disposición de herramientas

software proporcionada por Microchip le han permitido ganar terreno rápidamente en el mercado de los microcontroladores a nivel mundial, hasta convertirse en los microcontroladores más vendidos en la actualidad. Los buenos resultados dieron a Microchip la estrategia de proveer libremente a los usuarios de muchas herramientas software para el desarrollo de proyectos con sus productos.

**B. Los Microcontroladores AVR de ATMEL.** Uno de los productos estrella de Atmel son microcontroladores AVR. Comparado con otros microcontroladores de 8 bits, en distintos modelos por supuesto, pueden tener memoria de programa flash reprogramable, capacidad ICSP (In Circuit Serial Programming), puertos configurables como E/S pin a pin, interfaces de comunicación serial RS232 e I2C, módulos generadores de onda PWM, etc. Una de las razones por las que las personas no empieza por los AVR es su set de 130 instrucciones; una cantidad que los haría desistir. Este obstáculo inicial se invierte cuando se utiliza un compilador de alto nivel, ya que los AVR fueron diseñados para un óptimo trabajo con el lenguaje C. Por si fuera poco, desarrolladores de software libre ha elaborado el poderoso compilador AVR GCC, el cual está disponible en sus versiones para Windows y Linux.

**C. Los Módulos Basic Stamp de Parallax.** Los Basic Stamp nos son una nueva familia de microcontroladores; son módulos montados sobre otros microcontroladores. Cuentan con un microcontrolador, un circuito oscilador, el circuito de interface con el puerto serie del ordenador, una memoria externa para almacenar el programa y un regulador de tensión; todo en una pequeña tarjeta directa y fácilmente conectable a los

ordenadores. Una vez cargado el programa, el módulo está listo para ser insertado en el circuito de aplicación. Los programas se desarrollan íntegramente en un lenguaje BASIC adaptado. El programa se carga en la EEPROM serial y el microcontrolador del Basic Stamp tiene que interpretarlo.

**D. Los Microcontroladores 8051 de Intel.** Sus productos más conocidos eran los famosos 8051, 80151 y 80251, pero actualmente ya no tiene interés en fabricarlos. En su lugar, fueron otras compañías, como Atmel, Philips, Infineon, entre otros, las que fabrican algunas partes compatibles. Cabe mencionar que, salvo raras excepciones (como los PICs), el resto de los microcontroladores fueron inspirados en la arquitectura de estos procesadores de Intel. Por lo demás, no tiene caso especificar sus características porque no hay diferencias grandes respecto de los otros productos.

### 1.3.2 Aplicaciones de los Microcontroladores.

En la tabla 1.1 se muestran algunas aplicaciones de los microcontroladores, así como la longitud de bus de datos, modelo y fabricante para cada caso.

BITS	CAMPO DE APLICACIÓN	EJEMPLOS	FABRICANTES
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones sensibles al costo (juguetes, etc.)</li> <li>• Número limitado de entrada/salida</li> <li>• Entornos industriales específicos</li> <li>• Telefonía y electrodomésticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HMCS 400</li> <li>• <math>\mu</math>PD75P316A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HITACHI</li> <li>• NEC</li> <li>• NATIONAL</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones sensibles al</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MCS 51</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INTEL, SIEMENS,</li> </ul>

	costo		PHILIPS, AMD...
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Periféricos inteligentes y controladores: teclados, unidades de disco, displays....</li> <li>• Posibilidad de programación en alto nivel: Basic, C, PLM, etc.</li> </ul>	68HC 11 Z8, SuperZ8 COP800	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MOTOROLA, SGS, TOSHIBA, HIT</li> <li>• ZILOG, SGS</li> <li>• NATIONAL</li> </ul>
16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor velocidad, operaciones matemáticas</li> <li>• Manejo de grandes volúmenes de datos</li> <li>• Industria del automóvil, grandes periféricos.</li> </ul>	80186 8096 TMS 520 H8 / 300	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INTEL, AMD</li> <li>• INTEL</li> <li>• TEXAS (DSP)</li> <li>• HITACHI (8/16)</li> </ul>
32	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo de grandes cantidades de datos</li> <li>• Gran capacidad de direccionamiento de memoria</li> <li>• Impresoras láser</li> <li>• Pantallas graficas de muy alta resolución</li> </ul>	i860 i960 68300 340X0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INTEL (3-D)</li> <li>• INTEL (MILITAR)</li> <li>• MOTOROLA</li> <li>• NATIONAL (CRT)</li> </ul>

Tabla 1.1 Aplicaciones de los microcontroladores.

### 1.3.3 Lenguajes de Programación.

El microcontrolador ejecuta el programa cargado en la memoria ROM. Esto se denomina el código ejecutable y está compuesto por una serie de ceros y unos, aparentemente sin significado. Por ser un sistema digital programable, necesita de un código de programa o firmware que incluya las instrucciones necesarias para realizar el control del sistema. El lenguaje de programación de un microcontrolador, es el Lenguaje Ensamblador (.asm), lenguaje de bajo nivel, este ensamblador posee algunas diferencias entre fabricante y fabricante, no es lo mismo el lenguaje ensamblador para



INTEL que para PIC o aun AVR pero dentro del mundo de los microcontroladores podemos encontrar Compiladores de un lenguaje de alto nivel a ensamblador o mejor aún a Lenguaje Maquina (.hex).

Para los microcontroladores AVR podemos encontrar compiladores de lenguaje C, C++, Basic, cada uno de ellos brinda distintas ventajas, una de ellas es el hecho de no tener que aprender Ensamblador y trabajar en un lenguaje que el usuario domine, además cada uno cuenta con IDE (Ambiente Integrado de Desarrollo) para un mejor diseño de los programas. Dentro de estos podemos citar el AVR studio que incluye compiladores de C, C++ y Ensamblador, y el BASCOM que incluye un compilador de Basic para microcontroladores AVR. Como ventaja principal se debe citar que todos estos IDE se pueden descargar gratis o en versiones Demo desde la web de sus respectivos fabricantes. Existen algunas plataformas educativas de desarrollo basadas en micros AVR, como el ARDUINO, Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar, que básicamente es un chip AVR con un bootloader (Un gestor de arranque (en inglés «bootloader») es un programa sencillo que no tiene la totalidad de las funcionalidades de un sistema operativo, y que está diseñado exclusivamente para preparar todo lo que necesita el sistema operativo para funcionar.), lo cual hace que sea aún más sencilla la programación.

En cuanto a los microcontroladores PIC, además del lenguaje Ensamblador, podemos encontrar diferentes IDE y compiladores para C , C++ y BASIC, sin embargo cabe destacar que estas herramientas de desarrollo no son completamente gratis y tienen su costo, entre IDE más usados están: MPLAB, PICSIMULATOR, PICBASIC, y más. Así como en la familia AVR, existe una plataforma basada en un PIC, llamada PICAXE, que es un chip PIC previamente grabado con un programa bootloader que permite programarlo en lenguaje Basic y vía el puerto serial del PC.

A continuación se describe brevemente algunos lenguajes utilizados para la programación.

✓ ***Lenguaje ensamblador.***

Como el proceso de escribir un código ejecutable era considerablemente arduo, en consecuencia fue creado el primer lenguaje de programación denominado ensamblador (ASM). Siguiendo la sintaxis básica del ensamblador, era más fácil escribir y comprender el código. Las instrucciones en ensamblador consisten en las abreviaturas con significado y a cada instrucción corresponde una localidad de memoria.

Un programa denominado ensamblador compila (traduce) las instrucciones del lenguaje. Todas las instrucciones que el microcontrolador puede reconocer y ejecutar se les denominan colectivamente Conjunto de instrucciones. Ensamblador a código máquina (código binario). Este programa compila instrucción a instrucción sin optimización. Como permite controlar en detalle todos los procesos puestos en marcha dentro del chip, este lenguaje de programación todavía sigue siendo popular.

El lenguaje ensamblador tiene algunas desventajas:

- Incluso una sola operación en el programa escrito en ensamblador consiste en muchas instrucciones, haciéndolo muy largo y difícil de manejar.
- Cada tipo de microcontrolador tiene su propio conjunto de instrucciones que un programador tiene que conocer para escribir un programa
- Un programador tiene que conocer el hardware del microcontrolador para escribir un programa.

### ✓ **Lenguaje C.**

Las características de C pueden ser muy útiles al programar los microcontroladores. Además, C está estandarizado (el estándar ANSI C), es muy portable, así que el mismo código se puede utilizar muchas veces en diferentes proyectos. Lo que lo hace accesible para cualquiera que conozca este lenguaje sin reparar en el propósito de uso del microcontrolador. C es un lenguaje compilado, lo que significa que los archivos fuentes que contienen el código C se traducen a lenguaje máquina por el compilador. Todas estas características hicieron al C uno de los lenguajes de programación más populares.

El lenguaje C como otros lenguajes de programación tiene sus ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Es un lenguaje de alto nivel más cercano a la máquina.
- Construcción de rutinas matemáticas fácilmente.
- Puede ser de ayuda al combinarlo con Ensamblador sobre todo en la gama alta.
- Se pueden crear macros con este lenguaje, para después simplificar el código en diferentes desarrollos.

Desventajas:

- Los programas al compilarlos pueden resultar un poco extensos y pesados por ello debe tenerse en cuenta la capacidad de memoria de programa del microcontrolador a utilizar.
- Con este lenguaje tampoco se puede controlar del todo los tiempos y los registros bit a bit.

### **1.3.6. Interfaces de Programación.**

Con interface de programación, se hace referencia al hardware externo necesario para programar o descargar el programa escrito en el IDE a la memoria Flash del microcontrolador, por ende este hardware ò programador debe de conectarse a un puerto del PC. Es en este punto donde se encuentra una gran variedad de opciones para ambos chip, AVR o PIC.

Dentro de la familia AVR, el chip dispone de un periférico específico para la programación de su memoria, el puerto ISP, el cual es un puerto serial formado por 3 pines del microcontrolador, son estos pines los que se conectan a un programador y este a un puerto del PC, para realizar el grabado o “quemado” del chip. Existen diferentes opciones para el hardware programador como puertos del PC, es decir existen un programador por puerto paralelo, un programador USB, un programador serial, etc.

Sin embargo algo que destaca es lo simple de estos programadores, por ejemplo el Sample Electronics Programmer o el STK200 ambos para trabajar con el puerto paralelo del PC.

Los microcontroladores de la familia PIC disponen de un puerto para programación, usualmente un puerto serial, pero la diferencia con los AVR es que la programación se realiza a alto voltaje, >5Vdc, lo que hace necesario el uso de circuitos externos que realizan esta conversión de niveles y por lo tanto incrementan la complejidad del circuito programador, entre los programadores de PIC más populares se encuentran el JDM, NPPP, PIC micro, Pickit II y III.

## 1.4 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA (DC)

En la figura 1.26 se observan algunos clásicos micro motores DC (Direct Current) de los usados generalmente en robótica. Los hay de distintos tamaños, formas y potencias, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento.



Figura 1.26. Micro-motores DC utilizados en robótica.  
Fuente: <http://www.google.com.sv/search?q=micromotores+dc+robotica&tbn>.

Accionar un motor DC es muy simple y solo es necesario aplicar la tensión de alimentación entre sus bornes. Para invertir el sentido de giro basta con invertir la alimentación y el motor comenzará a girar en sentido opuesto. Los motores DC no pueden ser posicionados y/o enclavados en una posición específica. Estos simplemente giran a la máxima velocidad y en el sentido que la alimentación aplicada se los permite; si se quiere un control de posicionamiento se usa una variedad de motores DC llamados motores paso a paso.

El motor de corriente continua está compuesto de 2 piezas fundamentales:

- Rotor
- Estator

Dentro de éstas se ubican los demás componentes como:

- Escobillas y porta escobillas
- Colector
- Eje, Núcleo y devanado del rotor
- Imán Permanente
- Armazón
- Tapas o campanas

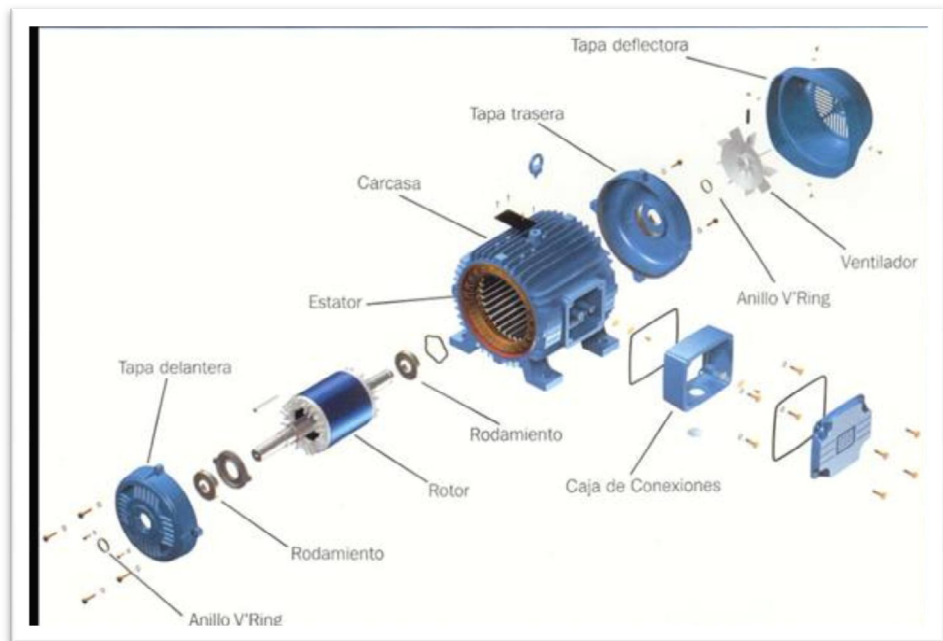


Figura 1.27. Piezas fundamentales de un motor de corriente directa.  
 Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/motores-fase-partida/motores-fase-partida.shtml>

### 1.4.1 Descripción y Distribución de las Piezas

La siguiente tabla muestra la distribución de las piezas del motor:

Rotor	Estator
Eje	Armazón
Núcleo y Devanado	Imán permanente
Colector	Escobillas y portaescobillas
	Tapas

Tabla 1.2. Distribución de piezas de un motor de corriente directa.

## **Rotor Estator**

- Eje Armazón
- Núcleo y Devanado Imán permanente
- Colector Escobillas y porta escobillas

## **Rotor**

Constituye la parte móvil del motor, proporciona el torque para mover a la carga.

Está formado por:

- **Eje:** Formado por una barra de acero fresada. Imparte la rotación al núcleo, devanado y al colector.
- **Núcleo:** Se localiza sobre el eje. Fabricado con capas laminadas de acero, su función es proporcionar un trayecto magnético entre los polos para que el flujo magnético del devanado circule.

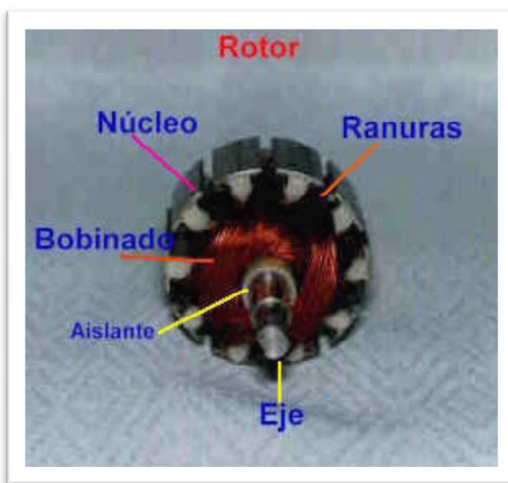


Figura 1.28. Detalle del rotor.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/motores-fase-partida/motores-fase-partida.shtml>

Las laminaciones tienen por objeto reducir las corrientes parásitas en el núcleo. El acero del núcleo debe ser capaz de mantener bajas las pérdidas por histéresis. Este

núcleo laminado contiene ranuras a lo largo de su superficie para albergar al devanado de la armadura (bobinado).

- **Devanado:** Consta de bobinas aisladas entre sí y entre el núcleo de la armadura. Estas bobinas están alojadas en las ranuras, y están conectadas eléctricamente con el colector, el cual debido a su movimiento rotatorio, proporciona un camino de conducción conmutado.
- **Colector:** Denominado también conmutador, está constituido de láminas de material conductor (delgas), separadas entre sí y del centro del eje por un material aislante, para evitar cortocircuito con dichos elementos. El colector se encuentra sobre uno de los extremos del eje del rotor, de modo que gira con éste y está en contacto con las escobillas. La función del colector es recoger la tensión producida por el devanado inducido, transmitiéndola al circuito por medio de las escobillas (llamadas también cepillos)

### ***Estató***

Constituye la parte fija de la máquina. Su función es suministrar el flujo magnético que será usado por el bobinado del rotor para realizar su movimiento giratorio.

Está formado por:

- **Armazón:** Denominado también yugo, tiene dos funciones primordiales: servir como soporte y proporcionar una trayectoria de retorno al flujo magnético del rotor y del imán permanente, para completar el circuito magnético.





Figura 1.29. Detalle del estator.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/motores-fase-partida/motores-fase-partida.shtml>

- **Imán permanente:** Compuesto de material ferromagnético altamente remanente, se encuentra fijado al armazón o carcaza del estator. Su función es proporcionar un campo magnético uniforme al devanado del rotor o armadura, de modo que interactúe con el campo formado por el bobinado, y se origine el movimiento del rotor como resultado de la interacción de estos campos. La figura 1.30 muestra el esquema del campo generado en el motor dc.

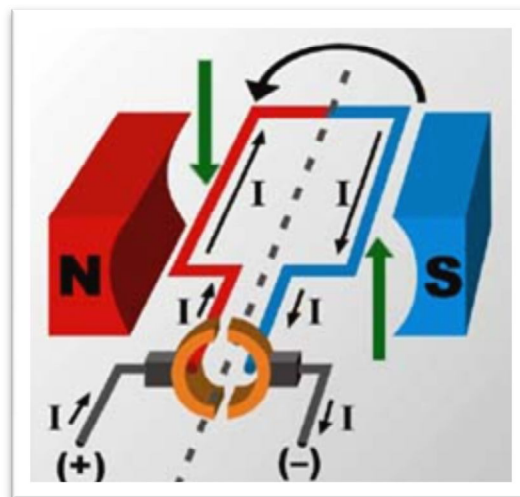


Figura 1.30. Diseño de los polos.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/motores-fase-partida/motores-fase-partida.shtml>

- **Escobillas:** Las escobillas están fabricadas se carbón, y poseen una dureza menor que la del colector, para evitar que éste se desgaste rápidamente. Se encuentran albergadas por los porta escobillas. Ambos, escobillas y porta escobillas, se encuentran en una de las tapas del estator.

La función de las escobillas es transmitir la tensión y corriente de la fuente de alimentación hacia el colector y, por consiguiente, al bobinado del rotor.

La función del porta escobillas es mantener a las escobillas en su posición de contacto firme con los segmentos del colector. Esta función la realiza por medio de resortes, los cuales hacen una presión moderada sobre las escobillas contra el colector. Esta presión debe mantenerse en un nivel intermedio pues, de ser excesiva, la fricción desgastaría tanto a las escobillas como al colector; por otro lado, de ser mínima esta presión, se produciría lo que se denomina "chisporroteo", que es cuando aparecen chispas entre las superficies del colector y las escobillas, debido a que no existe un buen contacto.

## **1.5 MOTORES PASO A PASO**

### **1.5.1 Definición de un Motor Paso a Paso.**

Un motor paso a paso, como todo motor, es en esencia un convertidor electromecánico, que transforma energía eléctrica en mecánica. Mientras que un motor convencional gira libremente al aplicarle una tensión, el motor paso a paso gira un determinado ángulo de forma incremental (transforma impulsos eléctricos en movimientos de giro controlados), lo que le permite realizar desplazamientos angulares fijos muy precisos.



*Fig. 1.31. Motor paso a paso.*

*Fuente: <http://www.ing.unp.edu.ar/asignaturas/mateinselectricas/MOTOR%20PASO%20A%20PASO.pdf>.*

Este tipo de motores son ideales cuando lo que queremos es posicionamiento con un elevado grado de exactitud y/o una muy buena regulación de la velocidad.

Sus principales aplicaciones se pueden encontrar en robótica, tecnología aeroespacial, control de discos duros, flexibles, unidades de CDROM o de DVD e impresoras, en sistemas informáticos, manipulación y posicionamiento de herramientas y piezas en general.

Están constituidos esencialmente por dos partes:

- Estator: parte fija construida a base de cavidades en las que van depositadas las bobinas.
- Rotor: parte móvil construida mediante un imán permanente.

Este conjunto va montado sobre un eje soportado por dos cojinetes que le permiten girar libremente.



*Fig. 1.32. Izquierda rotor de un motor paso a paso, derecha estator de 4 bobinas.  
Fuente: <http://www.ing.unp.edu.ar/asignaturas/mageinstelectricas/MOTOR%20PASO%20A%20PASO.pdf>*

### **1.5.3 Principio de Funcionamiento.**

Aun basado en el mismo fenómeno que los motores de corriente continua, el principio de funcionamiento de los motores paso a paso es más sencillo que cualquier otro tipo de motor eléctrico. Los motores eléctricos, en general, basan su funcionamiento en las fuerzas ejercidas por un campo electromagnético y creadas al hacer circular una corriente eléctrica a través de una o varias bobinas. Si dicha bobina, generalmente circular y denominada estator, se mantiene en una posición mecánica fija y en su interior, bajo la influencia del campo electromagnético, se coloca otra bobina, llamada rotor, recorrida por una corriente y capaz de girar sobre su eje.

Al excitar el estator, se crearan los polos N-S, provocando la variación del campo magnético formado. La respuesta del rotor será seguir el movimiento de dicho campo (tenderá a buscar la posición de equilibrio magnético), es decir, orientará sus polos NORTE-SUR hacia los polos SUR-NORTE del estator, respectivamente. Cuando el rotor alcanza esta posición de equilibrio, el estator cambia la orientación de sus polos y se tratará de buscar la nueva posición de equilibrio. Manteniendo dicha situación de manera continuada, se conseguirá un movimiento giratorio y continuo del rotor, produciéndose de este modo el giro del eje del motor, y a la vez la transformación de una energía eléctrica en otra mecánica en forma de movimiento circular.

Al número de grados que gira el rotor, cuando se efectúa un cambio de polaridad en las bobinas del estator, se le denomina "ángulo de paso".

Existe la posibilidad de conseguir una rotación de medio paso con el control electrónico apropiado, aunque el giro se hará con menor precisión. Los motores son fabricados para trabajar en un rango de frecuencias determinado por el fabricante, y rebasado dicho rango, provocaremos la pérdida de sincronización.

Los motores paso a paso, se controlan por el cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas que lo forman:

- controlar el desplazamiento del rotor en función de las tensiones que se aplican a las bobinas, con lo que podemos conseguir desplazamientos adelante y atrás.
- controlar el número de pasos por vuelta.
- controlar la velocidad del motor.

Además estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición (si una o más de sus bobinas está energizada) o bien totalmente libres (si no circula corriente por ninguna de sus bobinas).

Según la construcción de las bobinas del estator, dos tipos de motores paso a paso:

- Unipolares: se llaman así porque la corriente que circula por los diferentes bobinados siempre circula en el mismo sentido. Tienen las bobinas con un arrollamiento único
- Bipolares: la corriente que circula por los bobinados cambia de sentido en función de la tensión que se aplica. por lo que un mismo bobinado puede tener en uno de sus extremos distinta polaridad (bipolar). Tienen las bobinas compuestas por dos arrollamientos cada una.

Algunos motores tienen los bobinados de tal manera que en función de puentes pueden convertirse en unipolares o bipolares. Lo más importante de un motor es saber el tipo de motor que es, la potencia, el número de pasos, el par de fuerza, la tensión de alimentación y poco más si son motores sencillos.

#### **1.5.4 Tipos de Motores Paso a Paso.**

En los motores paso a paso, podemos distinguir 3 tipos desde el punto de vista de su construcción: los de reluctancia variable, los de imán permanente, y los híbridos. En los de reluctancia variable, su rotor está fabricado por un cilindro de hierro dentado y el estator está formado por bobinas. Este tipo de motor trabaja a mayor velocidad que los de imán permanente.

En los motores tipo imán permanente, su rotor es un imán que posee una ranura en toda su longitud y el estator está formado por una serie de bobinas enrolladas alrededor de un núcleo o polo. Nosotros nos centraremos en este tipo de motores puesto que son los más utilizados y más sencillos de utilizar.

Por último, los híbridos, serían una combinación de los anteriores, logrando un alto rendimiento a una buena velocidad. Una vez vistos los distintos tipos de motores paso a paso desde el punto de vista físico, los clasificaremos en función de la forma de conexión y excitación de las bobinas del estator. Existen 2 tipos: unipolares y bipolares.

##### ***Motores paso a paso unipolares***

Los motores paso a paso unipolares se componen de 4 bobinas.

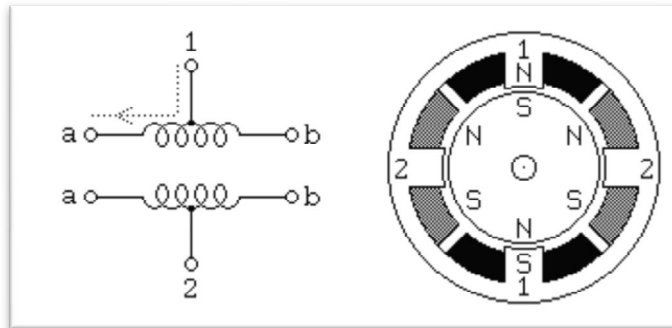


Fig. 1.33. Imagen de motor paso a paso unipolar, mostrando sus cuatro bobinas que lo componen.

Fuente: <http://www.ing.unp.edu.ar/asignaturas/maqeinstelectricas/MOTOR%20PASO%20A%20PASO.pdf>

Se denominan así debido a que la corriente que circula por sus bobinas lo hace en un mismo sentido, a diferencia de los bipolares. Se componen de 6 cables externos, dos para cada bobina, y otro para cada par de éstas, aunque también se pueden ver con 5 cables, compartiendo el de alimentación para los 2 pares de bobinas.

### **Motores paso a paso bipolares.**

Se componen de 2 bobinas.

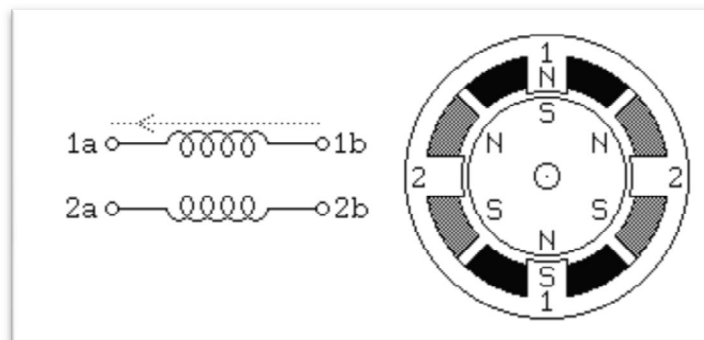


Fig. 1.34. Motor paso a paso con sus dos bobinas que lo componen.

Fuente: <http://www.ing.unp.edu.ar/asignaturas/maqeinstelectricas/MOTOR%20PASO%20A%20PASO.pdf>

Para que el motor funcione, la corriente que circula por las bobinas cambia de sentido en función de la tensión, de ahí el nombre de bipolar, debido a que en los extremos de una misma bobina se pueden tener distintas polaridades. Otra de las características

que los diferencian de los unipolares son que estos llevan cuatro conexiones externas, dos para cada bobina. A diferencia de los unipolares que son más sencillos de utilizar, en los bipolares su dificultad reside en el control de la alimentación y el cambio de polaridad.

### 1.5.5 Control de Motores Paso a Paso.

#### *Secuencias para manejar motores paso a paso Bipolares.*

Como se dijo anteriormente, estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada.

Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida. A continuación se puede ver la tabla con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo Bipolares:

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Tabla 1.3. Secuencia para controlar motores paso a paso bipolares.

Fuente: <http://www.ing.unp.edu.ar/ asignaturas/maqeinstelectricas/MOTOR%20PASO%20A%20PASO.pdf>

#### *Secuencias para manejar motores paso a paso Unipolares.*

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, las cuales se detallan a continuación.



✓ **Secuencia Normal (paso doble)**

Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención. Ver Tabla 1.4.

✓ **Secuencia del tipo wave drive (paso simple)**

En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. Pero al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor. Ver Tabla 1.5.

✓ **Secuencia del tipo medio paso**

En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos en la tabla la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4. Ver Tabla 1.6.

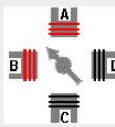
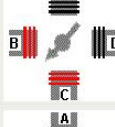
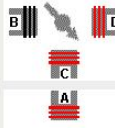
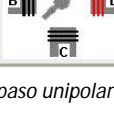
PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

Tabla 1.4. Secuencia normal para motores paso a paso unipolares.

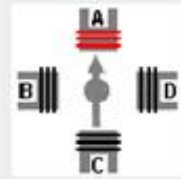
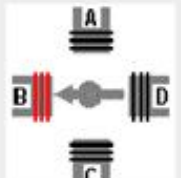

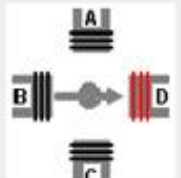
PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

Tabla 1.5. Ssecuencia tipo wave drive para motores paso a paso unipolares

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

Tabla 1.6. Secuencia tipo medio paso para motores paso a paso unipolares

### 1.5.6 Consideraciones Acerca de los Motores Paso a Paso.

Como comentario final, cabe destacar que debido a que los motores paso a paso son dispositivos mecánicos y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta.

En tal sentido el motor debe alcanzar el paso antes que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto.
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar.
- Puede girar erráticamente.
- O puede llegar a girar en sentido opuesto.

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. El giro en reversa debería también ser realizado previamente bajando la velocidad de giro y luego cambiar el sentido de rotación.

#### ***Características***

Grados por paso o Resolución: especifica el número de grados que el rotor girará por cada paso. Hay motores de 0.72°, 1.8°, 3.6°, 7.5°, 15°, y hasta 90° por paso. El ángulo de paso en grados para cualquier motor imán permanente o de reluctancia variable es:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{nP}$$

n: número de fases o grupo fase del estator

P: número de polos o dientes del rotor

***Frecuencia de funcionamiento:***

Los motores son fabricados para trabajar en un rango de frecuencias determinado por el fabricante y rebasado dicho rango, el rotor no es capaz de seguir las variaciones del campo magnético, provocando una pérdida de sincronización y quedando frenado en estado de vibración. La máxima frecuencia admisible está alrededor de los 625 Hz.

***Voltaje:***

Va indicado en el mismo motor o en las hojas de datos. A veces es necesario exceder el rango de voltaje para obtener el torque deseado de un motor dado, pero esto puede sobrecalentar y/o disminuir el tiempo de vida del motor.

***Resistencia por bobina:***

Determinará la corriente que pase por el motor, también la curva de torque del motor y la máxima velocidad de operación.

***Pull-in y Pull-out rate:***

Máximas velocidades a las cuales puede arrancar y operar un motor con carga sin perder pasos. El Pull in rate es siempre menor al Pull out rate, ya que si se quiere que el motor rinda a su máxima velocidad sin perder pasos es necesario acelerar desde una velocidad menor.

***Resonancia:***

A ciertas frecuencias de funcionamiento el motor sufre una pérdida de pasos, por lo que deben evitadas. Operando un motor sin carga en un rango de frecuencias, se detectarán frecuencias naturales de resonancia, estas se pueden detectar auditivamente o por medio de sensores. Si es necesario trabajar a estas velocidades, se debe agregar un factor de amortiguamiento externo, mayor inercia o un controlador adecuado. Los motores de imán permanente son menos inestables que los de reluctancia variable, pues tienen mayor inercia en el rotor y un torque de arranque más elevado.

CAPÍTULO II  
DISEÑO MECÁNICO Y DISEÑO  
ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

---

## **2. DISEÑO MECÁNICO Y DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO**

### **2.1 DISEÑO MECÁNICO**

Dentro de esta sección se desarrolla todo lo referente al diseño de elementos y selección de accesorios necesarios para la parte mecánica de la máquina; para llevar a cabo dicho desarrollo, se ha tomado la siguiente metodología de trabajo:

Paso 1: Selección de prototipo.

Se debe seleccionar el prototipo de máquina sobre el cual se llevará a cabo el diseño.

Paso 2: Diseño de elementos de transmisión de potencia.

Se presenta el análisis y diseño de los tornillos de potencia que serán los encargados de transmitir la potencia de los motores a cada uno de los ejes.

Paso 3: Sistemas auxiliares.

#### **2.1.1 Pruebas Preliminares**

Para lograr determinar la velocidad de avance y la fuerza de maquinado para la madera, se realizó un ensayo sencillo, que consistió en colocar un trozo de madera marcado con dos puntos de referencia ubicados a una distancia  $\Delta x$  entre sí, se aplicó una fuerza y unas revoluciones determinadas para la herramienta de corte y se dispuso a realizar el ensayo con el taladro de banco ubicado en la Unidad Productiva Metal-Mecánica de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

En la Figura 2.1 se observa el esquema del ensayo.



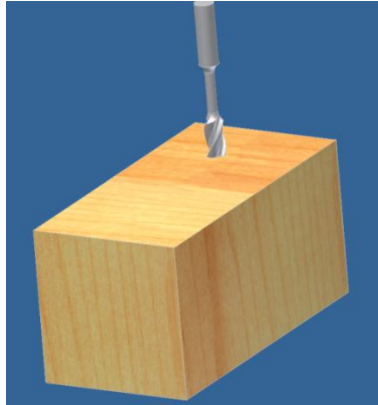


Figura 2.1 configuración para ensayos realizados.

Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

Los Parámetros para el ensayo fueron los siguientes:

Velocidad de rotación  $n = 1000$  rpm

Fuerza corte aplicada  $F_c = 6$  lb

Desplazamiento  $\Delta x = 150$  mm

Profundidad del corte  $\Delta z = 2$  mm

Se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 2.1

<b>N</b>	<b>t (s)</b>
1	31.00
2	48.00
3	60.65
4	26.00
5	36.89
6	20.82
<b>t total</b>	<b>223.31</b>
<b>t promedio</b>	<b>32.54</b>

Tabla 2.1. Resultados del ensayo.

Como puede observarse, el valor del tiempo obtenido en la tercera prueba está muy por encima de los demás valores, por lo tanto no se ha tomado en cuenta para determinar el valor promedio.

De este modo, la velocidad de avance para el maquinado de madera será la siguiente:

$$v_{avance} = \frac{\Delta x}{t_{prom}} = \frac{150 \text{ mm}}{32.54 \text{ s}} \approx 4.61 \text{ mm/s}$$

### 2.1.2. Volumen de Trabajo.

El volumen de trabajo que será capaz de realizar la fresadora será el mostrado en la Figura 2.2, el cual, de acuerdo a las dimensiones mostradas es de  $2000 \text{ mm}^3$ .

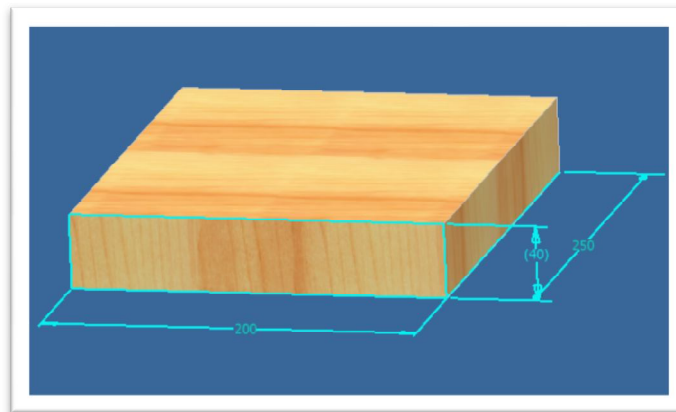
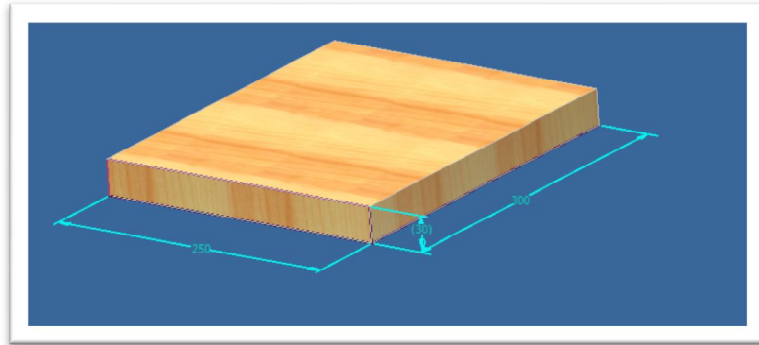


Figura 2.2. Volumen de trabajo.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

### 2.1.3. Mesa de Trabajo.

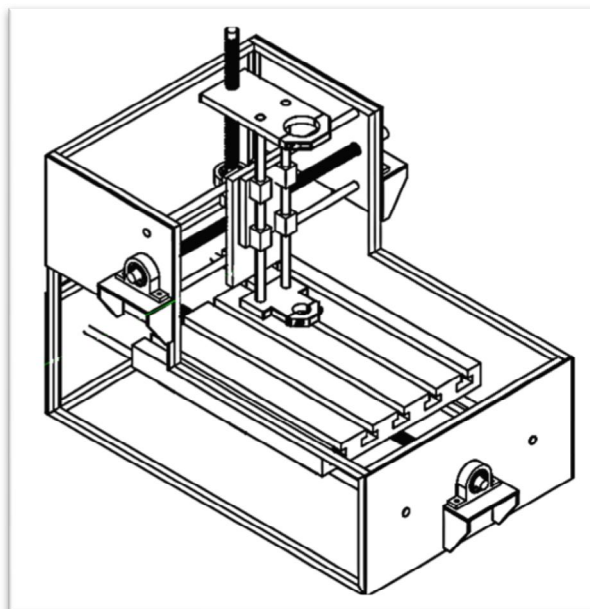
Ahora bien, para lograr el maquinado del volumen de trabajo establecido, se ha determinado que la mesa de trabajo debe tener las dimensiones mostradas en la Figura 2.3.



*Figura 2.3. Mesa de trabajo.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.*

#### **2.1.4 Selección del Prototipo.**

La configuración seleccionada para el diseño de la fresadora, por la relativa sencillez y por tener concordancia de grados de libertad con los respectivos ejes cartesianos es la que se muestra en la Figura 2.4.



*Figura 2.4. diseño preliminar de la carcasa de la máquina.*

*Fuente: Elaborado por Oscar Cruz.*

Según el prototipo, la mesa será hecha de madera forrada con lámina y deberá desplazarse longitudinalmente a una velocidad constante de 4.61 mm/s, para lograr dicho movimiento, se utilizará un tornillo de potencia y dos guías; cabe mencionar que el tornillo de potencia será accionado por un motor de paso.

Para la estructura mecánica, interesa que sea resistente aunque las cargas a las que estará sometida no sean demasiado grandes; además, se requiere que la misma brinde facilidad de acceso a elementos como tarjetas de control y motores para el momento de revisión por fallas o mantenimientos.

La unión entre las diferentes partes del equipo será mecánica, por medio de tornillos normalizados, para su fácil búsqueda en el mercado local.

El diseño preliminar de la carcasa de la máquina se ha considerado que sea elaborado de madera, tal como se muestra en la Figura 2.5, ya que esto permitirá que la estructura total sea versátil.

### **2.1.5 Diseño del Sistema de Transmisión de Potencia.**

Toda máquina que tenga al menos un movimiento de rotación, está dotada de ejes. Constructivamente un eje es una pieza cilíndrica, que en su forma funcional más simple se emplea como pivote de rotación pasivo en un par de revolución. Formalmente se habla de eje cuando esta pieza transmite un par de torsión en forma axial de manera que entrada y salida giren solidariamente (a la misma velocidad).

En este caso, se ha considerado que la mejor forma de la transmisión de potencia es a través de un mecanismo tornillo-tuerca, el cual se emplea para transformar un movimiento de giro en otro rectilíneo con una gran reducción de velocidad y, por tanto, un gran aumento de fuerza.

En la Figura 2.6, se muestra el detalle del mecanismo tornillo-tuerca, se puede observar como con cada vuelta de la tuerca, el sistema avanza un paso específico; el avance depende directamente del paso del tornillo.

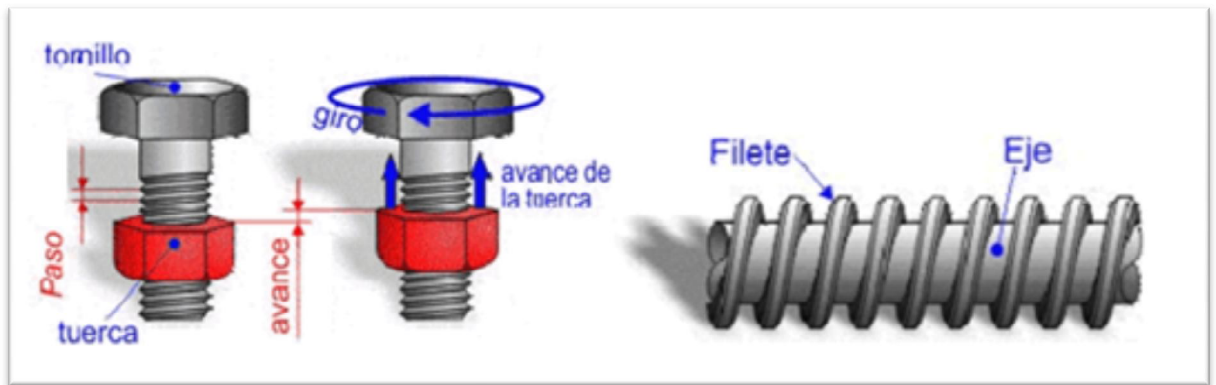


Figura 2.6 Paso y avance del sistema tornillo-tuerca.

Fuente: <http://www2.ula.ve/dsiportal/dmdocuments/elementos/TORNILLOPOTENCIA.pdf>

En el diseño del sistema en cuestión, los tres ejes de trabajo se han diseñado con una configuración similar, buscando un fácil ensamblaje y un paso adecuado al área de trabajo del equipo y a la precisión requerida; sin embargo, para cada eje se debe realizar un análisis individual que permita determinar la carga específica a la que el tornillo será sometido.

En la Figura 2.7 se observa el diseño preliminar de un tornillo de potencia.



Figura 2.7 Tornillo de potencia para ejes X, Y, Z. Fuente: Elaborado por Ricardo Herrera.

### 2.1.5.1 Sistema de transmisión eje x

#### Fuerzas Gravitacionales

En primer lugar, se debe calcular la masa total que deberá ser capaz de mover el tornillo, esta es la siguiente:

$$m_{total} = m_{\text{mesa de trabajo}} + m_{\text{volumen de trabajo}} + m_{\text{motor eje z}} + m_{\text{otros accesorios}}$$

Dónde:

$$m_{\text{mesa de trabajo}} = \rho_{\text{madera}} \times V_{\text{mesa}}$$

$$m_{\text{mesa de trabajo}} = 720 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (0.25 \times 0.30 \times 0.03) \text{m}^3$$

$$m_{\text{mesa de trabajo}} = 1.62 \text{ kg}$$

La densidad utilizada para el cálculo anterior es la correspondiente a la madera roble.

Luego:

$$m_{\text{volumen de trabajo}} = \rho_{\text{madera}} \times V_{\text{trabajo}}$$

$$m_{\text{volumen de trabajo}} = 530 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (0.20 \times 0.25 \times 0.04) \text{m}^3$$

$$m_{\text{volumen de trabajo}} = 1.06 \text{ kg}$$

En este caso, el valor de la densidad es de  $530 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  la cual corresponde a la madera de pino.

Arbitrariamente, se ha supuesto una masa de 1.5 kg para el conjunto de los demás accesorios que llevará la mesa. Con lo anterior se tiene lo siguiente:

$$m_{total} = 1.62 + 1.06 + 1.5$$

$$m_{total} = 4.18 \text{ kg}$$

Por lo tanto, el peso total será

$$F_{WX} = m_{total} \times g$$

$$F_{Wx} = 4.18 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 41.01 \text{ N}$$

### Fuerzas De Rozamiento

También, es importante considerar que debido a que la mesa de trabajo se desplaza mediante un sistema de guías y collarines lubricados, se generan fuerzas viscosas debidas a la interacción de los mismos tal como se muestra en la Figura 2.8.



Figura 2.8 Diagrama de fuerzas que actúan sobre cada guía.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

Del diagrama se tiene,

$$P = \frac{F_{Wx}}{4} = \frac{41.01 \text{ N}}{4} = 10.25 \text{ N}$$

Donde,  $P$  : fuerza de rozamiento en cada collarín.

$F_{Wx}$  : peso total en el eje x.

NOTA: el peso total del peso ha sido dividido entre cuatro debido a que, la mesa será movida por el sistema tornillo-tuerca, el cual, no soporta carga; la carga total del eje x debe ser soportada por dos guías que tendrán dos collarines cada una.

Ahora bien, el coeficiente de rozamiento a utilizar para esta aplicación, será de 0.34, este valor ha sido tomado de la Tabla Anexo 1, y se aplica para rozamiento entre acero blando y bronce fosforado en seco.

de este modo, se tiene lo siguiente:

$$F_{rx} = 10.25 \text{ N} \times 0.34 = 3.49 \text{ N}$$

como son 4 collarines,

$$F_{rx \text{ total}} = 3.49 \times 4 = 13.94 \text{ N}$$

### Fuerzas Inerciales

Además, también es necesario considerar fuerza inercial debida a la traslación de la mesa de trabajo y todos sus componentes, la cual se determina mediante la expresión siguiente:

$$F_i = m \cdot a$$

Donde,  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , y se ha considerado un  $\Delta t = 0.10 \text{ s}$  debido a que se está trabajando con un motor eléctrico para lograr el movimiento de la mesa.

De este modo,

$$F_i = 4.18 \text{ kg} \times \frac{4.61 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.10 \text{ s}} = 0.19 \text{ N}$$

### Tornillo De Potencia

Ahora bien, con los datos obtenidos se puede determinar la magnitud del torque que debe generar el tornillo de potencia para superar la carga, esto mediante la expresión que se muestra a continuación:

$$T_c = \frac{d_w W}{2} \left[ \frac{\tan \lambda + \mu}{1 - \mu \tan \lambda} \right] + \frac{\mu_c d_{wc} W}{2}$$



Donde,  $W$  es la carga total que debe superar el tornillo.

$$W = F_{corte} + F_{rozamiento} + F_{inercial}$$

Para la fuerza de corte, se ha tomado el valor de la fuerza aplicada durante los ensayos, la cual fue de 6 Lbf, equivalente a 26.75 N.

de este modo,

$$W = (26.75 + 13.94 + 0.19)N = 40.88 N$$

$\mu$  es el coeficiente de fricción entre la tuerca y el tornillo, se ha determinado que tanto la tuerca como el tornillo serán del mismo material, por lo tanto, según Tablas, para tuerca y tornillo de acero  $\mu = 0.25 = \mu_c$ .

También  $\tan \lambda = \frac{P}{\pi d_w}$ , donde  $P$  es el paso del tornillo; se ha determinado que se utilizará un tornillo de 12.70 mm de diámetro y de acuerdo a la Tabla que se observa el Anexo 2, para este diámetro, el paso del tornillo normalizado es de 3.90 mm. Finalmente,  $d_w$  es el diámetro medio del tornillo el cual se obtiene a partir de la expresión mostrada:

$$d_w = d - \frac{p}{2} = 12.70 - \frac{3.90}{2} = 10.75 \text{ mm}$$

De este modo,  $\tan \lambda = \frac{3.90}{\pi \times 10.75} = 0.1155$

Con todos los valores de las variables encontrados, se obtiene lo siguiente:

$$T_{tornillo} = \frac{0.01075m \times 40.88 N}{2} \left[ \frac{0.1155 + 0.25}{1 - 0.25 \times 0.1155} \right] + \frac{0.25 \times 0.01075 m \times 40.88 N}{2}$$

$$T_{tornillo} = 13.73 N \cdot cm$$

Además, el tornillo también debe superar la carga inercial debida a su propia rotación, esta se calcula según la expresión que se muestra:

$$T_i = I\alpha$$

Donde,  $I = \frac{1}{2}mr^2 = \frac{1}{2}\rho Vr^2$  (según tablas de materiales, para el acero  $\rho = 7850 \frac{kg}{m^3}$ )

$$I = \frac{1}{2} \left( 7850 \frac{kg}{m^3} \right) \left( \frac{\pi}{4} 0.0127^2 \right) (0.50) (0.00635^2) = 1.0024 \times 10^{-5} kg \cdot m^2$$

Para calcular la aceleración angular se supondrá que el tiempo que el motor eléctrico requiere para llegar a su velocidad de operación es de 0.10 s. por lo tanto, el valor de la aceleración angular será el siguiente:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{2\pi \text{ rad/s}}{0.10 \text{ s}} = 62.83 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Ahora,  $T_i = (1.0024 \times 10^{-5} kg \cdot m^2) (62.83 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2})$

$$T_i = (6.2980 \times 10^{-5}) N \cdot m$$

$$T_i = 0.006298 N \cdot cm$$

Finalmente, el torque total necesario para mover la mesa viene dado por la suma de los dos torque calculados anteriormente:

$$T_T = T_{carga} + T_{inercial} = (13.73 + 0.006298) N \cdot cm$$

$$\mathbf{T_{TX} = 13.74 N \cdot cm}$$

### Cálculo del ángulo de irreversibilidad del tornillo.

Se conoce que,  $\mu = \tan \lambda = 0.25$ , implica que,  $\lambda = \tan^{-1} 0.25 = 14.04$

También  $\tan \lambda = \frac{NP}{\pi d_m}$ ,

Luego,  $N = \frac{\pi d_m \tan \lambda}{P} = \frac{\pi(0.01075)(\tan 14.04)}{0.0039} = 2.16$

Con este número de hélices  $N=2$  la carga deslizaría por sí sola.

### Selección del material del tornillo.

Si bien es cierto que ya se había definido que el material del tornillo es acero, es necesario comprobar la selección mediante las expresiones siguientes:

Expresión	desarrollo	resultado
$\sigma = \frac{3WP}{\pi d_m Q^2}, \quad Q = \frac{p}{2}$	$\sigma = \frac{3(40.88)(0.0039)}{\pi(0.01075)0.00195^2}$	$\sigma = 3.72 \text{ MPa}$
$\tau = \frac{W}{\pi d_m}$	$\tau = \frac{40.88}{\pi(0.01075)(0.00195^2)}$	$\tau = 0.62 \text{ MPa}$
$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \left[ \frac{\sigma^2}{2} + \tau^2 \right]^{1/2}$	$\sigma_{1,2} = \frac{3.72}{2} \pm \left[ \frac{3.72^2}{2} + 0.62^2 \right]^{1/2}$	$\sigma_1 = 4.56 \text{ MPa},$ $\sigma_2 = 0.84 \text{ MPa}$
$S_{sy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$	$S_{sy} = \frac{2.07 - 0.518}{2}$	$S_{sy} = 2.70 \text{ MPa}$

Tabla 2.1 esfuerzos determinados para Eje X.

Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia.

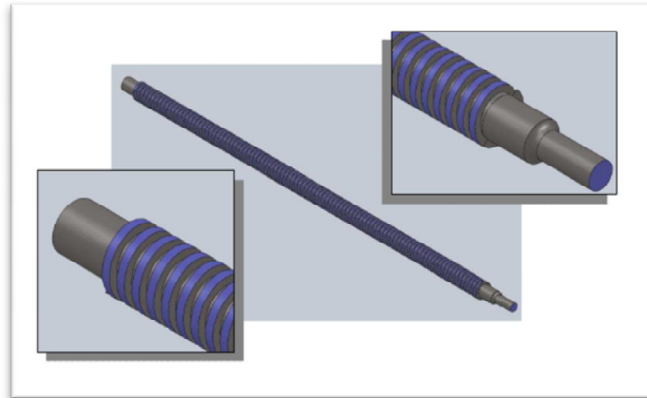


Figura 2.9 Tornillo de potencia.  
Fuente: Elaborado por Ricardo Herrera.

### Diagramas de cortante y momento flector para guías eje x.

A continuación, se presenta el análisis de cortante y momento flector para el eje x; por medio de estos diagramas se determinará la deflexión máxima que tendrán las guías de este eje.

En la Figura 2.10 se presenta el diagrama de fuerza cortante.

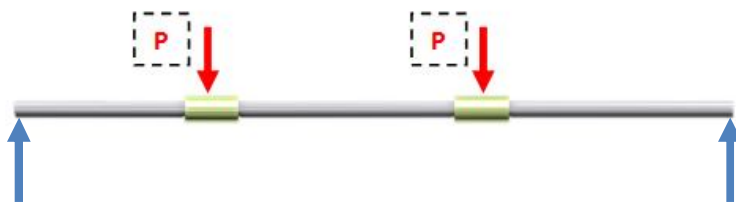


Figura 2.10 Diagrama de fuerza cortante en guías del Eje X.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

Del análisis para las fuerzas de rozamiento, se conoce que  $P = 10.25 \text{ N}$ ; luego, encontrando las reacciones en los cojinetes,

$$\Sigma M_1 = 0; \quad 10.25 \times 166 + 10.25 \times 332 - F_2 \times 500 = 0$$

$$F_2 = 10.21 \text{ N}$$

Luego, bajo la condición de equilibrio en Y,  $\Sigma F_y = 0$ ;  $F_1 = 10.21N$

La Figura 2.11 presenta el diagrama de fuerza cortante sobre la guía.

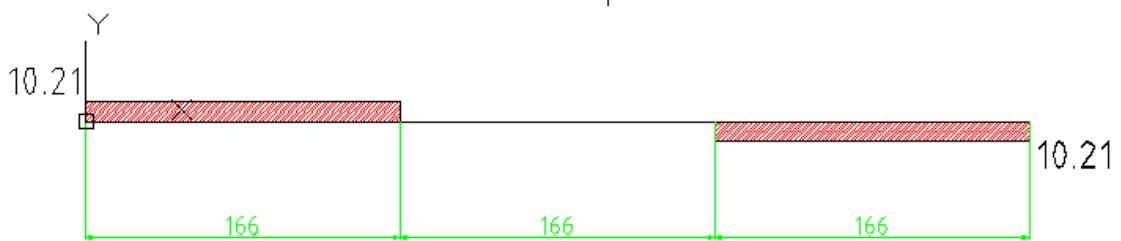


Figura 2.11 Diagrama de Fuerza Cortante sobre las guías del eje X.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

A partir del diagrama mostrado en la Figura 2.11, se obtiene el diagrama de Momento Flector, el cual se presenta en la Figura 2.12.

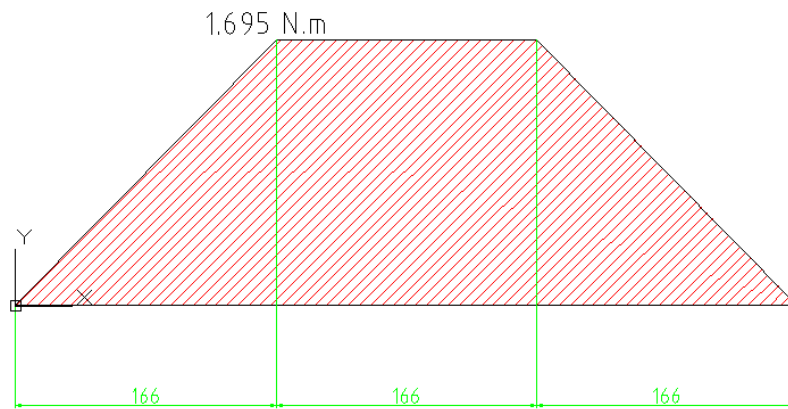


Figura 2.12 Diagrama de Momento Flector para guías Eje X.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

ahora, con la siguiente expresión se determinará el esfuerzo flexionante producido en la guía,

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{3.1} = \frac{32(1.695)}{\pi (0.0095)^3} = 20.13 \text{ MPa}$$

Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia.

### Potencia para motor paso a paso eje X.

Ahora bien, la potencia que demanda el tornillo es la siguiente:

$$P_{OTn} = T_{TOTAL} \times \omega = \left( \frac{13.74 \text{ N} \cdot \text{cm}}{\frac{100}{1\text{m}}} \right) (2\pi \text{ rad/s})$$

$$P_{OTn} = 0.863 \text{ W}$$

Luego, la potencia neta debe ser calculada tomando en cuenta lo siguiente:

La eficiencia de la transmisión del tornillo es la siguiente,

$$e = \frac{WL}{2\pi T} = \frac{40.88 \times 3.9 \times 10^{-3}}{2\pi \times 0.1351} = 0.576$$

TIPO	VALOR	FACTOR
eficiencia del tornillo (= WL/2T)	0.576	1.424
eficiencia del motor	0.90	1.10
Factor de servicio		1.5

Por lo tanto,  $P_{OTt} = 1.424 \times 1.10 \times 1.5 \times 0.863 = 2.027\text{W} \cong \mathbf{2.03\text{W}}$

**Se concluye que la potencia necesaria en el motor para que el mecanismo funcione acorde al diseño es de 2W.**

### 2.1.5.2 Sistema de transmisión eje y

Consideraciones preliminares.

- Velocidad de corte o de avance: 4.61 mm/s= 4.61x10<sup>-3</sup>m/s
- Tiempo de respuesta del motor:0.1 s
- Masa del dremel : 0.424 Kg
- Masa de un motor de paso (peso aproximado): 0.20 Kg
- Masa calculada de las guías : 0.30 Kg
- Masa calculada del sistema tornillo-tuerca : 0.22 Kg
- Masa calculada del porta-herramientas: 0.816 Kg
- Masa estimada de bloque de trabajo: 0.50 Kg
- Masa de otros elementos: 1.5 Kg

### Fuerzas Gravitacionales

En primer lugar, se debe calcular la masa total que deberá ser capaz de mover el tornillo, esta es la siguiente:

$$m_{total Y} = m_{dremel} + m_{guias} + m_{motor eje z} + m_{porta-herramienta} \\ + m_{otros accesorios} + m_{tornillo+tuerca} + m_{bloque}$$

$$m_{total Y} = (0.424 + 0.200 + 0.300 + 0.220 + 0.816 + 1.500 + 0.500)Kg$$

$$m_{total Y} = 3.96 Kg$$

Por lo tanto, el peso total será

$$F_{Wy} = m_{total y} \times g$$

$$F_{Wx} = 3.96 kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 38.85 N$$

## Fuerzas De Rozamiento

Para determinar las fuerzas de rozamiento que actúan par el eje Y, se tomarán las mismas consideraciones que para el eje X anteriormente desarrollado.

Por lo tanto,

$$P = \frac{F_{Wy}}{4} = \frac{38.85 N}{4} = 9.71 N$$

de este modo, se tiene lo siguiente:

$$F_{ry} = 10.25 N \times 0.34 = 3.30 N$$

como son 4 collarines,

$$F_{ry\ total} = 3.30 \times 4 = 13.21 N$$

## Fuerzas Inerciales

Fuerzas inerciales ( $F_i$ ).

$$F_i = ma = 3.96 \times \frac{4.61 \times 10^{-3}}{0.1} = 0.18 N$$

## Tornillo de Potencia

Para el desarrollo del cálculo en esta sección, se tomarán las mismas consideraciones y valores tomados para los cálculos del tornillo de potencia del Eje X calculado anteriormente.

Por lo tanto, la ecuación de torque para que el tornillo pueda subir la carga es:



$$T_C = \frac{d_W W}{2} * \left[ \frac{\tan \lambda + \mu}{1 - \mu \tan \lambda} \right] + \frac{\mu_c d_{Wc} W}{2}$$

También, Teniendo en cuenta que:

$$W = F_{iy} + F_{ry} + F_c = 0.18 + 13.21 + 26.75 = 40.14 \text{ N}$$

$$\tan \lambda = \frac{NP}{\pi d_W} ; d_W = d - \frac{P}{2} = d_W = 0.0127 - \frac{3.96}{2} = 10.75 \text{ mm} = 0.01075 \text{ m}$$

$$\tan \lambda = \frac{1 \times 3.9}{\pi \times 10.75} = 0.1155$$

Sustituyendo los respectivos datos en la ecuación de torque para el tonillo de potencia:

$$T_C = \frac{0.01075 \times 40.14}{2} \times \left[ \frac{0.1155 + 0.25}{1 - 0.25 \times 0.1155} \right] + \frac{0.25 \times 0.01075 \times 40.14}{2}$$

$$= 13.51 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

Para calcular el torque total que deberá manejar el motor, se necesita saber el valor del torque generado debido a la rotación de tornillo, este torque se calcula de la siguiente manera:

$$I = \frac{MR^2}{2} = \frac{\gamma VR^2}{2g} = \frac{\gamma \pi R^2 LR^2}{2g} = \frac{\gamma \pi R^4 L}{2g}$$

$$I = \frac{76.5 \times 10^3 \times \pi \times (6.35 \times 10^{-3})^4 \times 0.3325}{2 \times 9.81} = 6.7416 \times 10^{-6}$$

$$T_i = I \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = 6.4926 \times 10^{-6} \times \frac{6.283}{0.1} = 4.079 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque máximo torque que deberá manejar el motor de paso es la sumatoria de los torques calculados,

$$T_T = 0.1351 + 4.079 \times 10^{-4} = 0.1355 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_{TY} = \mathbf{13.55 \text{ N} \cdot \text{cm}}$$

### Cálculo del Angulo de irreversibilidad del tornillo para eje y.

Se conoce que,  $\mu = \tan \lambda = 0.25$ , implica que,  $\lambda = \tan^{-1} 0.25 = 14.04$

También  $\tan \lambda = \frac{NP}{\pi d_m}$ ,

Luego,  $N = \frac{\pi d_m \tan \lambda}{p} = \frac{\pi(0.01075)(\tan 14.04)}{0.0039} = 2.16$

Con este número de hélices N=2 la carga deslizaría por sí sola.

### Selección del material del tornillo.

Al igual que para el Eje X, es necesario comprobar la selección mediante las expresiones siguientes:

Expresión	desarrollo	resultado
$\sigma = \frac{3WP}{\pi d_m Q^2}, \quad Q = \frac{p}{2}$	$\sigma = \frac{3(40.14)(0.0039)}{\pi(0.01075)0.00195^2}$	$\sigma = 3.65 \text{ MPa}$
$\tau = \frac{W}{\pi d_m}$	$\tau = \frac{40.14}{\pi(0.01075)(0.00195^2)}$	$\tau = 0.61 \text{ MPa}$
$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \left[ \frac{\sigma^2}{2} + \tau^2 \right]^{1/2}$	$\sigma_{1,2} = \frac{3.65}{2} \pm \left[ \frac{3.65^2}{2} + 0.61^2 \right]^{1/2}$	$\sigma_1 = 4.48 \text{ MPa},$ $\sigma_2 = 0.83 \text{ MPa}$
$S_{sy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$	$S_{sy} = \frac{4.48 + 0.83}{2}$	$S_{sy} = 2.65 \text{ MPa}$

Tabla 2.2 esfuerzos determinados para Eje Y.

Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia.

### Potencia para motor paso a paso eje Y.

Ahora bien, la potencia que demanda el tornillo es la siguiente:

$$P_{OTn} = T_{TOTAL} \times \omega = \left( \frac{13.55 \text{ N} \cdot \text{cm}}{\frac{100}{1\text{m}}} \right) (2\pi \text{ rad/s})$$

$$P_{OTn} = 0.851 \text{ W}$$

Luego, la potencia neta debe ser calculada tomando en cuenta lo siguiente:

La eficiencia de la transmisión del tornillo es la siguiente,

$$e = \frac{WL}{2\pi T} = \frac{40.14 \times 3.9 \times 10^{-3}}{2\pi \times 0.1351} = 0.1844$$

TIPO	VALOR	FACTOR
eficiencia del tornillo (= WL/2T)	0.1844	1.8156
eficiencia del motor	0.90	1.10
Factor de servicio		1.5

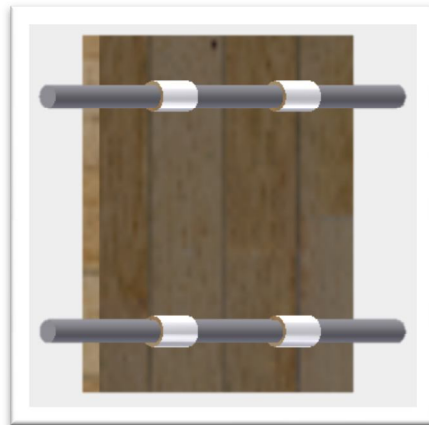
Por lo tanto,  $P_{OTt} = 1.8156 \times 1.10 \times 1.5 \times 0.851 = 2.549 \text{ W} \cong 2.55 \text{ W}$

**Se concluye que la potencia necesaria en el motor para que el mecanismo funcione acorde al diseño es de 2.75 W.**

### Diagramas de cortante y momento flector para guías eje y.

A continuación, se presenta el análisis de cortante y momento flector para el eje y; por medio de estos diagramas se determinará la deflexión máxima que tendrán las guías de este eje.

La configuración que presentan las guías para el eje Y, es la que se muestra en la Figura 2.13, en la figura se observa la parte trasera del bloque que contendrá el porta-herramientas.



*Figura 2.13 Configuración de guías para el Eje y.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.*

En base a la configuración mostrada, la distancia vertical entre guías es de 10 cm (100 mm), tomando algunas consideraciones tales como que el centro de gravedad de todo el peso que soportara el eje "y" está a aproximadamente 4.5 cm y esta aplicada en el centro de ambas guías, también se debe de tomar en cuenta lo que es la fuerza de corte ya que influye en lo que son los esfuerzos, por lo cual se tiene:

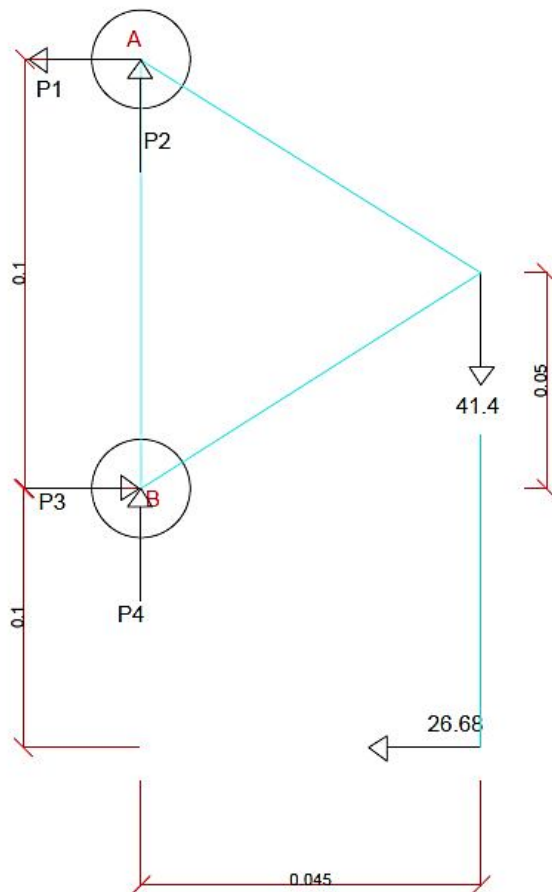


Figura 2.14 Diagrama de cuerpo libre, vista lateral guías eje "y" (SIN ESCALA).  
Fuente: Elaborado por Ricardo Herrera.

Determinando las reacciones en las guías:

$$\sum M_B = 0; \quad 41.4(0.045) + 26.68(0.1) - P_1(0.1) = 0; \quad P_1 = 45.31 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0; \quad 41.4(0.045) + 26.68(0.1) - P_3(0.1) = 0; \quad P_3 = 45.31 \text{ N}$$

Por análisis de equilibrio,  $P_2 = P_4 = 20.4 \text{ N}$

### Fuerzas soportada por la guía A.

Fuerza soportada por cada collarín en guía A:

$$F_y = \frac{P_1}{2} = 10.35 \text{ N}$$

$$F_x = \frac{P_2}{2} = 22.65 \text{ N}$$

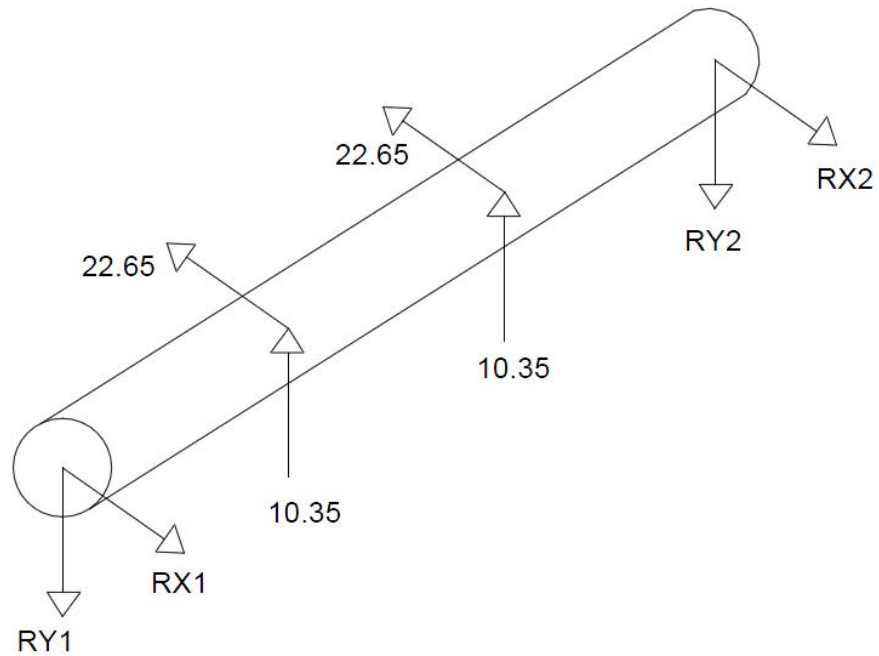


Figura 2.15 Fuerzas soportadas por la guía A del eje "Y"  
Fuente: Elaborado por Ricardo Herrera.

Análisis de fuerzas respecto al eje vertical de la figura 2.16

$$\sum M_{y1} = 0;$$

$$-10.35(0.14625) - 10.35(0.186) + R_{y2}(0.3325) = 0$$

$$R_{y1} = 10.35 \text{ N}$$

$$R_{y2} = 10.35 \text{ N}$$

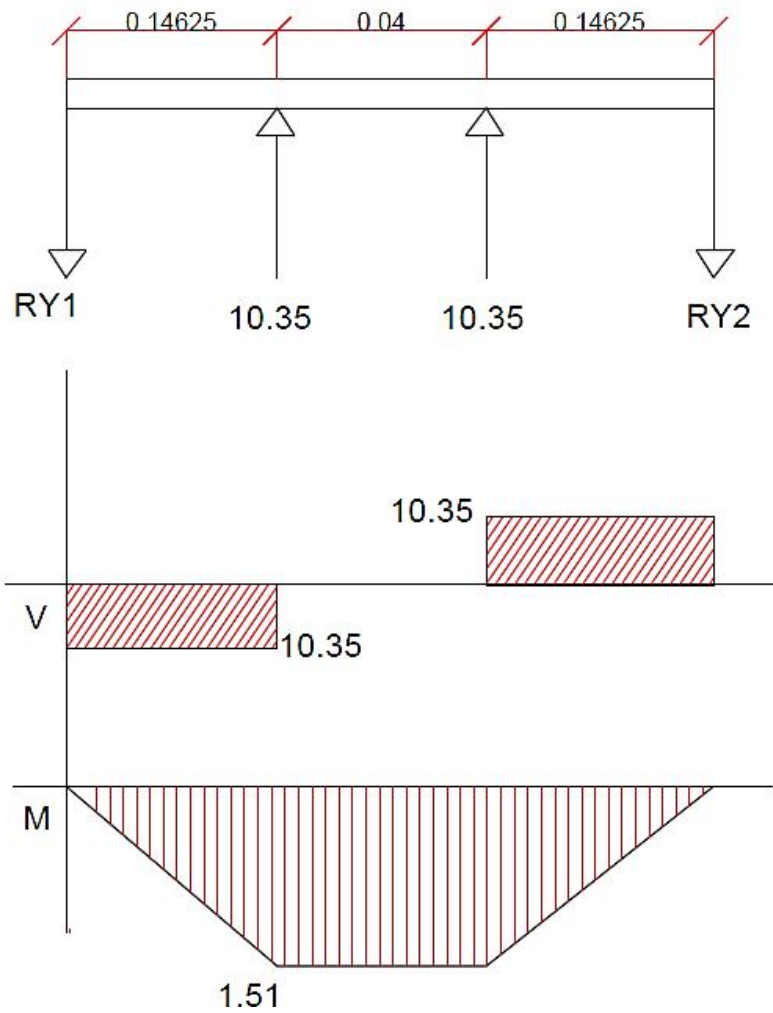


Figura 2.16 Fuerzas soportadas por la guía A análisis vertical.  
Fuente: Elaborado por Ricardo Herrera.

Al observar el diagrama de momento flector es notorio que el mayor es 1.51 N-m.

Análisis de fuerzas respecto al eje horizontal de la figura 2.15

$$\sum M_{x1} = 0; \quad -22.65(0.14625) - 22.65(0.186) + R_{x2}(0.3325) = 0$$

$$R_{x1} = 22.65 \text{ N}$$

$$R_{x2} = 22.65 \text{ N}$$

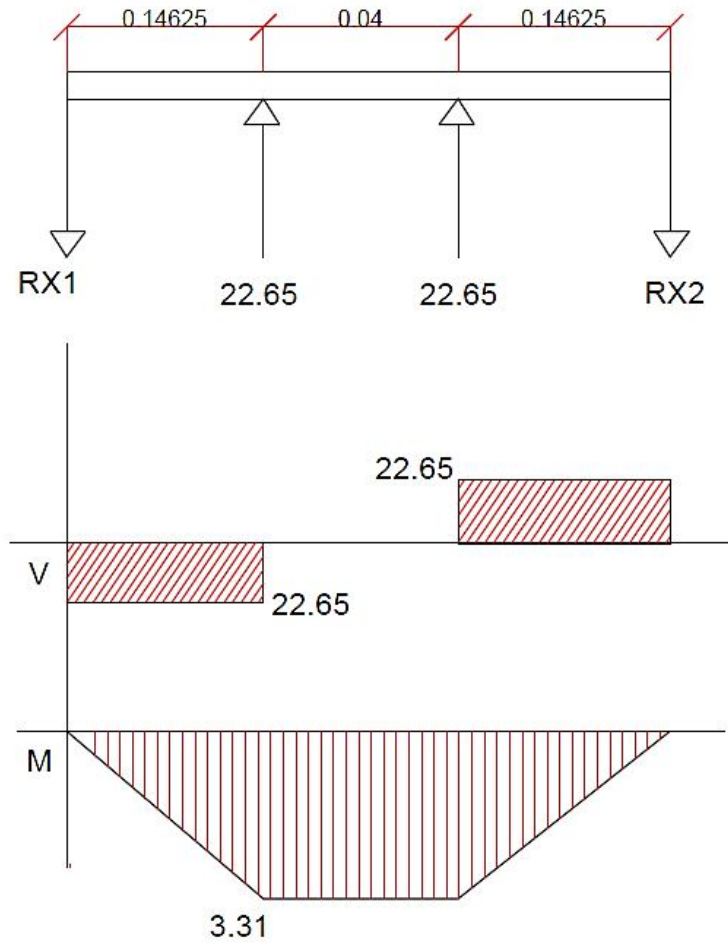


Figura 2.17 Fuerzas soportadas por la guía A análisis horizontal.  
Fuente: Elaborado por Ricardo Herrera.

Al observar el diagrama de momento flector es notorio que el mayor es 3.31 N-m.

Esfuerzos soportados debido a los momentos flectores.

$$\sigma_1 = \frac{32 (1.51)}{\pi (9.5 \times 10^{-3})^3} = 17.93 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = \frac{32 (1.67)}{\pi (9.5 \times 10^{-3})^3} = 39.32 \text{ Mpa}$$



Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia.

### Fuerzas soportada por la guía B.

Fuerza soportada por cada collarín en guía B:

$$F_y = \frac{P_4}{2} = 10.35 \text{ N}$$

$$F_x = \frac{P_3}{2} = 22.65 \text{ N}$$

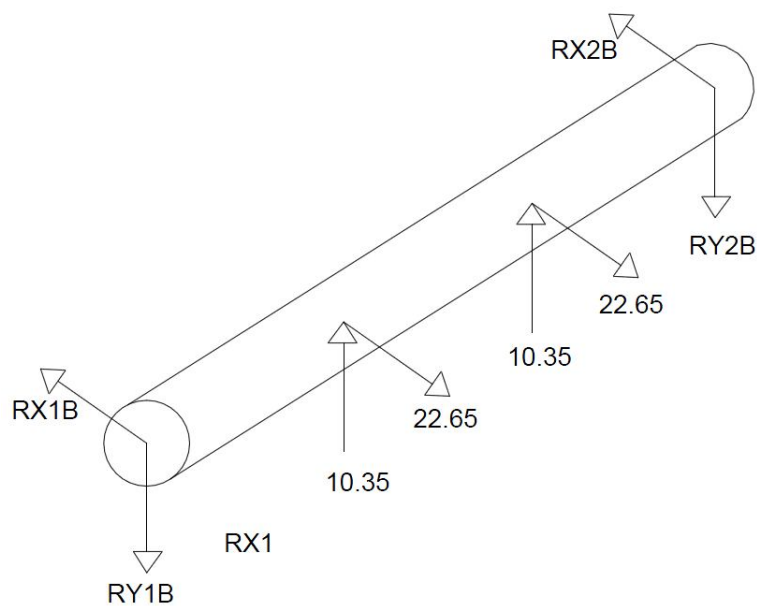


Figura 2.18 Fuerzas soportadas por la guía B del eje "Y"  
Fuente: Elaborado por Ricardo Herrera.

Análisis de fuerzas respecto al eje vertical de la figura 2.18

$$\sum M_{y1b} = 0; -10.35(0.14625) - 10.35(0.186) - R_{y2b}(0.3325) = 0$$

$$R_{y1b} = 10.35 \text{ N}$$

$$R_{y2b} = 10.35 \text{ N}$$

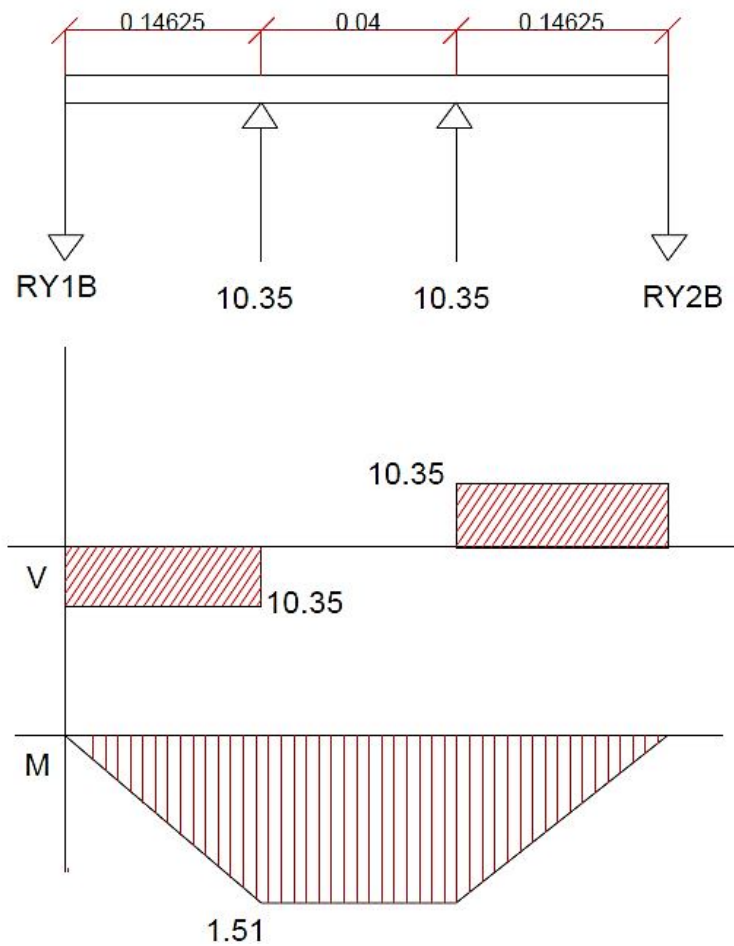


Figura 2.19 Fuerzas soportadas por la guía B análisis vertical.  
Fuente: Elaborado por Ricardo Herrera.

Al observar el diagrama de momento flector es notorio que el mayor es 1.51 N-m.

Análisis de fuerzas respecto al eje horizontal de la figura 2.18

$$\sum M_{x1b} = 0; \quad 22.65(0.14625) + 22.65(0.186) - R_{x2}(0.3325) = 0$$

$$R_{x1} = 22.65 \text{ N}$$

$$R_{x2} = 22.65 \text{ N}$$

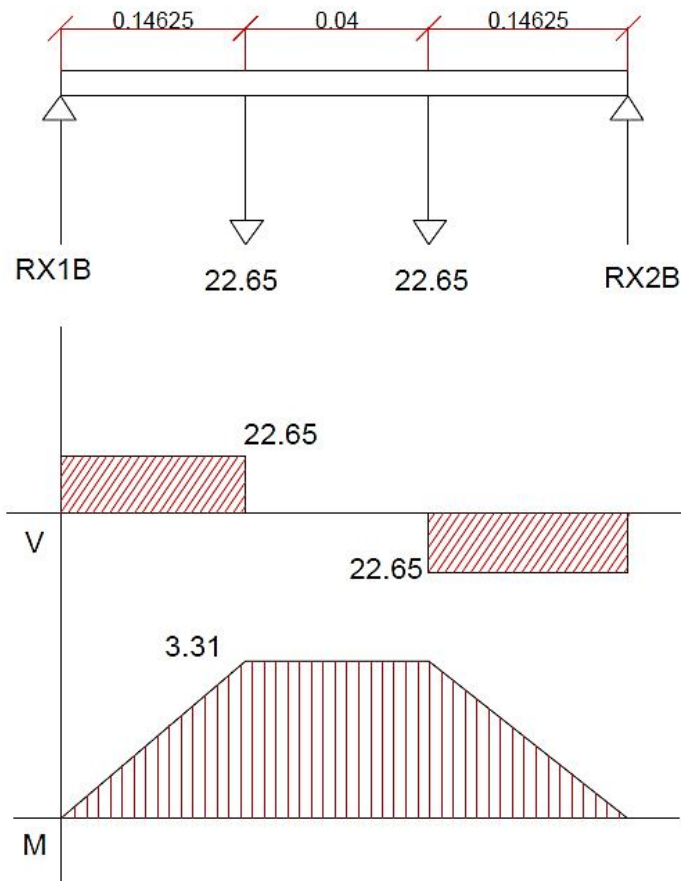


Figura 2.20 Fuerzas soportadas por la guía B análisis horizontal.  
Fuente: Elaborado por Ricardo Herrera.

Al observar el diagrama de momento flector es notorio que el mayor esfuerzo es 3.31 N-m.

Esfuerzos soportados debido a los momentos flectores.

$$\sigma_1 = \frac{32 (1.51)}{\pi (9.5 \times 10^{-3})^3} = 17.93 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = \frac{32 (1.67)}{\pi (9.5 \times 10^{-3})^3} = 39.32 \text{ Mpa}$$

Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia.

### **2.1.5.3 Sistema de transmisión eje z**

Se tienen los siguientes valores conocidos:

- Masa calculada de las guías del eje Y =0.300 Kg.
- Masa calculada para el porta-herramientas inferior y superior =0.294 Kg.
- Masa del dremel =0.424 Kg.
- Masa de accesorios varios =0.500 Kg.

### **Fuerzas Gravitacionales**

En primer lugar, se debe calcular la masa total que deberá ser capaz de mover el tornillo, esta es la siguiente:

$$m_{total Z} = m_{dremel} + m_{guias} + m_{porta-herramienta} + m_{otros accesorios}$$

$$m_{total Y} = (0.424 + 0.300 + 0.294 + 0.500)Kg$$

$$m_{total Y} = 1.52 Kg$$

Por lo tanto, el peso total será

$$F_{Wy} = m_{total y} \times g$$

$$F_{WX} = 1.52 kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 14.91 N$$

## Fuerzas De Rozamiento

Debido a que para este sistema de transmisión no se han considerado guías, las fuerzas de rozamiento son las generadas debida a la interacción del sistema tornillo-tuerca, las cuales, se asumen despreciables.

## Fuerzas Inerciales

Fuerzas inerciales ( $F_i$ ).

$$F_i = ma = 1.52 \times \frac{4.61 \times 10^{-3}}{0.1} = 0.07 \text{ N}$$

## Tornillo De Potencia

Para el desarrollo del cálculo en esta sección, se tomarán las mismas consideraciones y valores tomados para los cálculos del tornillo de potencia del Eje X calculado anteriormente.

Por lo tanto, la ecuación de torque para que el tornillo pueda subir la carga es:

$$T_c = \frac{d_w W}{2} * \left[ \frac{\tan \lambda + \mu}{1 - \mu \tan \lambda} \right] + \frac{\mu_c d_{wc} W}{2}$$

También, Teniendo en cuenta que:

$$W = F_{Wz} + F_{iz} + F_{rz} + F_{cz} = 14.91 + 0.07 + 0 + 26.75 = 41.73 \text{ N}$$

Luego,

$$\tan \lambda = \frac{NP}{\pi d_w} ; d_w = d - \frac{P}{2} = d_w = 0.0127 - \frac{3.96}{2} = 10.75 \text{ mm} = 0.01075 \text{ m}$$

$$\tan \lambda = \frac{1 \times 3.9}{\pi \times 10.75} = 0.1155$$

Sustituyendo los respectivos datos en la ecuación de torque para el tornillo de potencia:

$$T_c = \frac{0.01075 \times 41.73}{2} \times \left[ \frac{0.1155 + 0.25}{1 - 0.25 \times 0.1155} \right] + \frac{0.25 \times 0.01075 \times 40.14}{2}$$

$$= 13.76 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

Para calcular el torque total que deberá manejar el motor, se necesita saber el valor del torque generado debido a la rotación de tornillo, este torque se calcula de la siguiente manera:

$$I = \frac{MR^2}{2} = \frac{\gamma VR^2}{2g} = \frac{\gamma \pi R^2 LR^2}{2g} = \frac{\gamma \pi R^4 L}{2g}$$

$$I = \frac{76.5 \times 10^3 \times \pi \times (6.35 \times 10^{-3})^4 \times 0.260}{2 \times 9.81} = 4.98 \times 10^{-6}$$

$$T_i = I \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = 4.98 \times 10^{-6} \times \frac{2\pi}{0.1} = 3.13 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque máximo torque que deberá manejar el motor de paso es la sumatoria de los torques calculados,

$$T_T = 0.1376 + 3.13 \times 10^{-4} = 0.1379 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_{Tz} = 13.79 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

### Cálculo del Angulo de irreversibilidad del tornillo para eje Z.

Se conoce que,  $\mu = \tan \lambda = 0.25$ , implica que,  $\lambda = \tan^{-1} 0.25 = 14.04$

También  $\tan \lambda = \frac{NP}{\pi d_m}$ ,

Luego,  $N = \frac{\pi d_m \tan \lambda}{P} = \frac{\pi(0.01075)(\tan 14.04)}{0.0039} = 2.16$

Con este número de hélices N=2 la carga deslizaría por sí sola.

### Selección del material del tornillo.

Al igual que para el Eje X, es necesario comprobar la selección mediante las expresiones siguientes:

Expresión	desarrollo	resultado
$\sigma = \frac{3WP}{\pi d_m Q^2}, \quad Q = \frac{p}{2}$	$\sigma = \frac{3(41.73)(0.0039)}{\pi(0.01075)(0.00195^2)}$	$\sigma = 3.80 MPa$
$\tau = \frac{W}{\pi d_m}$	$\tau = \frac{41.73}{\pi(0.01075)(0.00195^2)}$	$\tau = 0.63 MPa$
$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \left[ \frac{\sigma^2}{2} + \tau^2 \right]^{1/2}$	$\sigma_{1,2} = \frac{3.80}{2} \pm \left[ \frac{3.80^2}{2} + 0.63^2 \right]^{1/2}$	$\sigma_1 = 4.65 MPa,$ $\sigma_2 = 0.85 MPa$
$S_{sy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$	$S_{sy} = \frac{4.65 + 0.85}{2}$	$S_{sy} = 2.75 MPa$

Tabla 2.3 esfuerzos determinados para Eje Z.

Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia.

### Potencia para motor paso a paso eje Z.

Ahora bien, la potencia que demanda el tornillo es la siguiente:

$$P_{OTn} = T_{TOTAL} \times \omega = \left( \frac{13.79 \text{ N} \cdot \text{cm}}{\frac{100}{1\text{m}}} \right) (2\pi \text{ rad/s})$$

$$P_{OTn} = 0.866 \text{ W}$$

Luego, la potencia neta debe ser calculada tomando en cuenta lo siguiente:

La eficiencia de la transmisión del tornillo es la siguiente,

$$e = \frac{WL}{2\pi T} = \frac{41.73 \times 3.9 \times 10^{-3}}{2\pi \times 0.1376} = 0.1882$$

Ahora, en la Tabla siguiente se muestran los factores a considerar:

TIPO	VALOR	FACTOR
eficiencia del tornillo (= WL/2T)	0.1882	1.81
eficiencia del motor	0.90	1.10
Factor de servicio		1.5

Por lo tanto,  $P_{OTr} = 1.81 \times 1.10 \times 1.5 \times 0.866 = 2.587W \cong 2.59 W$

**Se concluye que la potencia necesaria en el motor para que el mecanismo funcione acorde al diseño es de 2.75 W.**



## 2.2 DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

### 2.2.1 Generalidades.

Una máquina con control numérico por computadora funciona básicamente, a través de interfaces que le permiten ejecutar instrucciones de acuerdo a los parámetros para los cuales ha sido diseñada.

A grandes rasgos, puede definirse como una máquina en la que se introducen números y letras (dígitos) para lograr la ejecución de las acciones, según se muestra en la Figura 2.21, este tipo de máquinas presenta una estructura secuencial bien definida, es decir, no se puede saltar ninguna de las etapas del proceso ya que cada una de las mismas no puede ejecutarse sin que su antecesora se haya ejecutado.

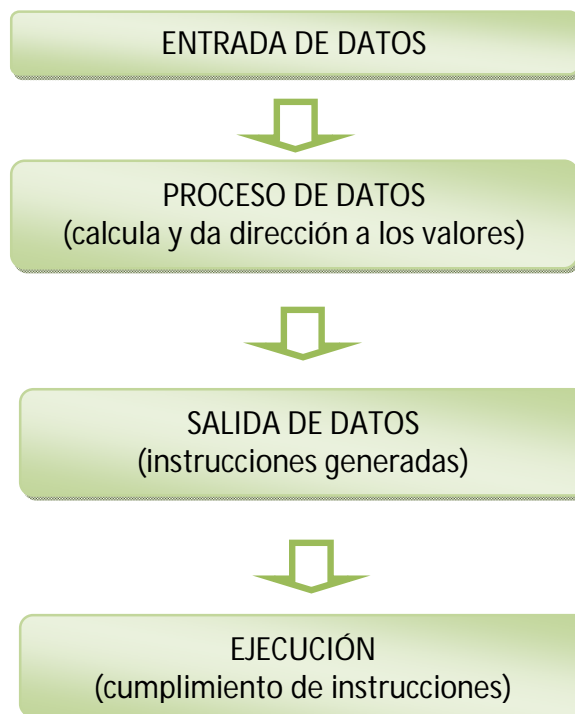


Figura 2.21 diagrama de secuencia de acciones de una máquina CNC  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

## 2.2.2 Modelo de Capas

La Figura 2.22 presenta un modelo de capas para lograr una mayor comprensión del funcionamiento de las máquinas CNC.

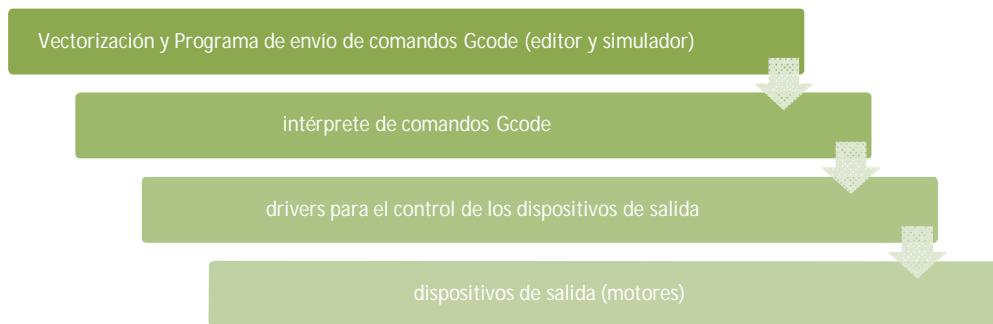


Figura 2.22 Esquema de funcionamiento de una máquina CNC.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

El diseño de este proyecto está basado en el modelo de capas mostrado en la Figura 2.22, en el cual se presenta un mando principal, la interfaz y los dispositivos de ejecución de acciones. A continuación se describe cada capa.

CAPA		DESCRIPCIÓN
PRIMERA CAPA	Creación del modelo.	<p>Este es el punto inicial para el mecanizado de piezas; para que la máquina CNC trabaje se debe crear un modelo ya que, la máquina realiza el mecanizado a través de trayectorias previamente definidas.</p> <p>La creación del modelo a mecanizar consta de los siguientes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Creación de pieza en 2D CAD.</li> <li>2. Creación de pieza en 3D CAD (cuando sea requerido, dependiendo de la complejidad del modelo)</li> </ol>

SEGUNDA CAPA	Programa de generación de códigos G.	Creación de trayectorias de maquinado (software simulador). Generación de códigos G a partir de las trayectorias creadas en el software simulador. Hoy en día, existe una gran diversidad de software de edición y simulación de modelos; estos programas pueden presentarse de forma individual (sólo edición/simulación) o integrada (el mismo programa edita y simula el modelo). Otro punto importante que hay que tomar en cuenta es el hecho de que hasta la fecha no se ha creado un lenguaje de programación de códigos G normalizado, es por ello que cada fabricante de máquinas CNC posee un lenguaje propio.
TERCERA CAPA	Interfaz (intérprete de códigos G + firmware del microcontrolador)	Esta interfaz consiste en dos secciones: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se requiere un intérprete de comandos Gcode. Este es básicamente, un programa que es capaz de procesar los distintos códigos G generados en el software de la capa anterior y los convierte en señales de control.</li> <li>2. Las señales de control generadas son enviadas a los drivers que controlan los dispositivos de salida.</li> </ol>
CUARTA CAPA	Hardware	Finalmente, la máquina obedece las instrucciones generadas a través del proceso descrito en las capas anteriores.

Tabla 2.4 Contenido de las capas.

### 2.2.3 Selección de componentes

Como ya describieron los componentes a utilizar, se debe proceder a seleccionar los más idóneos para nuestro propósito el cual es una fresadora CNC.

#### *A. motores*

La selección de los motores se realizó según los requerimientos de potencia obtenidos en el diseño mecánico de la máquina en la cual, se obtuvo una potencia crítica máxima de **2.59 W**.

Los motores seleccionados dadas estas características son los motores paso a paso unipolares, dado el alto grado de control y precisión que se puede obtener con ellos, rotando únicamente lo que el tren de pulsos enviado indique.

Con un motor de corriente directa no se podría tener la precisión de giro (medido en vueltas, grados, radianes etc.) que se puede alcanzar con los motores paso a paso. Dentro de esta selección de motores se puede encontrar una amplia gama de potencias a escoger, donde son claramente superados los parámetros de diseño (una potencia de 2.59 W, y una velocidad de 60 RPM) cumpliendo así de manera holgada los requerimientos mínimos de diseño.

Bajo las consideraciones mencionadas, se ha escogido el motor NEMA 23 el cual posee las siguientes características:

- Resolución: 1.8°/ 200 pasos
- 0.4 Amperios, 12 Voltios
- Torque 0.16 Kg.cm
- Potencia nominal: 4.8 Watts



Figura 2.24 Motor de paso seleccionado. Tamaño NEMA 23  
Fuente: [http://reprap.org/wiki/NEMA\\_17\\_Stepper\\_motor](http://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor).

### **B. Driver de Control**

Los circuitos controladores se encargan de la tarea de activar y desactivar la corriente a través de las bobinas del estator y/o de controlar la dirección de la misma.

El controlador o driver es el que regula el suministro de potencia que demanda el motor. El sistema de control lo ejecuta un microcontrolador, el cual suministra únicamente señales de baja potencia a los diferentes elementos conectados a él. La labor del driver es recibir señales y controlar en base a ellas los suministros de potencia del motor.

El controlador seleccionado para los diferentes motores de paso debe operar en el rango de voltaje y corriente necesario para garantizar un suministro de potencia efectivo.

Se optó por los controladores simples (un controlador para cada motor) por las siguientes condiciones:

- Son individuales por motor, es más fácil el mantenimiento en caso se dañe uno.

- Se controlan fácilmente desde el microcontrolador ya que las líneas pueden ser ubicadas de la forma más conveniente.

La figura 2.25 muestra el circuito electrónico necesario para lograr el control de motores NEMA 23 seleccionados.

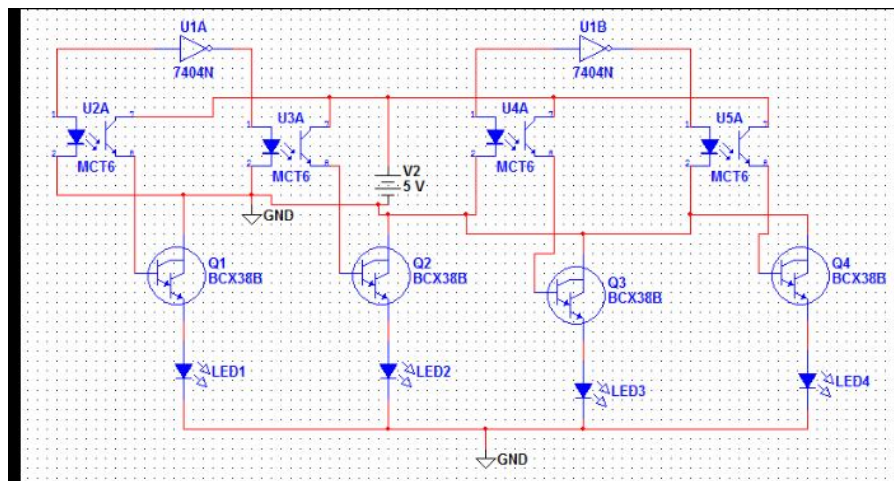


Figura 2.25 Circuito de driver de control.  
Fuente: Elaborado por Oscar Cruz.

Según se observa en la Figura 2.25, el circuito consta de los siguientes componentes:

### ✓ Compuertas Lógicas

Una **puerta lógica**, o **compuerta lógica**, es un dispositivo electrónico con una función booleana. Suman, multiplican, niegan o afirman, incluyen o excluyen según sus propiedades lógicas. Se pueden aplicar a tecnología electrónica, eléctrica, mecánica, hidráulica y neumática. Son circuitos de conmutación integrados en un chip.

El tipo de compuerta lógica que se ha tenido a bien utilizar del tipo NOT específicamente la 7404 que realiza la función booleana de negación o inversión de una variable lógica, esta compuerta está siendo tomada en cuenta para optimizar los puertos del micro controlador de esta manera se utilizaran solo dos salidas lógicas ( 1 puerto para cada bonina) del microcontrolador para poder controlar un motor, que por

lo se utilizan 4 salidas lógicas para poder controlarlo ( 2 puertos por cada bobina). En la Tabla 2.5 se muestra la tabla de verdad correspondiente compuerta lógica 7404.

Tabla de verdad	
Entrada	Salida
1	0
0	1

Tabla 2.5 Tabla de verdad compuerta 7404

### ✓ Opto-acopladores

Un **optoacoplador**, también llamado *optoaislador* o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico, normalmente en forma de fototransistor o fototriac. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un fotoemisor y un fotorreceptor cuya conexión entre ambos es óptica. Estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado que por lo general es del tipo DIP. Se suelen utilizar para aislar eléctricamente a dispositivos muy sensibles.

Para nuestro caso en específico, se han utilizado opto-acopladores con el objeto de aislar el módulo de control (microcontrolador) del módulo de potencia (alimentación de motores); esto es necesario debido a que por lo general, los microcontroladores se limitan a una alimentación de corriente máxima de del orden de los mili amperios y en caso de fallos, como bloqueo de motores donde la corriente demandada por los motores tiende a aumentar drásticamente, es necesario aislar al componente más sensible para protegerlo de una sobrecarga de corriente.

## ✓ Transistores

El **transistor** es un dispositivo electrónico semiconductor que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador.

Con el desarrollo tecnológico y evolución de la electrónica, la capacidad de los dispositivos semiconductores para soportar cada vez mayores niveles de tensión y corriente ha permitido su uso en aplicaciones de potencia. Es así como actualmente los transistores son empleados en convertidores estáticos de potencia, controles para motores y llaves de alta potencia (principalmente inversores), aunque su principal uso está basado en la amplificación de corriente dentro de un circuito cerrado.

Para la etapa de potencia el transistor que se utilizara es del tipo NPN específicamente es el integrado TIP 142 que cuenta con par DARLINGTON que servirá para tener una mayor ganancia de corriente, esto para tener un margen amplio en los motores que pueda controlar, lo anterior ayudara en gran medida en la selección de los motores, ya que se hace difícil encontrar motores con los requerimientos exactos que mostraron en la etapa de diseño mecánico.

## ***C. Microcontrolador***

El microcontrolador, como su nombre indica, recibe los datos de entrada de una pc, tablero, botonera o cualquier otro periférico de entrada de datos y los procesa en el programa que tenga cargado internamente.

Se debatió entre dos microcontroladores ATMEGA y Microchips, y se resolvió el uso del controlador **ATMEGA (de Atmel) en su plataforma ARDUINO**, dada su popularidad a nivel mundial con la cual se respalda por medio de una gran comunidad de desarrollo, la continuidad de este proyecto.



La plataforma Arduino tiene incorporados por defecto interfaces y circuitería, que de otra forma se tendría que agregar, como por ejemplo, regulador de voltaje, interfaz USB, puertos de conexión, esto da una gran facilidad de uso, y se garantiza la fidelidad de su funcionamiento.

Además es fácil de adquirir, es compatible con muchos periféricos y su costo es bajo, por lo tanto su reposición es sencilla.

El modelo seleccionado para el desarrollo de nuestra fresadora CNC es el **Arduino UNO**.



Figura 2.26 Arduino UNO  
Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

La plataforma Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el popular lenguaje de programación de alto nivel Processing. Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino. Algunos ejemplos son:

- Java
- Flash (mediante ActionScript)
- Processing

- Pure Data
- MaxMSP (entorno gráfico de programación para aplicaciones musicales, de audio y multimedia)
- VVVV (síntesis de vídeo en tiempo real)
- Adobe Director
- C y C++ (mediante libSerial o en Windows)
- Visual Basic .NET
- Gambas, entre otros.

Esto es posible debido a que Arduino se comunica mediante la transmisión de datos en formato serie que es algo que la mayoría de los lenguajes anteriormente citados soportan. Para los que no soportan el formato serie de forma nativa, es posible utilizar software intermediario que traduzca los mensajes enviados por ambas partes para permitir una comunicación fluida.

No obstante, otra de las características sobresalientes de este microcontrolador es que tiene dentro de sus librerías aplicaciones especiales para la manipulación de motores de paso unipolares y bipolares; además, tiene cargado en su interior un programa denominado skech (TxapucCNC\_RX) que se comunica con el programa de mando, decodifica los comandos Gcode y manda las señales de control a los motores paso a paso para que ejecuten las acciones.

Finalmente, dadas las características anteriores, se ha determinado que la plataforma ARDUINO se adecua de una muy buena forma a los requerimientos de este proyecto.

#### **D. Software**

De acuerdo al modelo de capas establecido en la sección 2.2.2, se tiene lo siguiente:

- **PRIMERA CAPA:** Programa para creación del modelo

Se cuenta con un programa llamado INSKAPE el cual es básicamente un CAD que permite crear un modelo del tipo vector. Acompañando a este programa se tiene la herramienta GCODE el cual es un preparador y convertidor de trayectos a Gcode.

Inkscape es un editor de gráficos vectoriales de código abierto, con capacidades similares a Illustrator, Freehand, CorelDraw o Xara X, usando el estándar de la W3C: el formato de archivo Scalable Vector Graphics (SVG).

Las características soportadas incluyen: formas, trazos, texto, marcadores, clones, mezclas de canales alfa, transformaciones, gradientes, patrones y agrupamientos. Inkscape también soporta meta-datos Creative Commons, edición de nodos, capas, operaciones complejas con trazos, vectorización de archivos gráficos, texto en trazos, alineación de textos, edición de XML directo y mucho más. Puede importar formatos como Postscript, EPS, JPEG, PNG, y TIFF y exporta PNG así como muchos formatos basados en vectores.

El objetivo principal de Inkscape es crear una herramienta de dibujo potente y cómoda, totalmente compatible con los estándares XML, SVG y CSS. También queremos mantener una próspera comunidad de usuarios y desarrolladores usando un sistema de desarrollo abierto y orientado a las comunidades, y estando seguros de que Inkscape sea fácil de aprender, de usar y de mejorar.

Sus características son las siguientes:

- La interfaz presenta todos los elementos a los que estamos acostumbrados y además usa multitud de atajos en forma de iconos que prácticamente se explican por sí solos al igual que en cualquier otro programa de dibujo.
- Los diseños son realizados en formato SVG (*Scalable Vector Graphic*) Inkscape podrá guardar toda la información relativa a los distintos objetos que lo componen.
- Una vez acabado su diseño será el momento de exportarlo en un formato de mapa de bits.

También, en esta capa se considera al software GCODETOOLS el cual, es un plug-in (editor vectorial) para INSKAPE. Prepara y convierte trayectos desde INSKAPE a Gcode, utilizando interpolación biarco. Sus características son las siguientes:

- Está escrito en PHYTON.
  - Puede correrse en las plataformas Windows, Linux y MacOS.
  - Exportación de Gcode en forma paramétrica y plana.
  - Utiliza interpolación lineal o circular.
- **SEGUNDA CAPA:** Programa de edición y simulación.

Se cuenta con un programa realizado en GAMBAS para sistemas LINUX denominado TxapucCNC\_TX. Este software consta de un editor de programas Gcode, un simulador para ver visualmente el funcionamiento de los programas que se realicen y un sub-programa de envío de comandos Gcode a la fresadora.

A continuación se describe cada uno de los módulos con los que cuenta este software:

Editor de programas	Es un sencillo editor de textos con resaltado para comandos Gcode, con una característica fundamental: envía por el puerto serie (ó USB con serie virtual) una a una las líneas del editor esperando previamente a recibir la señal de "OK" del Controlador (Arduino).
Simulador	Es un visualizador de programas Gcode (sólo 2D) que muestra el recorrido en el plano XY. Dispone de zoom, Desplazamiento, simulación rápida y con retardo, Simulación del diámetro de la fresa, etc.
Control	Es una consola de mando desde donde se puede manejar directamente la fresadora, moviendo los motores, activando el cabezal y las demás acciones referidas a la máquina.

Este programa reconoce archivos con coordenadas absolutas o relativas (G90/G81), en milímetros o pulgadas (G21/G20) y con parámetros (#). En la Figura 2.27 se muestra la pantalla de este software.



Figura 2.27 Pantalla principal de TxapuCNC\_TX.  
Fuente: tomada de la pantalla de Tapuc CNC.

- **TERCERA CAPA:** Interfaz de comunicación.

La interfaz está compuesta por el Arduino, el cual en su interior tiene cargado un programa denominado sketch (TxapucCNC\_RX) que se comunica con el programa de mando, decodifica los comandos Gcode y manda las señales de control a los motores paso a paso. Las señales de control serán amplificadas por unos drivers de potencia que controlan los motores y al cabezal de la fresadora (motor que hace girar al husillo). TxapuCNC\_RX se encarga de leer los comandos que le envía TxapuCNC\_TX, los interpreta (los comandos que conoce) y en consecuencia manda las órdenes oportunas a los drivers del CNC o al motor. Cuando la máquina llega a la posición de destino, TxapuCNC\_RX envía el mensaje de "ok" al PC para que TxapuCNC\_TX lo sepa, y pueda enviar el siguiente comando.

**NOTA:** La velocidad de los motores generada por TxapuCNC\_RX es constante, es decir no genera rampas de aceleración/deceleración que eviten fallos de sincronismo en el arranque y parada. Por lo que la velocidad máxima de los motores no podrá ser muy elevada.

La Tabla 2.5 muestra los comandos G reconocidos por Txapuzas CNC.

Para seleccionar los software descritos anteriormente, es necesario hacer mención que el criterio de selección dichos software se basó esencialmente, en que estuvieran bajo licencia libre; esta disposición se debe a la naturaleza del proyecto, ya que como se expuso en el perfil del mismo, el tipo de licencia a ser empleada es la licencia Creative Commons o CC, la cual permite:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra;
- hacer obras derivadas;
- hacer un uso comercial de esta obra.

Esto bajo las condiciones siguientes:

**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).

**Compartir bajo la Misma Licencia** — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

Además de esta facultad legal también se debe mencionar la necesidad de compatibilidad que requieren los software para su fiel funcionamiento.

Comando	Ejemplo	Descripción	TX	RX
G0	G0 X10	Movimiento lineal Rápido	Si	Si
G1,G01	G1 X10 Y15 Z0 [F100]	Movimiento lineal Controlado (Avance: 100)	Si	Si
G2,G02	G02 X80 Y30 I30 J-10 F02	Movimiento curvo (sentido horario) Controlado	Si	Si
G3,G03	G03 X80 Y30 I10 J20	Movimiento curvo (antihorario) Controlado	Si	Si
G4,G04	G4 P200	Pausa con retardo (Retardo: 200ms)	Si	Si
G20	G20	Definir Unidades en Pulgadas	Si	Si
G21	G21	Definir Unidades en milímetros	Si	Si
G28	G28	Ir a Origen	Si	Si
G30	G30 X10 Y20 Z30	Ir a Origen a través de un punto	Si	Si
G90	G90	Definir Coordenadas absolutas	Si	Si
G91	G91	Definir Coordenadas relativas	Si	Si
G92	G92	Definir punto actual como origen	Si	Si
M0	M0	Paro (Pausa programada)	Si	No
M3,M03	M3	Marcha del cabezal	Si	Si
M5,M05	M5	Paro del cabezal	Si	Si

Tabla 2.6 Comandos G reconocidos por Txapuzas CNC.

CAPÍTULO III  
CONSTRUCCION, PRUEBAS Y  
DEPURACION.

---



## 3.1 CONFIGURACIÓN MECÁNICA

### 3.1.1 Chasis

Inicialmente, en la sección 2.1.4 se considero que la carcasa o chasis de la maquina fuera de madera, pero, con el objeto de obtener una armazón más robusta que prolongue su vida útil, se tomo la decisión de fabricarla de tubo estructural cuadrado de 1" x 1". En la Figura 3.1 se muestra el chasis con sus dimensiones finales.

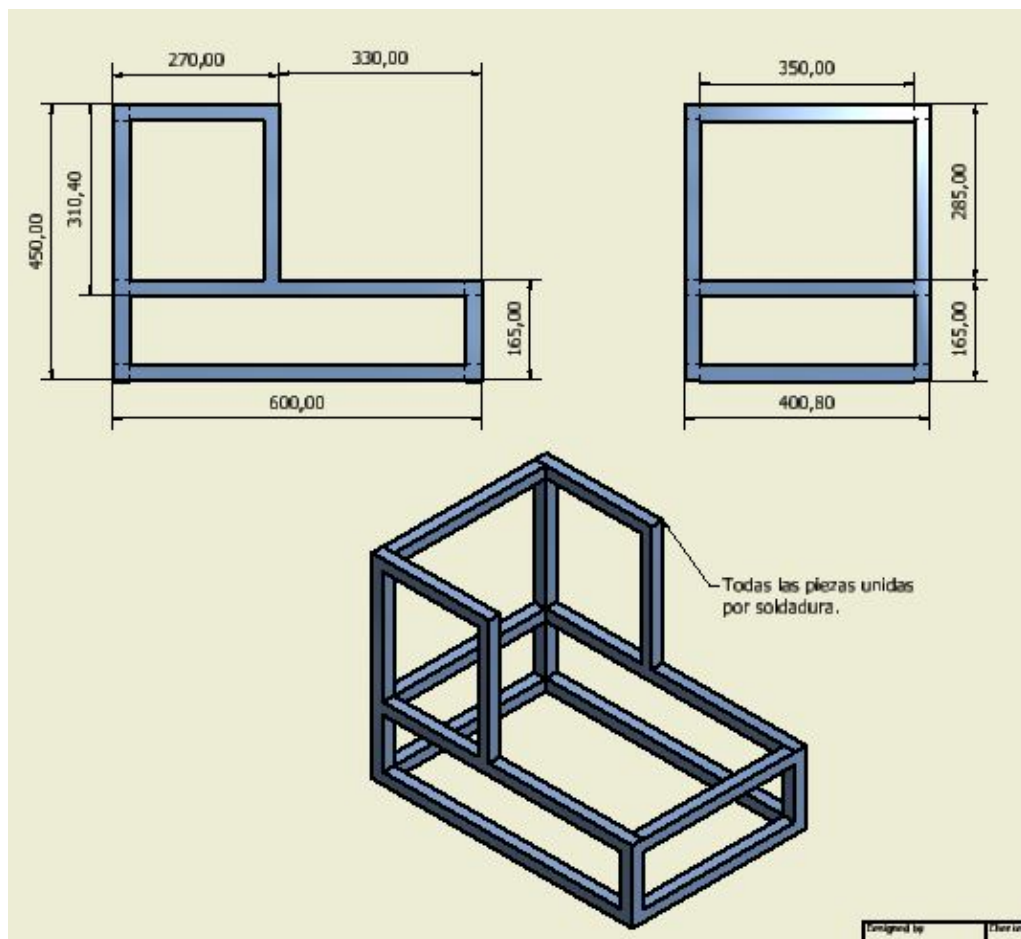


Figura 3.1 Estructura y dimensiones finales de Chasis.

Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra

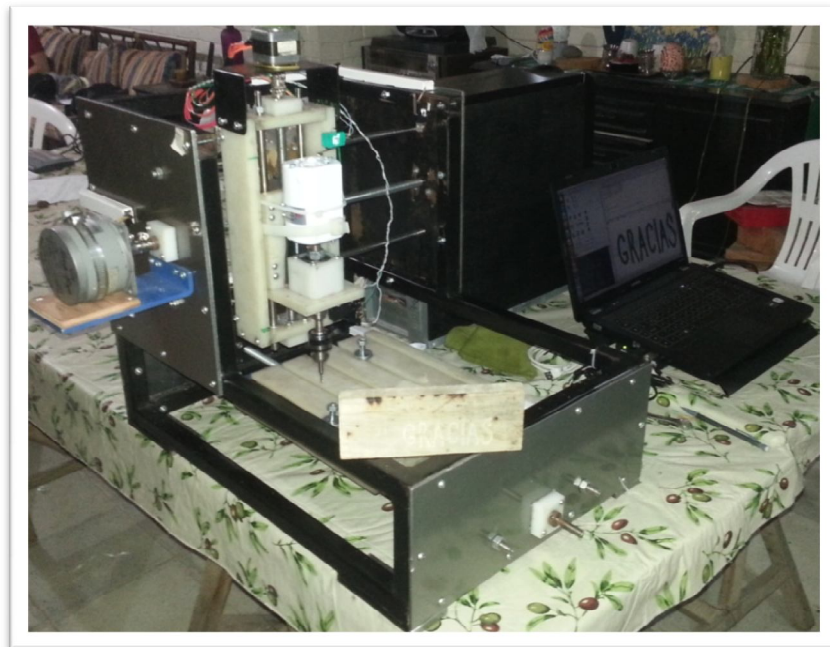
Se decidió utilizar la soldadura como medio de sujeción para las piezas del chasis debido a que esto le proporciona mayor rigidez a la estructura y por consiguiente,

reduce las posibles vibraciones que puedan ocasionarse al estar los motores en movimiento.

Para lograr el ensamble de las guías sobre las cuáles desliza el Cuerpo Móvil y la Mesa de Trabajo, se decidió utilizar lámina galvanizada de 1/4" de espesor ya que una lámina más delgada podría sufrir deformaciones provocadas por el mal manejo de las mismas; todas las placas de lámina se ensamblaron al chasis mediante sujeción por pernos, esto con el fin poder desmontar cualquiera de los elementos móviles en caso de falla.

Además, se considera como parte del chasis a la Caja de Control de la máquina, la cual es una caja de madera en la cual se alojan los dispositivos de control del sistema tales como: drivers, tarjeta Arduino, fuente de energía y otros componentes descritos el Capítulo II en las secciones del diseño eléctrico-electrónico.

La Figura 3.2 muestra el chasis completo.



*Figura 3.2 Chasis y Caja de Control.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra*

### 3.1.2 Mecanismo de desplazamiento.

#### *Collarines.*

Tal como se describió a lo largo del Capítulo II de este trabajo, el desplazamiento a lo largo de los ejes coordenados X, Y y Z, se logra a través de un sistema de guías y collarines; para el diseño mecánico, se considero la utilización de collarines cilíndricos elaborados de bronce fosforado para reducir al mínimo el rozamiento entre estos y las guías de acero. (Ver Figura 2.13)

Sin embargo, con objeto de facilitar la sujeción entre los collarines y el cuerpo móvil (hemos llamado cuerpo móvil al conjunto de elementos a desplazar a lo largo de los ejes coordenados), se desarrollo un nuevo diseño para los mismos, el cual se muestra en la Figura 3.2.

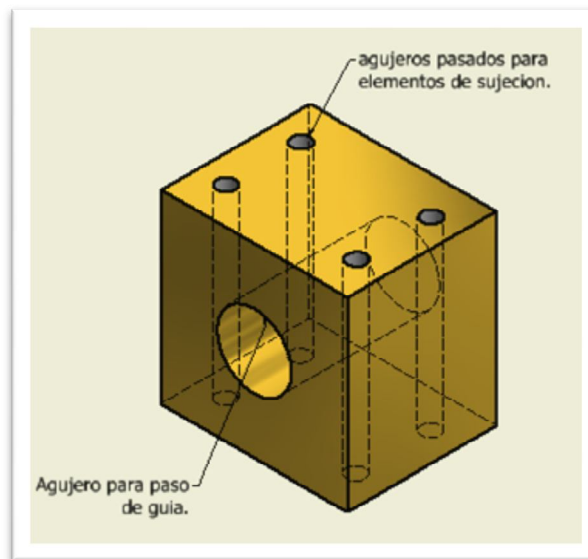


Figura 3.3 Esquema de collarines.

Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra

Se observo que un collarín se sección cuadrada era mucho más fácil de sujetar al cuerpo móvil que uno de sección circular dando como resultado una sujeción más rígida; pero en el mercado nacional, no fue posible encontrar barras cuadradas de

bronce fosforado para la elaboración de los collarines, por lo tanto, en base a las características requeridas, se selecciono como nuevo material al TIVAR 1000, el cual, es uno de los polímeros de ingeniería con una única combinación de resistencia al desgaste y a la corrosión, superficie de baja fricción y resistencia al impacto. En la Tabla 3.1 se muestran sus propiedades mecánicas.

<b>Quadrant EPP TIVAR® 1000 Natural Virgin UHMW-PE</b>			
<b>Physical Properties</b>	<b>Metric</b>	<b>English</b>	<b>Comments</b>
Specific Gravity	0.93 g/cc	0.0336 lb/in <sup>3</sup>	ASTM D792
Water Absorption	Max 0.01 %	Max 0.01 %	Immersion, 24hr; ASTM D570(2)
Water Absorption at Saturation	Max 0.01 %	Max 0.01 %	Immersion; ASTM D570(2)
<b>Mechanical Properties</b>			
Hardness, Shore D	66	66	ASTM D2240
Tensile Strength, Ultimate	40 MPa	5800 psi	ASTM D638
Elongation at Break	300 %	300 %	ASTM D638
Tensile Modulus	0.689 GPa	100 ksi	ASTM D638
Flexural Modulus	0.758 GPa	110 ksi	ASTM D790
Flexural Yield Strength	24.1 MPa	3500 psi	ASTM D790
Compressive Strength	20.7 MPa	3000 psi	10% Def., 73°F; ASTM D695
Compressive Modulus	0.552 GPa	80 ksi	ASTM D695
Shear Strength	33.1 MPa	4800 psi	ASTM D732
Coefficient of Friction	0.12	0.12	Dry vs. Steel; QTM55007
Limiting Pressure Velocity	0.0701 MPa-m/sec	2000 psi-ft/min	4:1 safety factor; QTM 55007
Izod Impact, Notched	NB	NB	ASTM D256 Type A

Tabla 3.1 Cuadro de propiedades mecánicas del TIVAR 1000.

Fuente: [http://www.sabic.cl/contenido.php?id\\_articulo=77&id\\_categoria=6](http://www.sabic.cl/contenido.php?id_articulo=77&id_categoria=6).

En la Figura 3.4 se muestran los collarines de TIVAR 1000 fabricados en la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica UES.



Figura 3.4 Collarines de TIVAR 1000

Fuente: fotografía tomada por Néstor Meza

### **Guías**

Las guías se fabricaron con acero inoxidable AISI 304, en la Figura 3.4 se muestran las guías terminadas.



*Figura 3.5 Juego de guías elaboradas de Acero Inoxidable.*

*Fuente: Fotografía tomada por Ricardo Herrera.*

### **3.1.3 Cabezal.**

El cabezal de la maquina está compuesto por dos conjuntos de piezas:

1. El porta-herramientas, el cual debe desplazarse a través del eje Z de la maquina; Figura 3.6.
2. El Cuerpo Móvil, sobre el cual está montado el porta-herramientas y debe desplazarse a lo largo del eje Y de la maquina. Figura 3.7.

En la Figura 3.8 se muestra el prototipo del cabezal; inicialmente, en la sección del diseño mecánico, se propuso elaborarlo con madera, con el propósito de minimizar la inercia de la carga a superar por los motores de paso. Sin embargo, con objeto de incrementar la vida útil del mismo, su fabricación se ha llevado a cabo con nylon que también es un material liviano.

Finalmente, en la Figura 3.9 se muestra el cabezal se muestra el Cabezal de la máquina terminado y ensamblado.

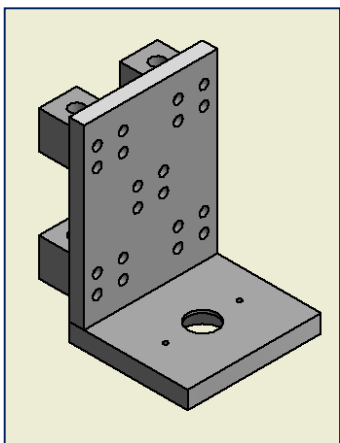


Figura 3.6 Prototipo de porta-herramientas.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

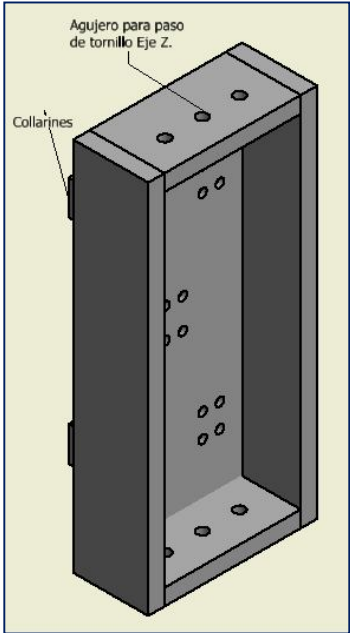


Figura 3.7 Cuerpo Móvil.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

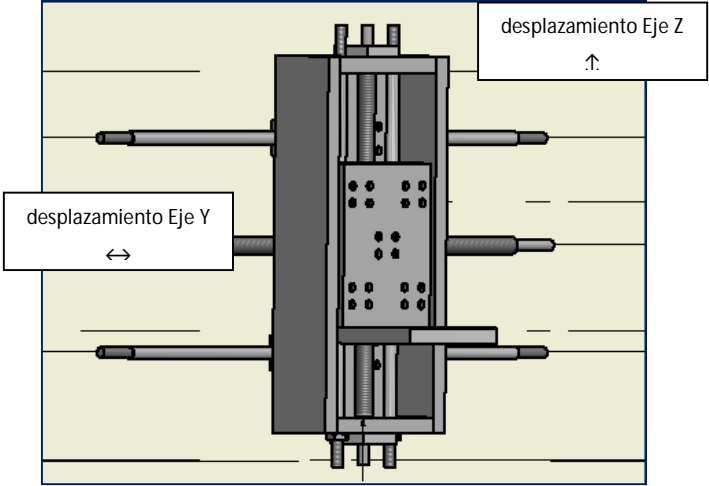


Figura 3.8 Prototipo del Cabezal.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.



*Figura 3.9 Cabezal Final*

*Fuente: Fotografía tomada por Rebeca Guerra.*

### **3.1.3.1 Acople Motor-Husillo**

En la Figura 3.9 se puede observar que se encuentra montado el motor del cabezal a utilizar para hacer girar el husillo; inicialmente, se planteó la posibilidad de utilizar una herramienta manual como la mostrada en la Figura 3.10 para dicho fin, sin embargo, con objeto de reducir la masa del Cabezal para que el motor del Eje Z trabaje con menor carga, se optó por la implementación de un motor AC de máquina de coser con una potencia de 90 W, ver Figura 3.11.

La Dremel 200 Series es la herramienta ideal para iniciarse en el mundo de Dremel. Su utilización es sencilla y cómoda, y ofrece la calidad y fiabilidad de Dremel a un precio muy asequible. Esta herramienta es compatible con todo tipo de accesorios y complementos y, gracias a los accesorios incluidos para lijar, realizar cortes en metal y amolar, el usuario podrá empezar a trabajar con ella de inmediato.



Figura 3.10 Herramienta manual de Corte

Fuente: [http://www.dremeleurope.com/es/es/ocs/category/6010/dremel®-200-series;jsessionid=025C7F31518F3524ECE33E7223131878.sI021-vm\\_1](http://www.dremeleurope.com/es/es/ocs/category/6010/dremel®-200-series;jsessionid=025C7F31518F3524ECE33E7223131878.sI021-vm_1)



Figura 3.11 Motor DC a utilizar para husillo.

Fuente: Fotografía tomada por Néstor Meza.

Por otra parte, la utilización de una herramienta manual representaba el inconveniente de la utilización de fresas con vástagos estándar y diámetros de corte limitados por las mordazas de la misma; el problema fue resuelto mediante la implementación de un husillo compuesto mediante el "shock" de un taladro (ajustable a vástagos desde 1/16"-1/4") ensamblado a un cilindro con rosca en un extremo que se acopla



directamente al eje del motor AC mediante un sistema de prisionero tal y como se muestra en la Figura 3.12.



*Figura 3.12 Detalle de Husillo.*

*Fuente: Fotografía tomada por Néstor Meza.*

El husillo mostrado permite trazos de mayor precisión debido a que está perfectamente ajustado para que no exista ningún juego al momento de la ejecución del corte en cualquiera de las direcciones; además, por la robustez del mismo, se garantiza un mejor desempeño para soportar las fuerzas de corte y la protección del eje del motor ante cualquier sobreesfuerzo imprevisto.

Además, para evitar el cabeceo de la herramienta, se ha dispuesto un sistema de rodamientos que aseguran el alineamiento del eje en todo momento.

La Figura 3.13 muestra el sistema de rodamientos utilizado.



*Figura 3.13a Cubo con rodamientos del husillo.*

*Fuente: Fotografía tomada por Néstor Meza.*

Finalmente, en la a Figura 3.13b se muestra el mecanismo del husillo completo.

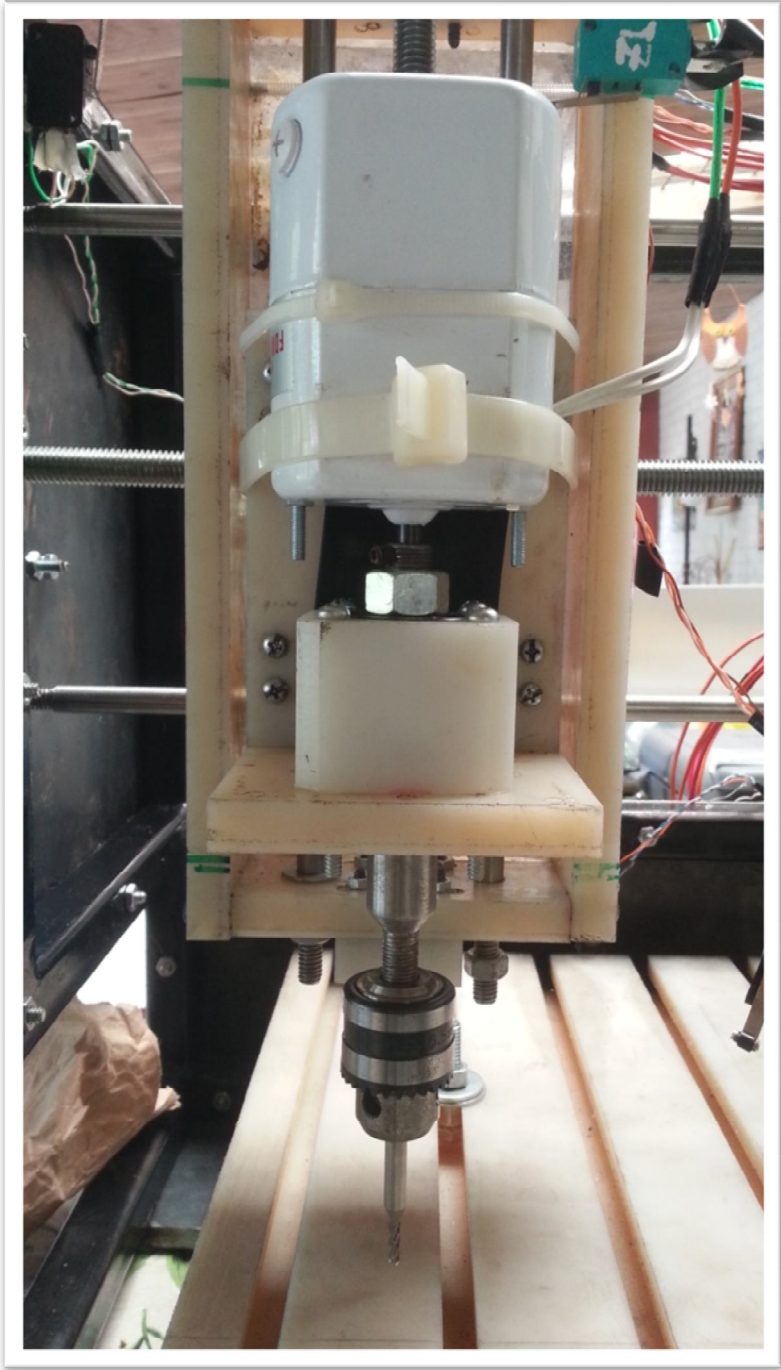


Figura 3.13b se muestra el mecanismo del husillo completo.  
Fuente: fotografía tomada por Néstor Meza

### 3.1.4 Mesa de Trabajo

La mesa de trabajo fue elaborada con Nylon de acuerdo a las medidas establecidas en la Sección 2.1.3, respecto al diseño inicial, el único cambio que presenta es el cambio de material con el cual ha sido fabricada, ya que inicialmente se planteo utilizar madera para este fin.

Además, con el propósito de lograr una buena sujeción de la pieza a trabajar, se decidió elaborar una mesa con ranuras que permitan el uso de tornillos de fijación para la sujeción adecuada de las piezas. En la Figura 3.14a se muestra la parte superior de la mesa y en la Figura 3.14b se muestra la parte inferior de la misma en la cual se encuentran ya colocados sus respectivos collarines y tuerca.

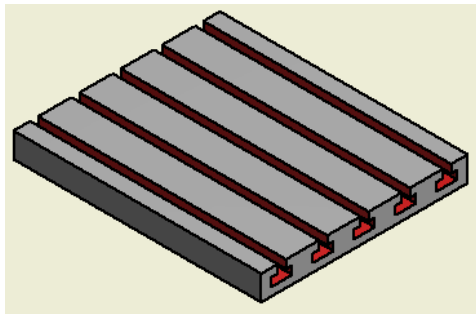


Figura 3.14a Mesa de Trabajo: detalle de ranuras.

Fuente: Elaborado por Oscar Cruz

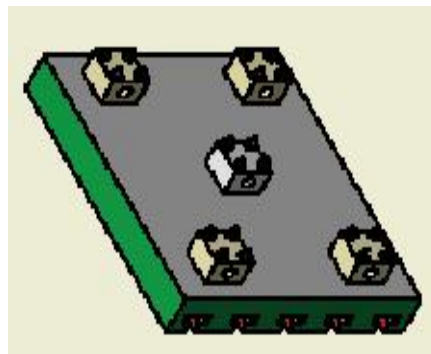


Figura 3.14b Mesa de Trabajo: detalle de acople de collarines y tuerca.

Fuente: Elaborado por Oscar Cruz.

### 3.1.5 Transmisión de Potencia

En la Sección 2.1.5 se diseñó el sistema de transmisión de potencia en base la asunción de algunos parámetros importantes tales como el diámetro y paso del tornillo y coeficiente fricción tornillo-tuerca; dichos parámetros asumidos para iniciar el análisis de diseño dieron como resultado final los datos mostrados en la Tabla 3.2.

<b>Potencia Requerida según diseño</b>	
<b>Sección 2.1.5</b>	
<b>Tornillo Eje X</b>	2.00 W
<b>Tornillo Eje Y</b>	2.75 W
<b>Tornillo Eje Z</b>	2.75 W
<b>Parámetros asumidos Sección 2.1.5</b>	
<b>Diámetro del tornillo</b>	12.70 mm (1/2")
<b>Paso del tornillo (seleccionado de la Tabla del Anexo 2)</b>	3.90 mm
<b>Coefficiente de fricción tornillo-tuerca (acero/acero)</b>	$\mu = 0.25$

Tabla 3.2 Resultados del diseño Sección 2.1.5.

Tal y como puede observarse en la Tabla del Anexo 2, los pasos mostrados son para tornillos de potencia de rosca cuadrada; sin embargo, en el mercado nacional no fue posible encontrar un tornillo con tales características y la fabricación del mismo resultaba ser complicada debido a que en el 100% de los talleres visitados nos expresaron que para hacer una rosca de ese tipo (la común es la triangular) se requería que el tornillo tuviera un diámetro de por lo menos 1" y dadas las longitudes deseadas para cada tornillo, los costos se incrementaban demasiado.

Por las condiciones arriba descritas, se optó por colocar varilla roscada comercial en lugar de tornillos de rosca cuadrada y de este modo solventar el inconveniente.

Además, las tuercas para los tonillos fueron elaboradas en Tivar 1000 (el mismo material de las camisas) con objeto de obtener un coeficiente de fricción similar al considerado en el diseño inicial.

obviamente, el cambio de estos elementos representa el cambio de los parámetros de diseño y por consiguiente ha sido necesario rediseñar el sistema por completo.

A continuación se exponen los nuevos cálculos.

### **3.1.5.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN EJE X**

#### **Fuerzas Gravitacionales**

En primer lugar, se debe calcular la masa total que deberá ser capaz de mover el tornillo, esta es la siguiente:

$$m_{total} = m_{\text{mesa de trabajo}} + m_{\text{volumen de trabajo}} + m_{\text{otros accesorios}}$$

Dónde:  $m_{\text{mesa de trabajo}} = \rho_{\text{nylon}} \times V_{\text{mesa}}$

$$m_{\text{mesa de trabajo}} = 1150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (0.25 \times 0.30 \times 0.04) \text{m}^3$$

$$m_{\text{mesa de trabajo}} = 3.45 \text{ kg}$$

La densidad utilizada para el cálculo anterior es la correspondiente a la del polímero Nylon.

Luego:  $m_{\text{volumen de trabajo}} = \rho_{\text{madera}} \times V_{\text{trabajo}}$

$$m_{\text{volumen de trabajo}} = 530 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (0.20 \times 0.25 \times 0.04) \text{m}^3$$

$$m_{\text{volumen de trabajo}} = 1.06 \text{ kg}$$

En este caso, el valor de la densidad es de  $530 \frac{kg}{m^3}$  la cual corresponde a la madera de pino.

Arbitrariamente, se ha supuesto una masa de 2 kg para el conjunto de los demás accesorios que llevará la mesa. Con lo anterior se tiene lo siguiente:

$$m_{total} = 3.45 + 1.06 + 2$$

$$m_{total} = 6.51 \text{ kg}$$

Por lo tanto, el peso total será  $F_{WX} = m_{total} \times g$

$$F_{WX} = 6.51 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 63.86 \text{ N}$$

### Fuerzas De Rozamiento

También, es importante considerar que debido a que la mesa de trabajo se desplaza mediante un sistema de guías y collarines lubricados, se generan fuerzas viscosas debidas a la interacción de los mismos tal como se muestra en la Figura 3.15.



Figura 3.15 Diagrama de fuerzas que actúan sobre cada guía.

Del diagrama se tiene,

$$P = \frac{F_{WX}}{4} = \frac{63.86 \text{ N}}{4} = 15.96 \text{ N}$$

Donde,  $P$  : fuerza de rozamiento en cada collarín.

$F_{WX}$  : peso total en el eje x.

NOTA: el peso total del peso ha sido dividido entre cuatro debido a que, la mesa será movida por el sistema tornillo-tuerca, el cual, idealmente no soporta carga; la carga total del eje x debe ser soportada por dos guías que tendrán dos collarines cada una.

Ahora bien, el coeficiente de rozamiento del TIVAR 1000 a utilizar para esta aplicación, será de 0.25, este valor ha sido tomado de la Tabla del Anexo 4.

De este modo, se tiene lo siguiente:

$$F_{rx} = 15.96 \text{ N} \times 0.25 = 3.99 \text{ N}$$

Como son 4 collarines,

$$F_{rx \text{ total}} = 3.99 \times 4 = 15.96 \text{ N}$$

### **Fuerzas Inerciales**

Además, también es necesario considerar fuerza inercial debida a la traslación de la mesa de trabajo y todos sus componentes, la cual se determina mediante la expresión siguiente:

$$F_i = m \cdot a$$

Donde,  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , y se ha considerado un  $\Delta t = 0.10 \text{ s}$  debido a que se está trabajando con un motor eléctrico para lograr el movimiento de la mesa.

De este modo,

$$F_i = 6.51 \text{ kg} \times \frac{4.61 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.10 \text{ s}} = 0.30 \text{ N}$$

## Tornillo De Potencia

Ahora bien, con los datos obtenidos se puede determinar la magnitud del torque que debe generar el tornillo de potencia para superar la carga, esto mediante la expresión que se muestra a continuación:

$$T_C = \frac{d_w W}{2} \left[ \frac{\tan \lambda + \mu}{1 - \mu \tan \lambda} \right] + \frac{\mu_c d_{wc} W}{2}$$

Donde,  $W$  es la carga total que debe superar el tornillo.

$$W = F_{corte} + F_{rozamiento} + F_{inercial}$$

Para la fuerza de corte, se ha tomado el valor de la fuerza aplicada durante los ensayos, la cual fue de 6 Lbf, equivalente a 26.75 N.

De este modo,

$$W = (26.75 + 15.96 + 0.30)N = 43.01 N$$

$\mu$  es el coeficiente de fricción entre la tuerca y el tornillo, se ha determinado que debido a falta de datos de coeficientes de rozamiento entre TIVAR 1000 y acero se ha supuesto un valor de  $\mu = 0.25 = \mu_c$ .

También  $\tan \lambda = \frac{P}{\pi d_w}$ , donde P es el paso del tornillo; se ha determinado que se utilizará un tornillo de 1/2" (12.70 mm) de diámetro y de acuerdo a esta dimensión, el paso del tornillo es de 2.0 mm. Finalmente,  $d_w$  es el diámetro medio del tornillo el cual se obtiene a partir de la expresión mostrada:

$$d_w = d - \frac{p}{2} = 12.70 - \frac{2}{2} = 11.7 \text{ mm}$$

De este modo,  $\tan \lambda = \frac{2.0}{\pi \times 11.7} = 0.054$



Con todos los valores de las variables encontrados, se obtiene lo siguiente:

$$T_{\text{tornillo}} = \frac{0.0117m \times 43.01 N}{2} \left[ \frac{0.054 + 0.25}{1 - 0.25 \times 0.054} \right] + \frac{0.25 \times 0.0117 m \times 43.04 N}{2}$$

$$T_{\text{tornillo}} = 14.04 N \cdot cm$$

Además, el tornillo también debe superar la carga inercial debida a su propia rotación, esta se calcula según la expresión que se muestra:

$$T_i = I\alpha$$

Donde,  $I = \frac{1}{2}mr^2 = \frac{1}{2}\rho Vr^2$  (según tablas de materiales, para el  
acero  $\rho = 7850 \frac{kg}{m^3}$ )

$$I = \frac{1}{2} \left( 7850 \frac{kg}{m^3} \right) \left( \frac{\pi}{4} 0.0127^2 \right) (0.50) (0.00635^2) = 1.0024 \times 10^{-5} kg \cdot m^2$$

Para calcular la aceleración angular se supondrá que el tiempo que el motor eléctrico requiere para llegar a su velocidad de operación es de 0.10 s. por lo tanto, el valor de la aceleración angular será el siguiente:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{2\pi \text{ rad/s}}{0.10 \text{ s}} = 62.83 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Ahora,  $T_i = (1.0024 \times 10^{-5} kg \cdot m^2) (62.83 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2})$

$$T_i = (6.2980 \times 10^{-5}) N \cdot m$$

$$T_i = 0.006298 N \cdot cm$$

Finalmente, el torque total necesario para mover la mesa viene dado por la suma de los dos torque calculados anteriormente:

$$T_T = T_{carga} + T_{inercial} = (14.04 + 0.006298)N \cdot cm$$

$$T_{TX} = 14.46 N \cdot cm$$

### Selección del material del tornillo.

Si bien es cierto que ya se había definido que el material del tornillo es acero, es necesario comprobar la selección mediante las expresiones siguientes:

Expresión	desarrollo	resultado
$\sigma = \frac{3WP}{\pi d_m Q^2}, \quad Q = \frac{p}{2}$	$\sigma = \frac{3(43.01)(0.002)}{\pi(0.0117)0.001^2}$	$\sigma = 7.02 MPa$
$\tau = \frac{W}{\pi d_m Q}$	$\tau = \frac{43.01}{\pi(0.0117)(0.001)}$	$\tau = 1.17 MPa$
$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \left[ \frac{\sigma^2}{2} + \tau^2 \right]^{1/2}$	$\sigma_{1,2} = \frac{7.02}{2} \pm \left[ \frac{7.02^2}{2} + 1.17^2 \right]^{1/2}$	$\sigma_1 = 8.60 MPa,$ $\sigma_2 = -1.58 MPa$
$S_{sy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$	$S_{sy} = \frac{8.6 - (-1.58)}{2}$	$S_{sy} = 5.09 MPa$

Tabla 3.3 Esfuerzos determinados para Eje X (re-diseño)

Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia; se ha utilizado acero inoxidable AISI 304 con objeto de evitar los problemas de oxidación inherentes a los demás aceros y de esta forma evitar el uso de pintura o algún otro recubrimiento que afecte el coeficiente de fricción considerado para los cálculos.

### Diagramas de cortante y momento flector para guías eje x.

A continuación, se presenta el análisis de cortante y momento flector para el eje x; por medio de estos diagramas se determinará la deflexión máxima que tendrán las guías de este eje.

En la Figura 2.10 se presenta el diagrama de fuerza cortante.

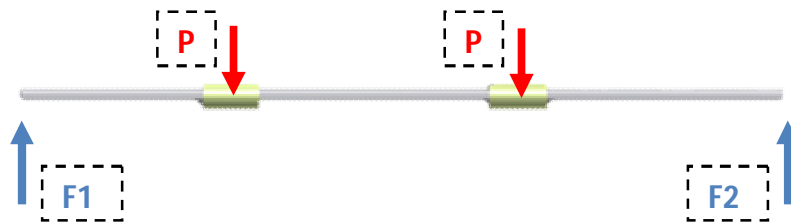


Figura 3.16 Diagrama de fuerza cortante en guías del Eje X.

Del análisis para las fuerzas de rozamiento, se conoce que  $P = 15.96 \text{ N}$ ; luego, encontrando las reacciones en cada guía,

$$\Sigma M_1 = 0; \quad 15.96 \times 187.33 + 15.96 \times 374.66 - F_2 \times 562 = 0$$

$$F_2 = 15.96 \text{ N}$$

Luego, bajo la condición de equilibrio en Y,  $\Sigma F_y = 0$ ;  $F_1 = 15.96 \text{ N}$

La Figura 3.17 presenta el diagrama de fuerza cortante sobre la guía.

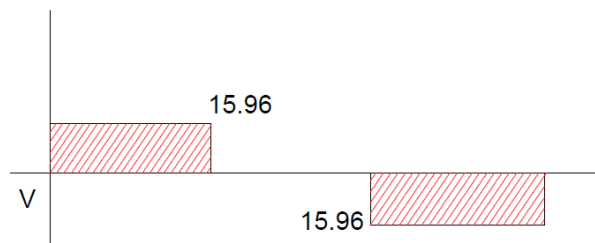


Figura 3.17 Diagrama de Fuerza Cortante (en N) sobre las guías del eje X.

A partir del diagrama mostrado en la Figura 3.17, se obtiene el diagrama de Momento Flector, el cual se presenta en la Figura 3.18.

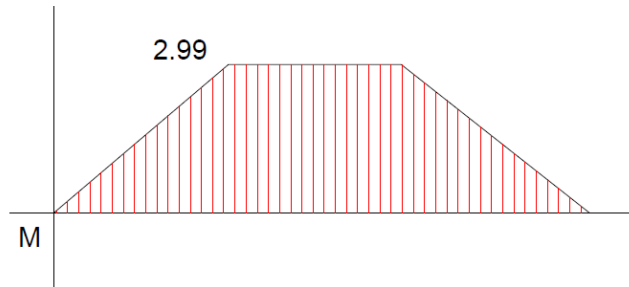


Figura 3.18 Diagrama de Momento Flector (en N-m) para guías Eje X.

Ahora, con la siguiente expresión se determinará el esfuerzo flexionante producido en la guía,

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{3.1} = \frac{32(2.99)}{\pi (0.0127)^3} = \mathbf{14.86 MPa}$$

Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia.

### **Potencia para motor paso a paso eje X.**

Ahora bien, la potencia que demanda el tornillo es la siguiente:

$$P_{OTn} = T_{TOTAL} \times \omega = \left( \frac{14.46 \text{ N} \cdot \text{cm}}{\frac{100}{1\text{m}}} \right) (2\pi \text{ rad/s})$$

$$P_{OTn} = 0.90 \text{ W}$$

Luego, la potencia neta debe ser calculada tomando en cuenta lo siguiente:

La eficiencia de la transmisión del tornillo es la siguiente,

$$e = \frac{WL}{2\pi T} = \frac{43.01 \times 2 \times 10^{-3}}{2\pi \times 0.1446} = 0.09$$

TIPO	VALOR	FACTOR
eficiencia del tornillo (= WL/2T)	0.09	1.91
eficiencia del motor	0.90	1.10
Factor de servicio		1.5

Por lo tanto,  $P_{OTr} = 1.91 \times 1.10 \times 1.5 \times 0.9 = 2.027W \cong 2.83W$

**Se concluye que la potencia necesaria en el motor para que el mecanismo funcione acorde al diseño es de 3.0 W.**

### **3.1.5.2 SISTEMA DE TRANSMISIÓN EJE Y**

Consideraciones preliminares.

- Velocidad de corte o de avance: 4.61 mm/s= 4.61x10<sup>-3</sup>m/s
- Tiempo de respuesta del motor: 0.1 s
- Masa del motor : 0.424 Kg
- Masa de un motor de paso (peso aproximado): 0.20 Kg
- Masa de las guías : 0.8 Kg
- Masa sistema tornillo-tuerca : 0.45 Kg
- Masa porta-herramientas (calculada en base a densidades y dimensiones es de 1.10 Kg sobredimensionando): 1.5 Kg
- Masa de otros elementos: 2.0 Kg

## Fuerzas Gravitacionales

En primer lugar, se debe calcular la masa total que deberá ser capaz de mover el tornillo, esta es la siguiente:

$$m_{total Y} = m_{motor} + m_{guias} + m_{motor\ eje\ z} + m_{porta-herramienta}$$

$$+ m_{otros\ accesorios} + m_{tornillo+tuerca}$$

$$m_{total Y} = (0.424 + 0.8 + 0.2 + 1.5 + 2.0 + 0.45)Kg$$

$$m_{total Y} = 5.37 Kg$$

Por lo tanto, el peso total será  $F_{Wy} = m_{total y} \times g$

$$F_{Wy} = 5.37 kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 52.67 N$$

## Fuerzas De Rozamiento

Para determinar las fuerzas de rozamiento que actúan par el eje Y, se tomarán las mismas consideraciones que para el eje X anteriormente desarrollado.

Por lo tanto,

$$P = \frac{F_{Wy}}{4} = \frac{52.67 N}{4} = 13.16 N$$

De este modo, se tiene lo siguiente:

$$F_{ry} = 13.16 N \times 0.25 = 3.29 N$$

Como son 4 collarines,

$$F_{ry\ total} = 3.29 \times 4 = 13.16 N$$

## Fuerzas Inerciales

Fuerzas inerciales ( $F_i$ ). 
$$F_i = ma = 5.37 \times \frac{4.61 \times 10^{-3}}{0.1} = \mathbf{0.247 N}$$

## Tornillo De Potencia

Para el desarrollo del cálculo en esta sección, se tomarán las mismas consideraciones y valores tomados para los cálculos del tornillo de potencia del Eje X calculado anteriormente.

Por lo tanto, la ecuación de torque para que el tornillo pueda subir la carga es:

$$T_c = \frac{d_w W}{2} \times \left[ \frac{\tan \lambda + \mu}{1 - \mu \tan \lambda} \right] + \frac{\mu_c d_{wc} W}{2}$$

También, Teniendo en cuenta que:

$$W = F_{iy} + F_{ry} + F_c = 0.247 + 13.16 + 26.75 = 40.16 N$$

$$\tan \lambda = \frac{NP}{\pi d_w} ; d_w = d - \frac{P}{2} = d_w = 12.7 - \frac{2.0}{2} = 11.7 \text{ mm} = 0.0117 \text{ m}$$

$$\tan \lambda = \frac{1 \times 2}{\pi \times 11.7} = 0.054$$

Sustituyendo los respectivos datos en la ecuación de torque para el tornillo de potencia:

$$T_c = \frac{0.0117 \times 40.16}{2} \times \left[ \frac{0.054 + 0.25}{1 - 0.25 \times 0.054} \right] + \frac{0.25 \times 0.0117 \times 40.16}{2} = 13.11 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

Para calcular el torque total que deberá manejar el motor, se necesita saber el valor del torque generado debido a la rotación de tornillo, este torque se calcula de la siguiente manera:

$$I = \frac{MR^2}{2} = \frac{\gamma VR^2}{2g} = \frac{\gamma \pi R^2 LR^2}{2g} = \frac{\gamma \pi R^4 L}{2g}$$

$$I = \frac{76.5 \times 10^3 \times \pi \times (6.35 \times 10^{-3})^4 \times 0.430}{2 \times 9.81} = 8.5639 \times 10^{-6}$$

$$T_i = I \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = 8.5639 \times 10^{-6} \times \frac{6.283}{0.1} = 5.38 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque máximo que deberá manejar el motor de paso es la sumatoria de los torques antes calculados.

$$T_T = 0.1311 + 5.38 \times 10^{-4} = 0.1316 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_{TY} = 13.16 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

### Selección del material del tornillo.

Al igual que para el Eje X, es necesario comprobar la selección mediante las expresiones siguientes:

Expresión	desarrollo	resultado
$\sigma = \frac{3WP}{\pi d_m Q^2}, \quad Q = \frac{p}{2}$	$\sigma = \frac{3(40.16)(0.002)}{\pi(0.0117)0.001^2}$	$\sigma = 6.55 \text{ MPa}$
$\tau = \frac{W}{\pi d_m Q}$	$\tau = \frac{40.16}{\pi(0.0117)(0.001)}$	$\tau = 1.09 \text{ MPa}$
$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \left[ \frac{\sigma^2}{2} + \tau^2 \right]^{1/2}$	$\sigma_{1,2} = \frac{6.55}{2} \pm \left[ \frac{6.55^2}{2} + 1.09^2 \right]^{1/2}$	$\sigma_1 = 8.03 \text{ MPa},$ $\sigma_2 = -1.48 \text{ MPa}$
$S_{sy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$	$S_{sy} = \frac{8.03 + 1.48}{2}$	$S_{sy} = 4.755 \text{ MPa}$

Tabla 3.4 Esfuerzos determinados para Eje Y (re-diseño)

Al igual que para las guías del Eje X, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos y por las ventajas anteriormente explicadas, también se ha utilizado acero AISI 304 para estas guías.



### Potencia para motor paso a paso eje Y.

Ahora bien, la potencia que demanda el tornillo es la siguiente:

$$P_{OTn} = T_{TOTAL} \times \omega = \left( \frac{13.16 \text{ N} \cdot \text{cm}}{\frac{100}{1\text{m}}} \right) (2\pi \text{ rad/s})$$

$$P_{OTn} = 0.826 \text{ W}$$

Luego, la potencia neta debe ser calculada tomando en cuenta lo siguiente:

La eficiencia de la transmisión del tornillo es la siguiente,

$$e = \frac{WL}{2\pi T} = \frac{40.16 \times 2 \times 10^{-3}}{2\pi \times 0.1316} = 0.09$$

TIPO	VALOR	FACTOR
eficiencia del tornillo (= WL/2T)	0.09	1.902
eficiencia del motor	0.90	1.10
Factor de servicio		1.5

Por lo tanto,  $P_{OTt} = 1.902 \times 1.10 \times 1.5 \times 0.826 = 2.59\text{W}$

**Se concluye que la potencia necesaria en el motor para que el mecanismo funcione acorde al diseño es de 2.75 W.**

### Diagramas de cortante y momento flector para guías eje y.

A continuación, se presenta el análisis de cortante y momento flector para el eje y; por medio de estos diagramas se determinará la deflexión máxima que tendrán las guías de este eje.

La configuración que presentan las guías para el eje Y, es la que se muestra en la Figura 3.19, en la figura se observa la parte trasera del bloque que contendrá el porta-herramientas.

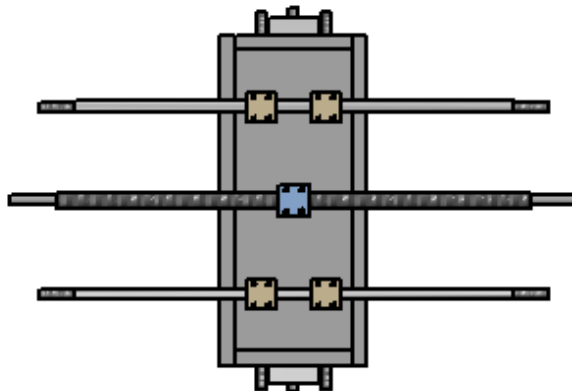


Figura 3.19 Configuración de guías Eje Y final.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

En base a la configuración mostrada, la distancia vertical entre guías es de 10 cm (100 mm), tomando algunas consideraciones tales como que el centro de gravedad de todo el peso que soportara el eje "y" está a aproximadamente 4.5 cm y esta aplicada en el centro de ambas guías, también se debe de tomar en cuenta lo que es la fuerza de corte ya que influye en lo que son los esfuerzos, en la Figura 3.20 se muestra el diagrama de cuerpo libre.

A partir del DCL de la Figura 3.20, se tiene lo siguiente:

Determinando las reacciones en las guías:

$$\sum M_B = 0 \quad 52.67(0.045) + 26.68(0.1) - P_1(0.1) = 0$$

$$P_1 = 50.38 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0 \quad 52.67(0.045) + 26.68(0.1) - P_3(0.1) = 0$$

$$P_3 = 50.38 \text{ N}$$

Por análisis de equilibrio se determinar que,  $P_2 = P_4 = 26.33 \text{ N}$

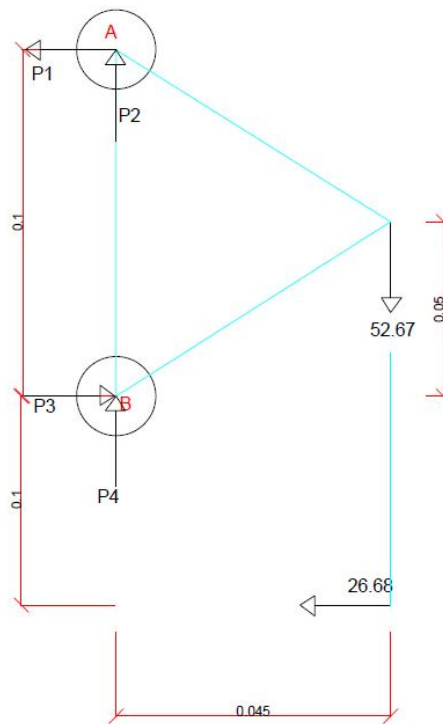


Figura 3.20 Diagrama de cuerpo libre, vista lateral guías eje "y" (SIN ESCALA).

Determinando las reacciones en las guías:

$$\sum M_B = 0 \quad 52.67(0.045) + 26.68(0.1) - P_1(0.1) = 0$$

$$P_1 = 50.38 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0 \quad 52.67(0.045) + 26.68(0.1) - P_3(0.1) = 0$$

$$P_3 = 50.38 \text{ N}$$

Por análisis de equilibrio se determinar que,  $P_2 = P_4 = 26.33 \text{ N}$

### Fuerzas soportada por la guía A.

Fuerza soportada por cada collarín en guía A:

$$F_y = \frac{P_1}{2} = 25.19 \text{ N}$$

$$F_x = \frac{P_2}{2} = 13.16 \text{ N}$$

La Figura 3.21 muestra las fuerzas en cada guía del eje Y.

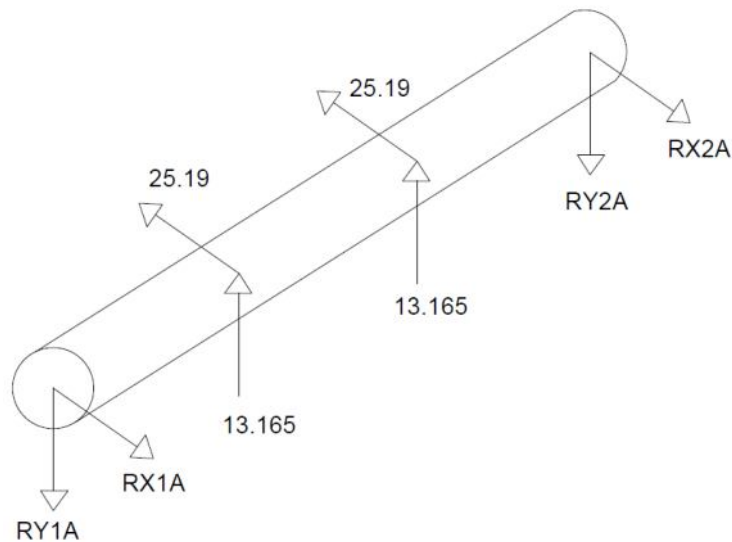


Figura 3.21 Fuerzas soportadas por la guía A del eje "Y"

Análisis de fuerzas respecto al eje vertical de la figura 3.22.

$$\sum M_{y1} = 0, \quad -13.165(0.190) - 13.165(0.24) + R_{y2}(0.43) = 0$$

$$R_{y1} = 13.165 \text{ N} \quad R_{y2} = 13.165 \text{ N}$$

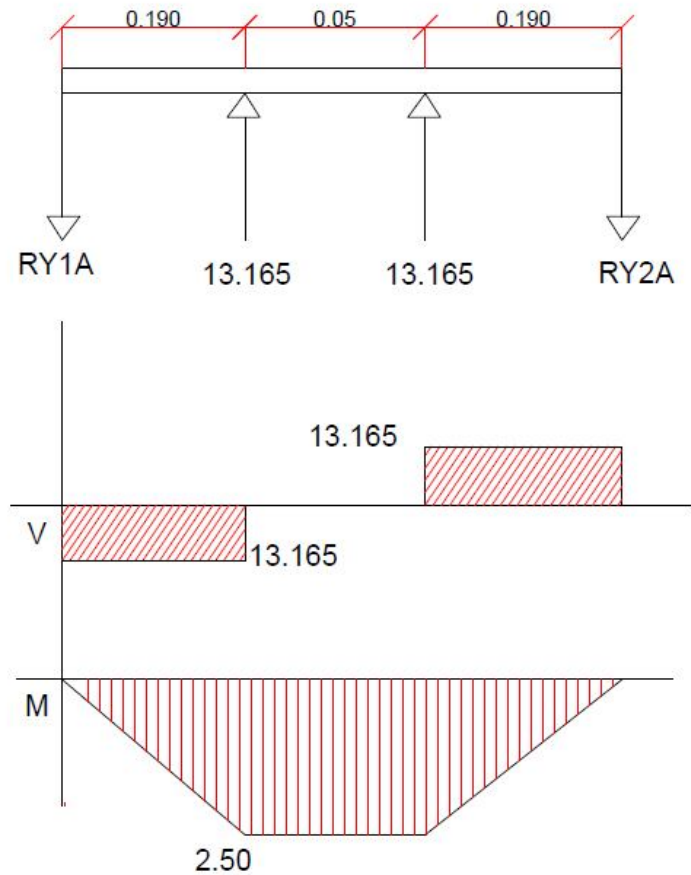


Figura 3.22 Fuerzas soportadas por la guía A análisis vertical.

Al observar el diagrama de momento flector, es notorio que el mayor es 2.5 N-m.

Análisis de fuerzas respecto al eje horizontal de la figura 3.22

$$\sum M_{x1} = 0$$

$$-25.19(0.190) - 25.19(0.24) + R_{x2}(0.43) = 0$$

$$R_{y1} = 25.19 \text{ N}, R_{y2} = 25.19 \text{ N}$$

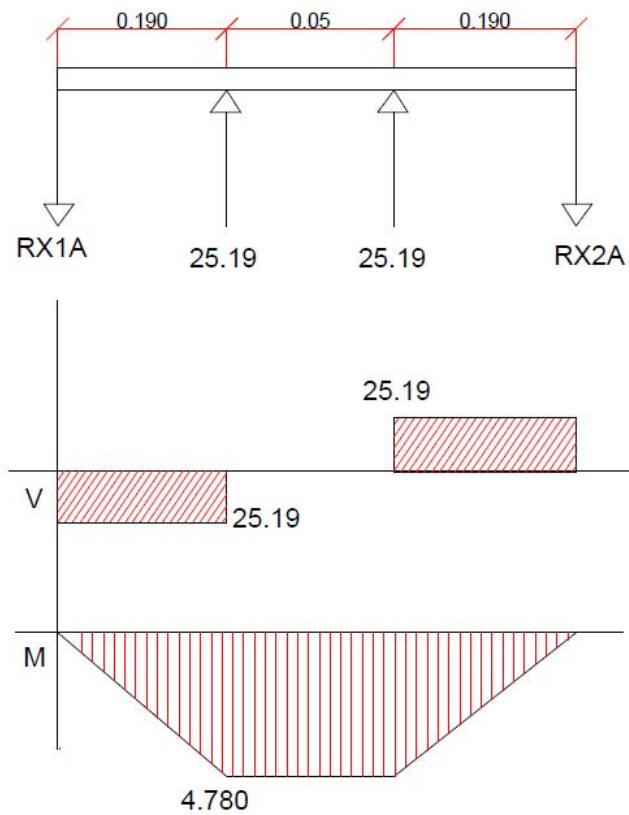


Figura 3.23 Fuerzas soportadas por la guía A análisis horizontal.

Al observar el diagrama de momento flector es notorio que el mayor es 4.780 N-m.

Esfuerzos soportados debido a los momentos flectores.

$$\sigma_1 = \frac{32 (2.5)}{\pi (9.5 \times 10^{-3^3})} = \mathbf{29.70 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_2 = \frac{32 (4.78)}{\pi (9.5 \times 10^{-3^3})} = \mathbf{56.78 \text{ Mpa}}$$

### Fuerzas soportada por la guía B.

Fuerza soportada por cada collarín en guía B:

$$F_y = \frac{P_4}{2} = 13.165 \text{ N}$$

$$F_x = \frac{P_3}{2} = 25.19 \text{ N}$$

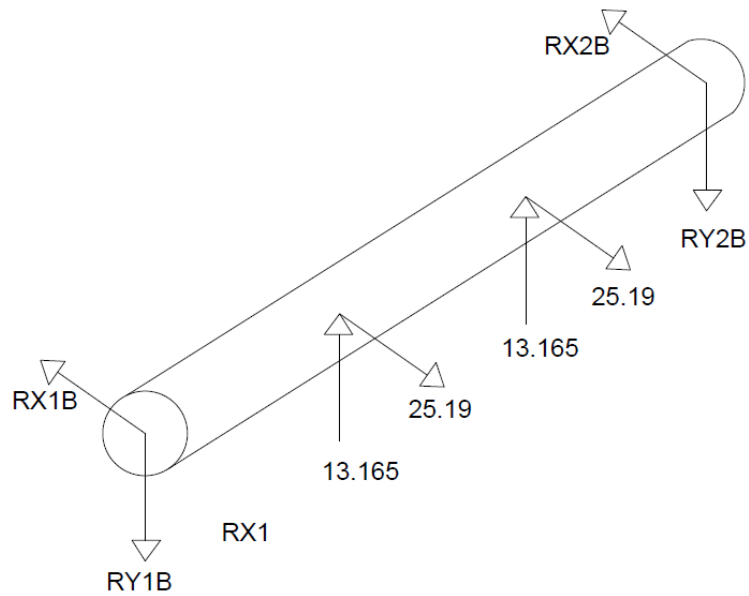


Figura 3.24 Fuerzas soportadas por la guía B del eje "Y"

Análisis de fuerzas respecto al eje vertical de la figura 3.24,

$$\sum M_{y1b} = 0$$

$$-13.165(0.190) - 13.165(0.24) - R_{y2b}(0.430) = 0$$

$$R_{y1b} = 13.165 \text{ N}$$

$$R_{y2b} = 13.165 \text{ N}$$

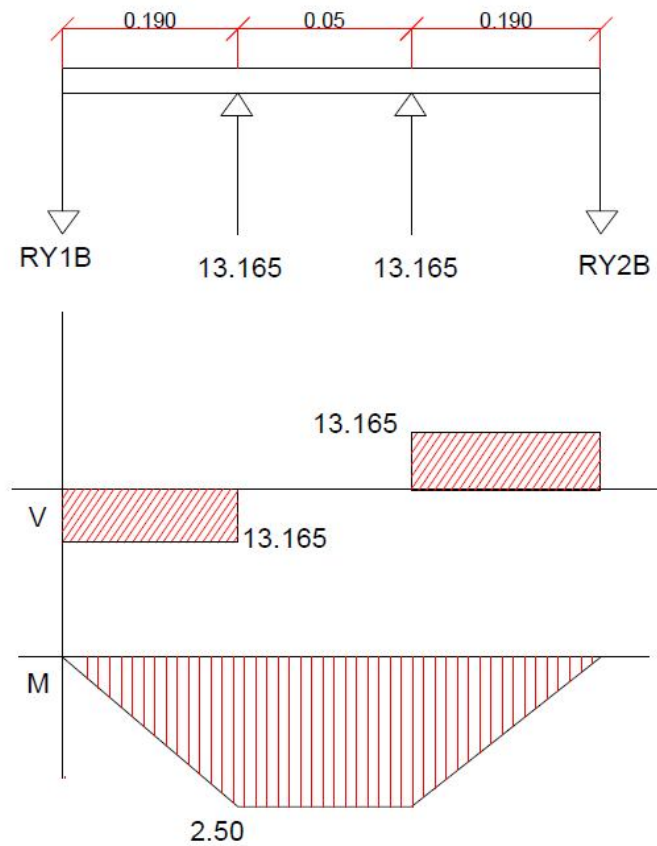


Figura 3.25 Fuerzas soportadas por la guía B análisis vertical.

Al observar el diagrama de momento flector es notorio que el mayor es 2.50 N-m.

Análisis de fuerzas respecto al eje horizontal de la figura 3.24,

$$\sum M_{x1b} = 0 \quad 25.19(0.190) + 25.19(0.24) - R_{x2}(0.430) = 0$$

$$R_{x1} = 25.19 \text{ N y } R_{x2} = 25.19 \text{ N}$$



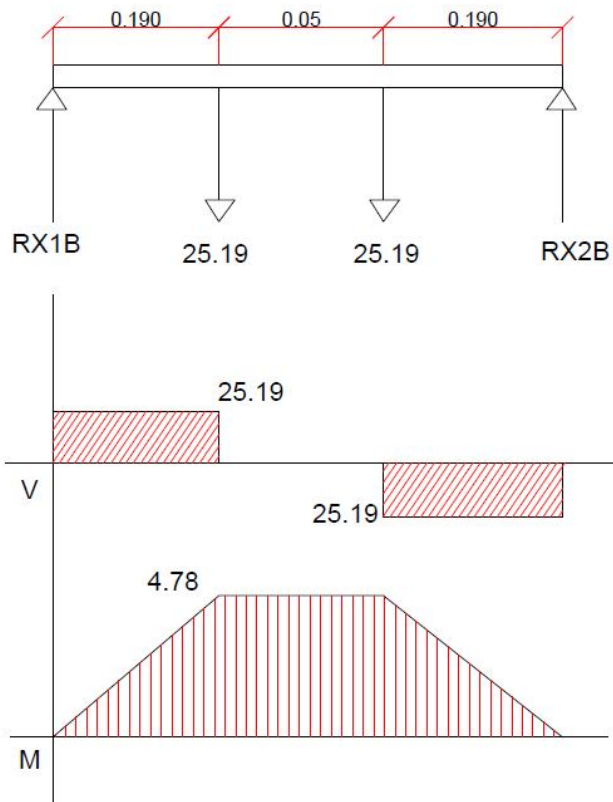


Figura 3.26 Fuerzas soportadas por la guía B análisis horizontal.

Al observar el diagrama de momento flector es notorio que el mayor esfuerzo es 4.78 N-m.

Esfuerzos soportados debido a los momentos flectores.

$$\sigma_1 = \frac{32 ( 2.5 )}{\pi ( 9.5 \times 10^{-3^3} )} = \mathbf{29.70 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_2 = \frac{32 ( 4.78 )}{\pi ( 9.5 \times 10^{-3^3} )} = \mathbf{56.78 \text{ Mpa}}$$

### 2.1.5.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN EJE Z

Se tienen los siguientes valores conocidos:

- Masa calculada de las guías del eje Y = 0.8 Kg.
- Masa calculada para el porta-herramientas inferior y superior = 0.5 Kg.
- Masa del motor = 0.424 Kg.
- Masa de accesorios varios = 0.5 Kg.

### Fuerzas Gravitacionales

En primer lugar, se debe calcular la masa total que deberá ser capaz de mover el tornillo, esta es la siguiente:

$$m_{total\ Z} = m_{motor} + m_{guias} + m_{porta-herramienta} + m_{otros\ accesorios}$$

$$m_{total\ z} = (0.424 + 0.8 + 0.5 + 0.5)Kg$$

$$m_{total\ Y} = 2.224\ Kg$$

Por lo tanto, el peso total será  $F_{Wz} = m_{total\ y} \times g$

$$F_{Wz} = 2.224\ kg \times 9.81\ \frac{m}{s^2} = 21.81\ N$$

### Fuerzas De Rozamiento

Debido a que las fuerzas de rozamiento en nuestro caso se definen como la fuerza normal multiplicada por el coeficiente de fricción entre superficie y collarines, tenemos que la fuerza es paralela a las guías con lo cual la fuerza de fricción se ve disminuida en gran medida y por lo tanto se asume como despreciable.

## Fuerzas Inerciales

Fuerzas inerciales ( $F_i$ ).

$$F_i = ma = 2.224 \times \frac{4.61 \times 10^{-3}}{0.1} = 0.10 \text{ N}$$

## Tornillo De Potencia

Para el desarrollo del cálculo en esta sección, se tomarán las mismas consideraciones y valores tomados para los cálculos del tornillo de potencia del Eje X calculado anteriormente.

Por lo tanto, la ecuación de torque para que el tornillo pueda subir la carga es:

$$T_C = \frac{d_W W}{2} * \left[ \frac{\tan \lambda + \mu}{1 - \mu \tan \lambda} \right] + \frac{\mu_c d_{Wc} W}{2}$$

También, Teniendo en cuenta que:

$$W = F_{Wz} + F_{iz} + F_{rz} + F_{cz} = 21.81 + 0.1 + 0 + 26.75 = 48.66 \text{ N}$$

Luego,

$$\tan \lambda = \frac{NP}{\pi d_W} ; d_W = d - \frac{P}{2} = d_W = 0.0127 - \frac{2}{2} = 11.7 \text{ mm} = 0.0117 \text{ m}$$

$$\tan \lambda = \frac{1 \times 2.0}{\pi \times 11.7} = 0.054$$

Sustituyendo los respectivos datos en la ecuación de torque para el tonillo de potencia:

$$T_C = \frac{0.0117 \times 48.66}{2} \times \left[ \frac{0.054 + 0.25}{1 - 0.25 \times 0.054} \right] + \frac{0.25 \times 0.0117 \times 48.66}{2} = 15.88 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

En este caso del eje z se debe de calcular el torque para retirar la carga.

$$T_c = \frac{0.0117 \times 48.66}{2} \times \left[ \frac{0.054 - 0.25}{1 - 0.25 \times 0.054} \right] + \frac{0.25 \times 0.0117 \times 48.66}{2} = 1.46 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

Debido a que el torque para subir la carga es mayor, es el que se debe considerar para el cálculo de los posteriores análisis.

Para calcular el torque total que deberá manejar el motor, se necesita saber el valor del torque generado debido a la rotación de tornillo, este torque se calcula de la siguiente manera:

$$I = \frac{MR^2}{2} = \frac{\gamma VR^2}{2g} = \frac{\gamma \pi R^2 LR^2}{2g} = \frac{\gamma \pi R^4 L}{2g}$$

$$I = \frac{76.5 \times 10^3 \times \pi \times (6.35 \times 10^{-3})^4 \times 0.323}{2 \times 9.81} = 6.43 \times 10^{-6}$$

$$T_i = I \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = 6.43 \times 10^{-6} \times \frac{2\pi}{0.1} = 4.04 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque máximo torque que deberá manejar el motor de paso es la sumatoria de los torques calculados.

$$T_T = 0.1588 + 4.04 \times 10^{-4} = 0.1592 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\mathbf{T_{Tz} = 15.92 \text{ N} \cdot \text{cm}}$$

### **Potencia para motor paso a paso eje Z.**

Ahora bien, la potencia que demanda el tornillo es la siguiente:

$$P_{OTn} = T_{TOTAL} \times \omega = \left( \frac{15.92 \text{ N} \cdot \text{cm}}{\frac{100}{1\text{m}}} \right) (2\pi \text{ rad/s})$$

$$P_{OTn} = 1.0 \text{ W}$$

Luego, la potencia neta debe ser calculada tomando en cuenta lo siguiente:

La eficiencia de la transmisión del tornillo,

$$e = \frac{WL}{2\pi T} = \frac{48.66 \times 2.0 \times 10^{-3}}{2\pi \times 0.1592} = 0.097$$

Ahora, en la Tabla siguiente se muestran los factores a considerar:

TIPO	VALOR	FACTOR
eficiencia del tornillo (= WL/2T)	0.097	1.90
eficiencia del motor	0.90	1.10
Factor de servicio		1.5

Por lo tanto,  $P_{OTr} = 1.90 \times 1.10 \times 1.5 \times 1.0 = 3.13 \text{ W}$

**Se concluye que la potencia necesaria en el motor para que el mecanismo funcione acorde al diseño es de 3.5 W.**

A continuación en la Tabla 3.5 muestra la comparación de los resultados entre el diseño preliminar y el diseño final.

	Potencia Requerida según diseño Sección 2.1.5	Potencia Requerida según diseño Sección 3.1.5
<b>Tornillo Eje X</b>	2.00 W	3.00 W
<b>Tornillo Eje Y</b>	2.75 W	2.75 W
<b>Tornillo Eje Z</b>	2.75 W	3.50 W
	Parámetros asumidos Sección 2.1.5	Parámetros Reales según Sección 3.1.5
<b>Diámetro del tornillo</b>	12.70 mm (1/2")	12.70 mm (1/2")
<b>Paso del tornillo (seleccionado de la del Anexo 2)</b>	3.90 mm	2.00 mm
<b>Coefficiente de fricción tornillo-tuerca (acero/acero)</b>	$\mu = 0.25$	$\mu = 0.25$

Tabla 3.5 Comparación de Resultados del diseño Sección 2.1.5. Vs. Diseño Sección 3.1.5

Es importante mencionar que otra de las diferencias entre el diseño preliminar y el final radica en que el tornillo utilizado es de rosca ordinaria triangular; inicialmente se planteó el uso de un tornillo con rosca cuadrada con objeto de seguir las recomendaciones encontradas en la literatura de diseño de este tipo de sistemas, ya que son utilizados por garantizar la irreversibilidad de la carga; no obstante, es justificable el uso de un tornillo de rosca triangular debido a que las cargas a elevar y desplazar son relativamente bajas y el peligro de deslizamiento (barrido de la rosca) es sumamente bajo.

### 3.1.6 Accesorios

#### Rodamientos

De acuerdo a los análisis de las fuerzas que inciden sobre cada tornillo, mostrados en la Sección 3.1.5, se concluye que los tornillos de potencia se ven expuestos principalmente a cargas axiales o de empuje, los tornillos no deben soportar cargas radiales en ningún momento puesto que no es esa su función y todas las cargas radiales deben recaer sobre las guías en cada caso.

De acuerdo a lo requerido, se ha optado por utilizar rodamientos rígidos de una hilera de bolas, ya que son particularmente versátiles y su diseño es sencillo, no desarmable y son apropiados tanto para velocidades bajas como para velocidades altas; éstos rodamientos están diseñados para soportar cargas axiales en ambos sentidos e incluso tienen capacidad de absorción de cargas radiales bajas.

El modelo seleccionado es SKF 608-2Z y sus características se muestran en la Figura 3.27.

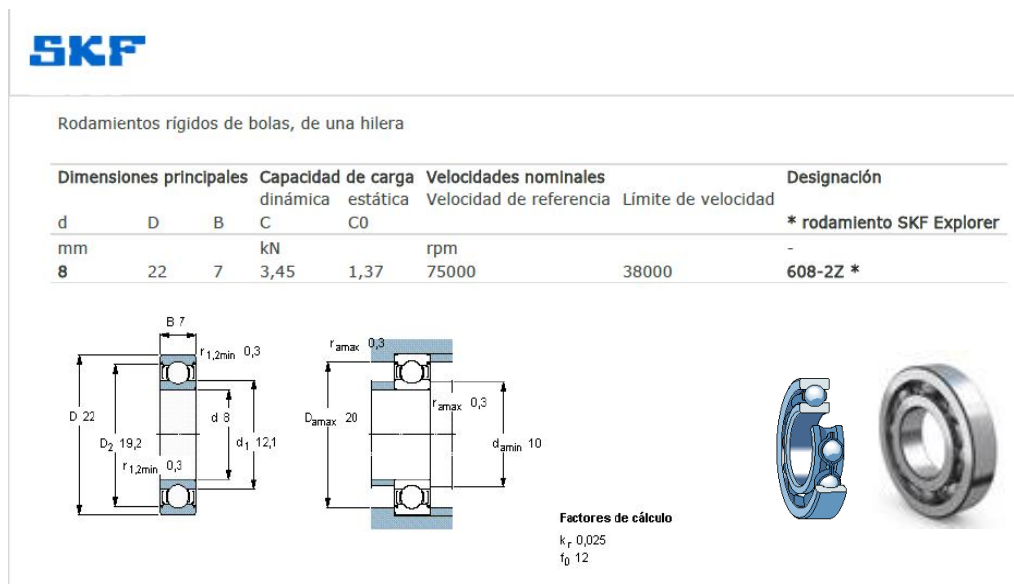


Figura 3.27 Detalle de los rodamientos.

### ***Elementos de Sujeción***

Para la sujeción de las piezas desmontables, se optó por colocar un sólo tipo de perno con el propósito de facilitar el reemplazo de los mismos en caso de pérdida o barrido de la rosca.

Los pernos utilizados son de rosca ordinaria y 3/16"φ para todas las sujeciones excepto para la sujeción de los collarines del cuerpo móvil y el porta-herramientas, los cuales, debían ser más finos por requerimiento del diseño de los collarines y por lo tanto, se optó por colocar pernos tipo Allen de 1/8"φ.

### **3.2 PRUEBAS MECÁNICAS**

Las pruebas mecánicas llevadas a cabo fueron una secuencia de pequeñas pruebas que buscaban verificar el correcto ensamble de cada una de las piezas para evitar problemas de desalineamiento y/o deslizamiento forzado en cada uno de los ejes, a continuación se presenta de forma breve el procedimiento seguido para cada verificación.

En la Figura 3.28 se puede observar el montaje de la mesa de trabajo sobre su sistema de deslizamiento; para simular el movimiento impulsado por el motor de paso de ese eje, se acopló un taladro a uno de los extremos del tornillo y se puso en marcha, en esta prueba se pudo observar que había dificultades en cuanto al avance de la mesa que eran provocadas por la fricción de dos collarines que estaban mal alineados; se desmontó el sistema, se alinearon los collarines y se repitió la prueba dando resultados satisfactorios.

Al inicio de la prueba no se habían colocado los topes en los extremos del tornillo, esto provocaba que la meza no solamente se desplazara por acción del avance de la tuerca sino también por el movimiento longitudinal del tornillo; esta acción daba como



resultado que la mesa tuviese un avance no controlado; una vez se colocaron los topes en los extremos este movimiento indeseado fue eliminado.



*Figura 3.28 Montaje Eje X para prueba mecánica.  
Fuente: fotografía tomada por Rebeca Guerra.*

Ahora, en la Figura 3.29 se muestra el montaje del denominado cuerpo móvil; la prueba realizada consistió en el mismo procedimiento descrito para el eje X.



*Figura 3.29 Montaje de Cuerpo Móvil para prueba mecánica.  
Fuente: fotografía tomada por Rebeca Guerra.*

Primero, se acopló el taladro a uno de los extremos del tornillo del Eje Y; para este caso, los resultados fueron satisfactorios desde la primera prueba ya que por la experiencia de lo observado en la primera prueba (Eje X) se colocaron topes en los extremos del tornillo.

Luego de verificado el movimiento del Eje Y, se procedió a acoplar el taladro en el extremo superior del tornillo del Eje Z; en la primera prueba se observó que este ensamble presentaba una gran resistencia al movimiento por cual se tuvieron que desmontar todas las piezas. En el desmontaje se observó que las guías estaban forzadas por las piezas de Nylon de los extremos y que la tuerca estaba muy ajustada; para solventar el problema de las guías, éstas se devastaron 3mm en cada extremo y el problema de la tuerca se solucionó con la aplicación de un lubricante grueso.

Finalmente, se ensamblaron todas las piezas de nuevo y se repitió la prueba dando resultados satisfactorios.

Una vez terminadas las pruebas concernientes a la parte mecánica, se procedió a ensamblar el conjunto; la máquina se muestra en la Figura 3.30.

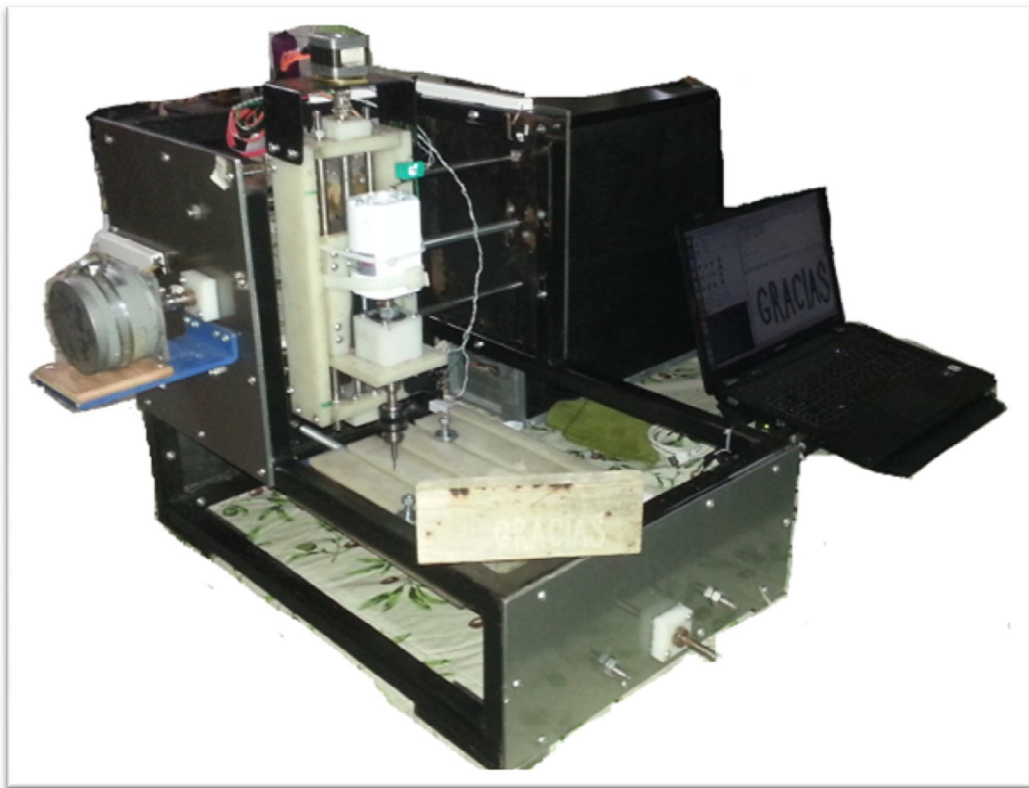
### **3.3 SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO**

Al igual que en el diseño del sistema mecánico, el sistema electrónico también ha sufrido modificaciones respecto de lo planteado en el capítulo II de este trabajo; no obstante, se ha mantenido la estructura básica del modelo de capas.

Una de las principales modificaciones es la utilización de 2 motores de paso unipolares más robustos para acoplar a los tornillos del Eje X y Y respectivamente; para el giro del tornillo del Eje Z se ha conservado el motor NEMA 23 seleccionado en la Sección 2.2.3.1; la razón principal del cambio de los motores ha sido debida a su bajo consumo

de corriente y su capacidad de generar un mayor torque en el arranque; en la Figura 3.31 se muestra uno de los motores nuevos. Las características técnicas básicas de los nuevos motores utilizados son las siguientes:

- ✓ Voltaje : 2.5 VDC
- ✓ Amperaje : 2.1 A
- ✓ Paso : 1.8 grados/paso
- ✓ Modelo : 108-809-0241
- ✓ Fabricante : SANYO, Japón.



*Figura 3.30 Ensamble completo.  
Fuente: fotografía tomada por Néstor Meza.*



Figura 3.31 Motor de paso unipolar SANYO.  
Fuente: fotografía tomada por Oscar Cruz.

Se llegó a la conclusión del reemplazo de los motores NEMA 23 debido a que en las pruebas preliminares del circuito se generaba un calentamiento excesivo tanto de los conductores como de los TIP 142 del controlador; se verificó utilizando un termómetro, que la temperatura máxima alcanzada por los transistores era de 75°C, si bien es cierto que dicha temperatura está dentro del rango de temperaturas de trabajo del transistor, este calentamiento podía afectar a los demás componentes del circuito como los optoacopladores, que no son capaces de resistir temperaturas tan altas y por lo tanto, se optó por no arriesgar a los demás componentes del circuito y mejor sustituir los motores NEMA 23 por unos que tuvieran un consumo menor de corriente; de esta manera, se probaron los motores SANYO y el resultado obtenido fue sumamente satisfactorio.

Todos los demás componentes del circuito electrónico descritos en el Capítulo II de este trabajo, han sido conservados puesto que la respuesta de los mismos a las indicaciones lógicas generadas por el control numérico del software seleccionado es

coherente. En la Figura 3.32a se muestran la tarjeta de control (Driver de Control) en formato de tarjeta perforada que sirvió para la realización de las pruebas preliminares del circuito de control; la Figura 3.32b muestra la misma tarjeta en formato de circuito impreso.

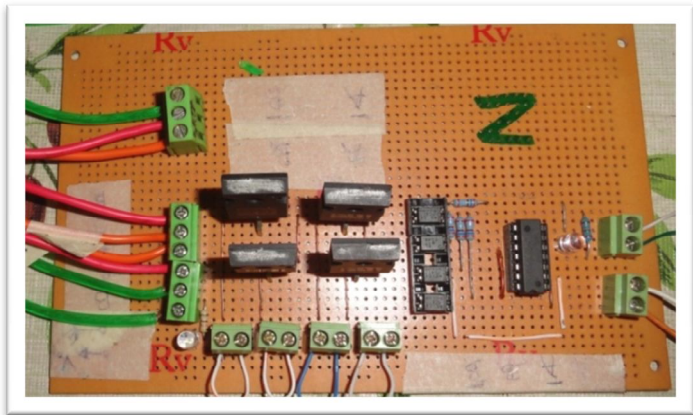


Figura 3.32a Tarjeta de control perforada  
Fuente: fotografía tomada por Oscar Cruz.

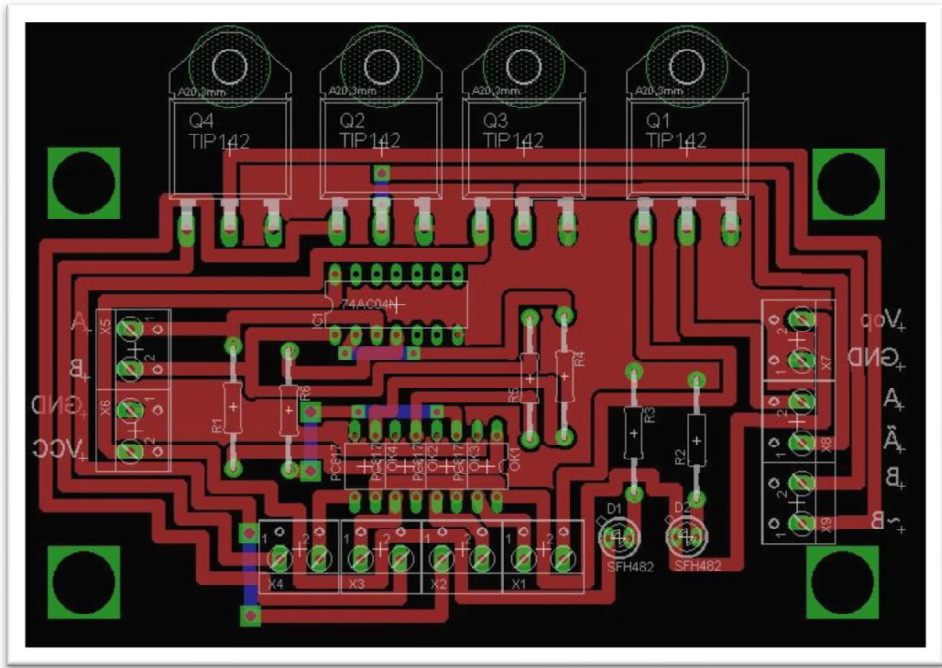


Figura 3.32b Tarjeta de control circuito impreso.  
Fuente: fotografía tomada por Oscar Cruz.

### 3.4 PRUEBAS ELECTRÓNICAS

Las pruebas electrónicas se realizaron en dos etapas:

- 1) Conexión de motores en vacío.
- 2) Conexión de motores acoplados.

Para la primera prueba, los motores no se conectaron de forma simultánea desde el principio; primero se conectó el motor del Eje X a su driver y a la tarjeta Arduino Uno, éste último ya cargado con una secuencia simple la cual hacía girar el eje del motor primero en dirección de las agujas del reloj y luego al contrario. El objetivo de la prueba fue verificar que no existiesen problemas de calentamiento debido a malas conexiones y que el circuito logrará ejecutar las acciones indicadas por la computadora sin generar pasos erráticos; esta prueba fue realizada para cada uno de los motores de forma individual. La Figura 3.33 muestra la configuración del circuito de pruebas.

Una vez que los motores fueron probados de forma individual, se procedió a la conexión simultánea de los mismos, siempre en vacío; la configuración del circuito de prueba de conjunto se muestra en la Figura 3.34.

Ésta vez, a la tarjeta Arduino Uno se le cargó una secuencia un poco más compleja, la cual permitió verificar que los motores son capaces de trabajar en conjunto sin la existencia de interferencias o pasos erráticos; la comprobación de la lógica del movimiento se llevó a cabo mediante la observación de la pantalla del software de simulación contra el movimiento del eje de los motores. Al comparar lo que el software indicaba (cuál o cuáles ejes debían moverse según la trayectoria) versus lo ejecutado por los motores se observó la sincronización de las acciones y por consiguiente la prueba resultó satisfactoria.

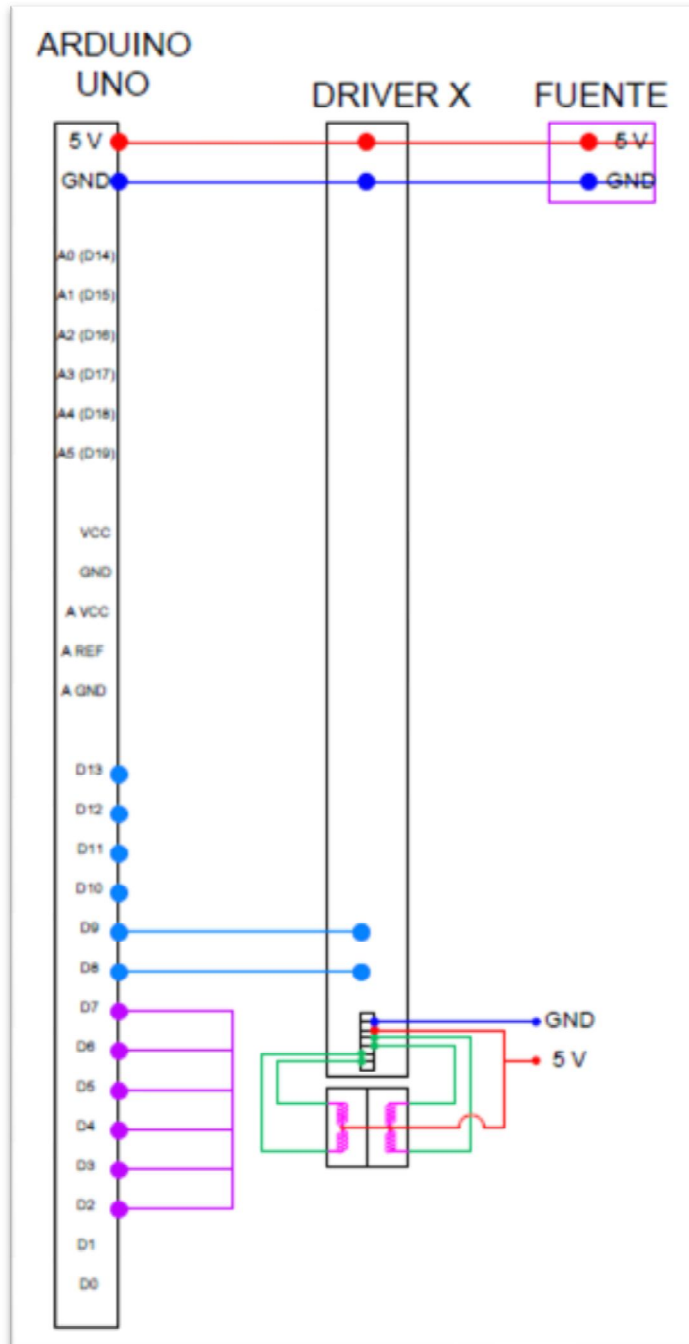


Figura 3.33 Circuito de pruebas individuales.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

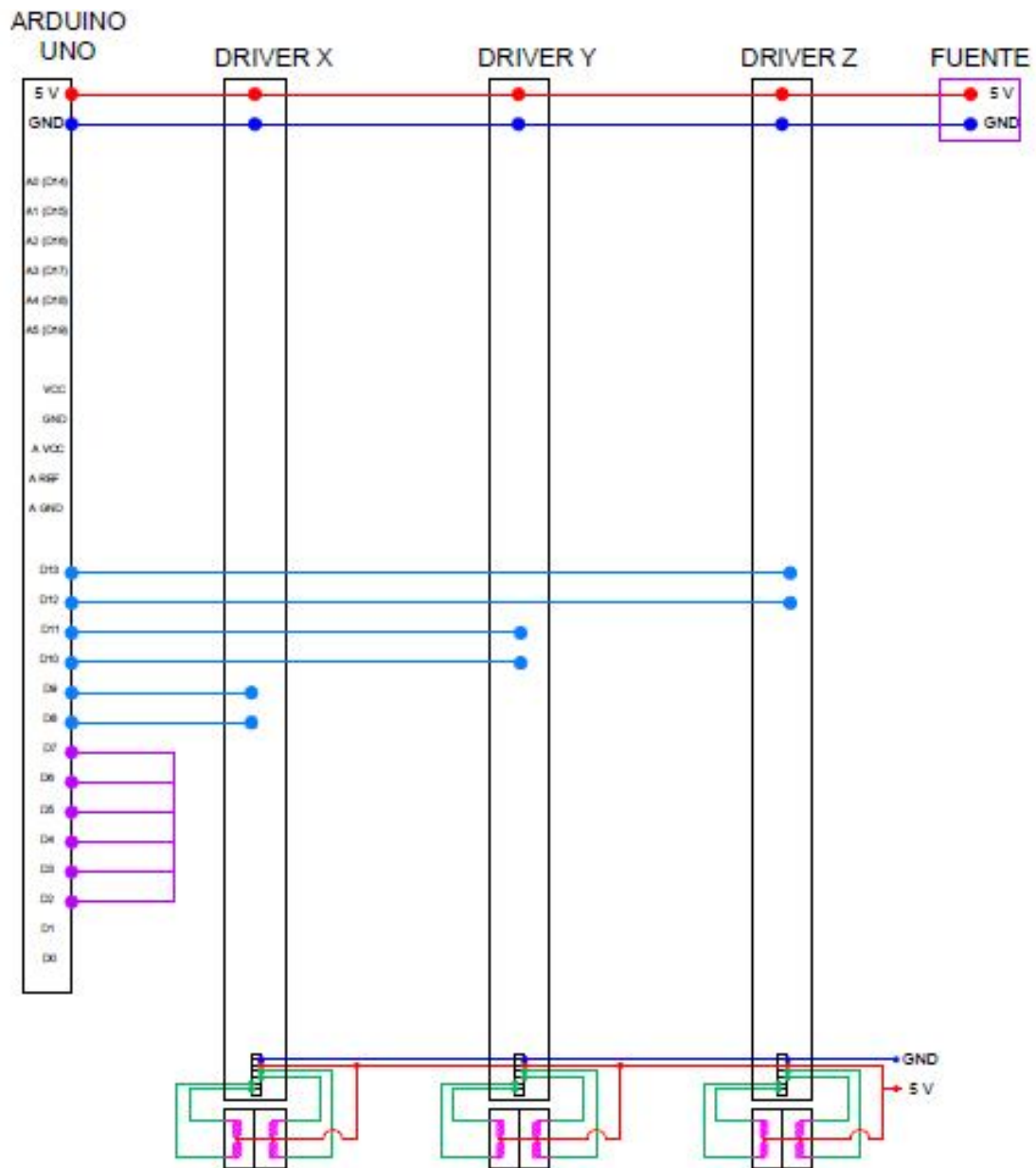


Figura 3.34 Circuito de pruebas de conjunto.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

Tal como se observa en la figuras 3.33 y 3.34, en las pruebas preliminares no se hizo la conexión de los finales de carrera, para simular la función de los mismos, lo que se hizo fue un puente desde el pin D2 hasta el D7 del Arduino Uno.



En la segunda prueba, el procedimiento fue el siguiente:

- 1) los motores se acoplaron a cada tornillo; se optó por un acople flexible con el propósito de reducir al mínimo los errores por desalineamiento entre el eje del motor y el tornillo ya que el acople flexible para ello está diseñado. En la Figura 3.35 se muestra el detalle.



*Figura 3.35 Detalle de acople flexible.  
Fuente: fotografía tomada por Oscar Cruz.*

- 2) se verificó la sujeción de los motores a sus respectivas bases para evitar que posibles vibraciones incidieran sobre las trayectorias a ejecutar.
- 3) Se procedió a conectar los motores al circuito de control.
- 4) Se seleccionó un programa de prueba a ejecutar; éste fue tomado de la base de ejemplos del software Tapux\_CNC.
- 5) Se realizaron los cambios en la configuración de parámetros como el paso del tornillo, velocidad de avance en vacío y cantidad de pulsos para el buen funcionamiento de los motores.
- 6) Se conectó la tarjeta Arduino Uno a la computadora y se cargó el programa.

- 7) Se realizó el prefijado de los parámetros de las posiciones iniciales de cada eje (cero pieza) de acuerdo lo establecido en el programa de prueba seleccionado; esto se realizó para verificar la ejecución de las ordenes enviadas desde la computadora y la coherencia de las mismas con lo realizado por la maquina.
  
- 8) Se corrió el programa seleccionado y se observó el correcto maquinado de la pieza de muestra.

Cabe mencionar que se realizaron varias pruebas de de maquinado repitiendo los pasos 7 y 8 descritos anteriormente; estas pruebas fueron realizadas con distintas trayectorias y distintos materiales con objeto de verificar la capacidad mecánica de la maquina.

En la Figura 3.36 se muestra el diagrama eléctrico final de la maquina; cabe destacar que dentro del circuito eléctrico se distinguen dos partes:

- A. Circuito Lógico
- B. Circuito de Potencia

Se le denomina circuito lógico al conjunto de componentes que solamente manejan las ordenes en forma de señal y circuito de potencia al conjunto de componentes que distribuyen el flujo de energía hacia los motores; todos los componentes que forman parte del circuito han sido descritos anteriormente, en la etapa de diseño eléctrico-electrónico y tal como se ha mencionado en esta sección, este esquema no ha sufrido modificaciones respecto del inicial.

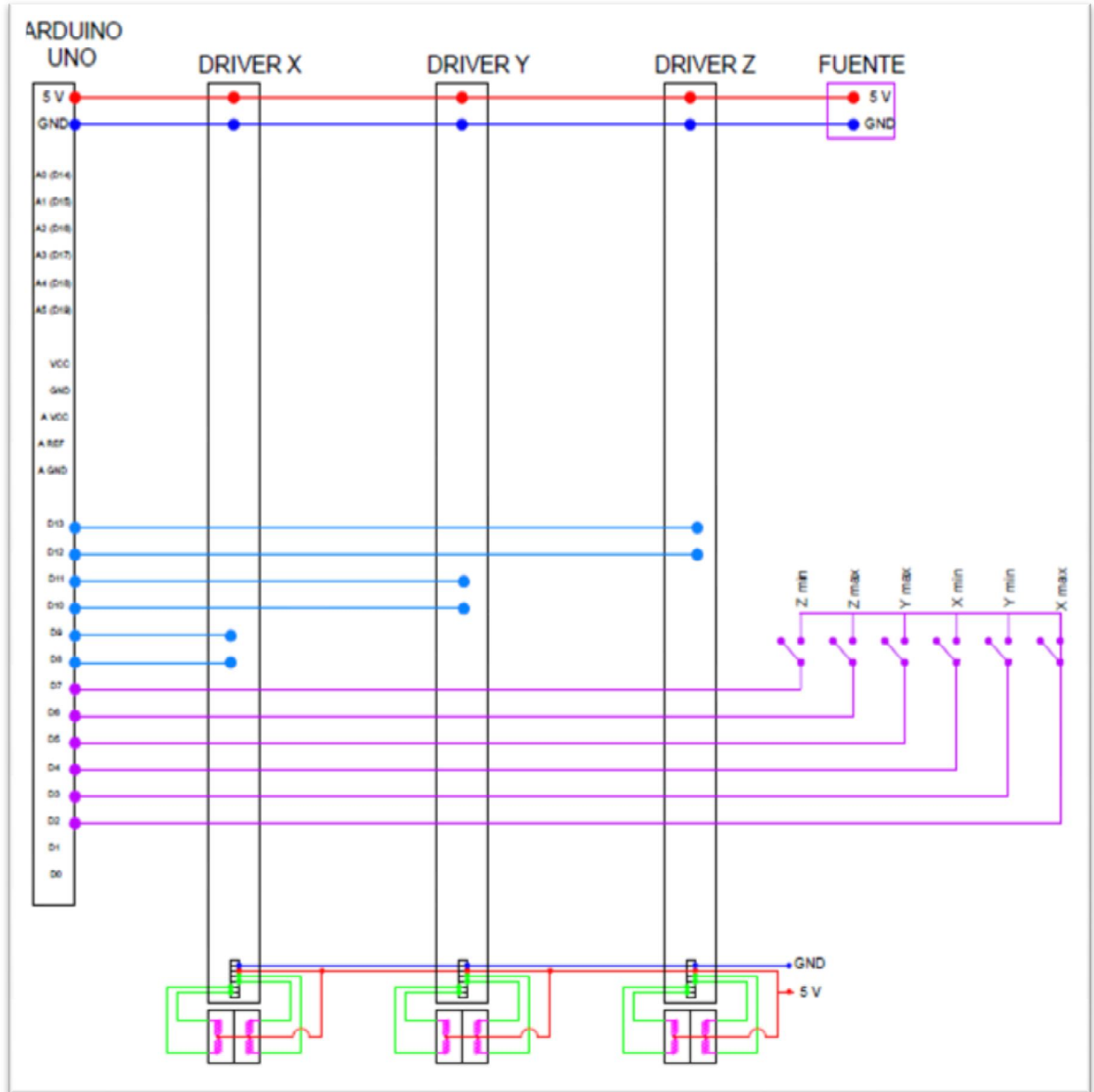


Figura 3.36 Circuito eléctrico completo.  
Fuente: Elaborado por Rebeca Guerra.

### **3.5 RESULTADOS**

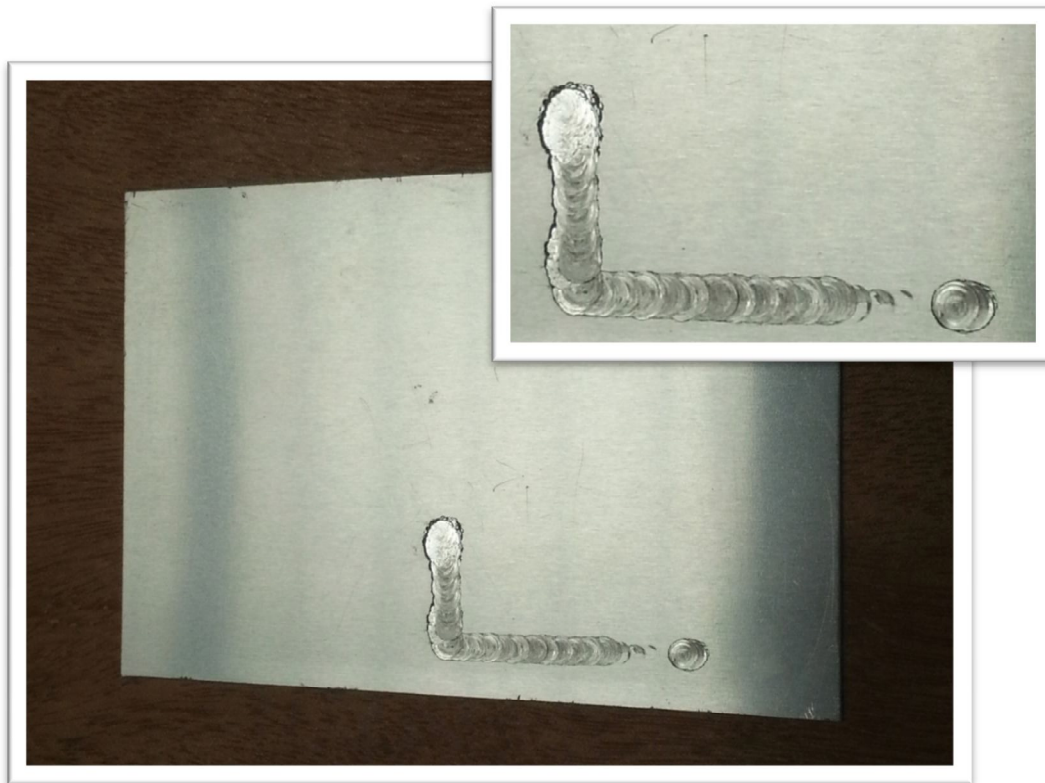
A partir de las pruebas de maquinado realizadas, se observó que la máquina funciona correctamente siempre y cuando se trabaje dentro de sus capacidades.

Es importante recalcar que la máquina es para uso didáctico y por consiguiente, no está diseñada para trabajo pesado ni para maquinar metales. Según se definió en los alcances, la máquina está destinada para trabajar con materiales blandos como madera y plásticos, no obstante será la base para diseñar y construir máquinas con mejores prestaciones.

Sin embargo, con el objeto de verificar el correcto funcionamiento de la misma, se realizaron pruebas con aluminio, cobre, nylon, madera de pino y madera de caoba; a continuación se presentan los resultados para cada material.

#### **3.5.1 Maquinado en Aluminio**

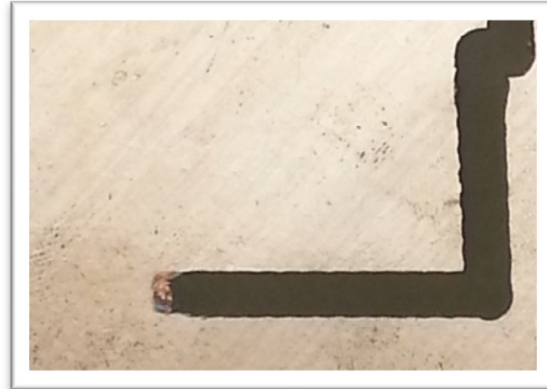
En la Figura 3.37 se muestra el resultado de la prueba de maquinado en aluminio; según se observa, el trazo es irregular ya que no se pudo efectuar el corte por arranque de viruta característico del fresado; esto se debió principalmente, a que se trabajó con una fresa muy basta (gruesa) y la velocidad de avance de la misma no fue la correcta; además, es importante mencionar que el coeficiente de fricción entre el aluminio y los metales de corte es, comparativamente con otros metales, elevado. Este hecho unido a su baja resistencia hace que se comporte como plastilina, pudiendo causar el embotamiento de los filos de corte, deteriorando la calidad de la superficie mecanizada a bajas velocidades de corte e incluso a elevadas velocidades con refrigeración insuficiente. Todo ello, hace que el mecanizado en aluminio no sea realizado satisfactoriamente por nuestra máquina ya que, la máxima velocidad de giro que puede ser alcanzada por la herramienta es de 7,000 rpm.



*Figura 3.37 Prueba de maquinado de aluminio.  
Fuente: fotografía tomada por Néstor Meza.*

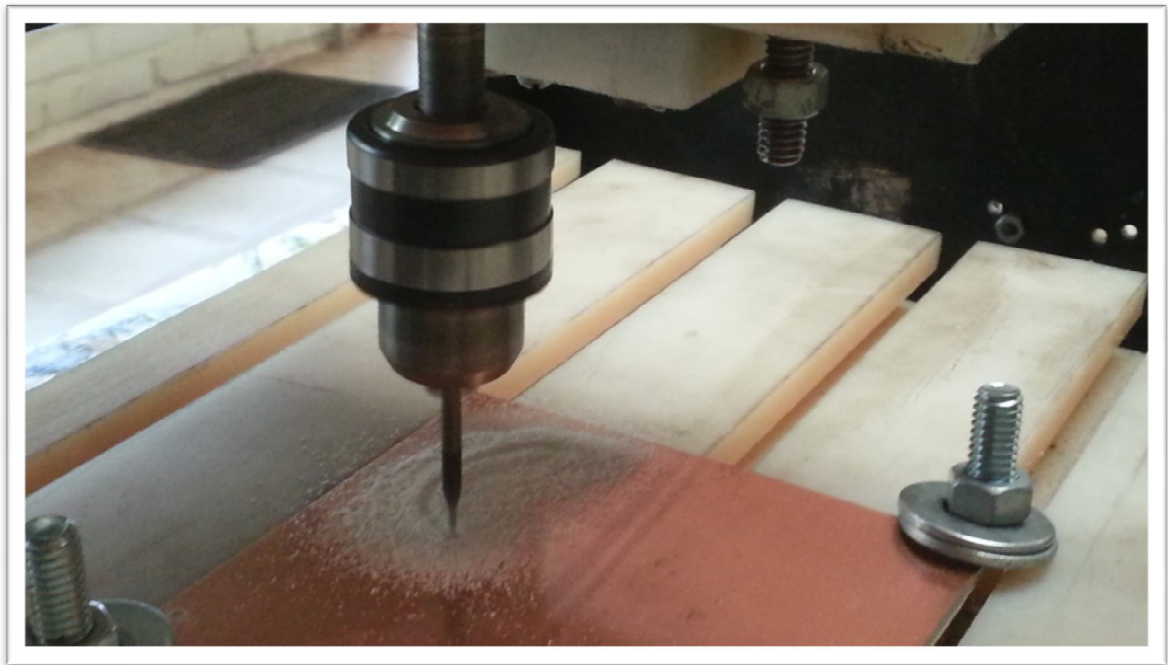
### **3.5.2 Maquinado en Cobre**

Las pruebas en cobre fueron realizadas con diferentes trayectorias; la primera prueba puede observarse en la Figura 3.38, esta prueba se realizó exactamente con los mismos parámetros utilizados para la prueba de maquinado en aluminio que muestra la Figura 3.37, como puede observarse, el trazo es limpio y la trayectoria demuestra que la maquina está perfectamente alineada puesto que, en la intersección de las dos líneas maquinadas se puede ver que el ángulo generado es recto.



*Figura 3.38 Prueba de maquinado de cobre 1.  
Fuente: fotografía tomada por Néstor Meza.*

Para la segunda prueba en cobre, se realizaron varias trayectorias sobre una misma lámina, en la Figura 3.39a se muestra cómo se ejecuta la primera trayectoria.



*Figura 3.39a Prueba de maquinado de cobre, inicio.  
Fuente: fotografía tomada por Néstor Meza.*

En la Figura 3.39b se presenta la finalización del maquinado de la trayectoria curva de la prueba 2 realizada en cobre.



*Figura 3.39 Prueba de maquinado de cobre, final.  
Fuente: fotografía tomada por Néstor Meza.*

### **3.5.3 Maquinado en Nylon**

Al igual que el maquinado en cobre, las pruebas realizadas en Nylon fueron satisfactorias para una velocidad de avance de 35 mm/min y profundidad de corte 0.20 mm; según se pudo observar en las pruebas, la profundidad de corte en este material podría ser de hasta 0.50 mm siempre y cuando se regule la velocidad de avance a una más baja y la herramienta tenga un diámetro nominal de por lo menos 2.5 mm.

En la Figura 3.40 se muestra el resultado del maquinado en este material.



*Figura 3.40 Prueba en Nylon.  
Fuente: fotografía tomada por Néstor Meza.*

#### **3.5.4 Maquinado en Madera**

Para la realización de la primera prueba en madera, se utilizó la misma trayectoria ejecutada para la prueba en Nylon; el resultado se muestra en la Figura 3.41.



*Figura 3.41 Prueba 1 en madera.  
Fuente: fotografía tomada por Néstor Meza.*



Para la segunda prueba en madera, se decidió ejecutar una trayectoria un poco más compleja; se maquinó la frase "GRACIAS" con la fresa de 3 mm de diámetro nominal, los parámetros de profundidad de corte y avance de la herramienta fueron de 0.30 mm y 35 mm/min respectivamente.

El resultado de la prueba se presenta en la Figura 3.42.



*Figura 3.42 Prueba 2 en madera.  
Fuente: fotografía tomada por Néstor Meza.*

Según lo observado en la segunda prueba, se puede concluir que los resultados son sumamente satisfactorios puesto que los trazos han sido realizados con una gran precisión y sin inconvenientes; cabe destacar que las trayectorias ejecutadas tienen un grado de dificultad relativamente alto, puesto que son trayectorias curvas e irregulares en su mayoría.

CAPITULO IV  
COSTOS, MANUAL DE OPERACIÓN, Y  
GUIA DE LABORATORIOS

---

## **4.1 GENERALIDADES.**

En este capítulo se realiza un análisis detallado de los costos de construcción e instalación en lo que fue necesario incurrir para la elaboración y pruebas de todo el equipo; además, se incluyen las guías de laboratorio y el manual de mantenimiento de la maquina.

## **4.2 COSTOS**

Dentro del marco de las justificaciones para la realización se este trabajo de graduación se contemplo el rubro económico como una fuerte variable; se conoce que en el mercado hoy en día, el costo de las maquinas de control numérico es relativamente elevado, por lo tanto, la adquisición de una maquina de este tipo debe ser ampliamente justificada para cualquier entidad interesada en la misma.

El costo real de la maquina, se divide en dos grandes rubros:

- Tiempo de diseño y construcción.
- Materia prima (materiales e implementos utilizados).

Dentro del primer rubro, se contempla la cantidad de horas/hombre dedicadas al diseño, siendo este el valor del trabajo de ingeniería llevado a cabo para el desarrollo del mismo (parte mecánica y electrónica); también, se contempla el costo de la mano de obra necesaria para construir y ensamblar los componentes de la maquina.

En el segundo rubro, se contempla el valor de todas las materias primas requeridas para la elaboración tanto de las piezas mecánicas como del circuito de control y otros accesorios tales como rodamientos y elementos de sujeción.

#### 4.2.1 Presupuesto General del Proyecto.

Para la construcción del equipo se utiliza diferentes tipos de materiales, esto debido a la necesidad de minimizar el peso de los componentes que moverá cada motor en sus respectivos ejes de trabajo.

<b>PRESUPUESTO GENERAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>C. U.</b>	<b>C. T.</b>
1	Materiales para chasis, cabezal, guías, mesa de trabajo y collarines.	1	\$ 344.56	\$ 344.56
2	Materiales electrónicos, conductores y otros componentes eléctricos.	1	\$ 340.36	\$ 340.36
3	Motores para el cabezal, herramientas de corte, rodamientos, motores de paso y otros accesorios	1	\$ 237.02	\$ 237.02
4	Materiales y mano de obra para fabricación de drivers (incluye drivers de tarjeta perforada y circuito impreso)	1	\$ 181.50	\$ 181.50
5	Mano de obra para fabricación de piezas, ensamble y pintura de máquina	1	\$ 403.15	\$ 403.15
6	Honorarios por trabajo de ingeniería	4	\$ 1,000.00	\$ 4,000.00
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>				<b>\$5,506.59</b>

Tabla 4.1. Presupuesto general del proyecto.

Cabe mencionar que los honorarios por el trabajo de ingeniería están calculados en base al grado de dificultad del proyecto y el tiempo que fue necesario para concluirlo.

## 4.3 MANUAL DE OPERACIÓN, SERVICIO Y MANTENIMIENTO.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA



“Manual de operación, servicio y mantenimiento de un equipo didáctico para desarrollar maquinado en materiales blandos”

### ***INTRODUCCION.***

En la actualidad es necesario en el proceso de enseñanza proporcionar al estudiante un equipo de tecnología adecuada que permitan realizar ensayos, pruebas con las condiciones similares a las del trabajo en situaciones o escenarios reales. Esta fresadora didáctica controlada por control numérico fue diseñada y construida con este fin, la cual permite a menor costo validar y consolidar conceptos, teorías y aplicaciones concernientes a esta área.



Es de vital importancia que usted y cualquier persona que opere esta máquina lea detenidamente este manual.

**¡PELIGRO!** Esta máquina trabaja con herramientas con filos que puede causar heridas en el cuerpo al ser usada inadecuadamente y usa energía eléctrica por naturaleza peligrosa, siga las instrucciones requeridas.



- Nunca dé servicio, limpieza o mantenimiento a esta unidad si está conectada a la energía eléctrica.
- Si el cable tomacorriente se daña, debe ser reemplazado sólo por personal autorizado para evitar accidentes.



- No permita que los niños y personal no entrenado operen esta máquina.



I - ON

- Apague y desconecte la máquina cuando no esté en uso.

O - OFF

- No deje la máquina conectada y sin atención.

### ***INSTALACION.***

Mantenga siempre la máquina en posición vertical.

Antes de iniciar cualquier operación verifique que el equipo incluya los siguientes componentes descritos en la Tabla 4.2 y mostrados en la Figura 4.1.

ITEM	NOMBRE	CANTIDAD
1	Motores de paso para los ejes de trabajo	3
2	Motor cabezal para maquinado	1
11	Acoples motor-tornillo	3
16	Drivers para motores de paso	3
17	Arduino uno	1
17	Fuente de alimentación para 5V y 12V	1
19	Finales de carreras	6
18	Sistema porta broca-adaptador	1
20	Tornillos de potencia para cada eje coordinado	3
9	Guías de acero inoxidable para cada eje coordinado	6
3	Mesa de trabajo	1

Tabla 4.2. Componentes de fresadora CNC.



Figura 4.2 Componentes principales de la fresadora.

## ¡PELIGRO!

Esta máquina es muy pesada para ser movida por una sola persona. Solicite ayuda si es necesario moverla.

Manipule con mucho cuidado la fresadora, y asegúrese de no golpear ningún componente asociado a este mientras lo manipula.

Antes de operar el equipo, siga estos pasos de preparación:

1. Verifique la correcta conexión de los acoples entre motor-tornillo, estos deben de estar debidamente apretados en los tres ejes de trabajo.

En la Figura 4.2 se muestra el detalle del acople a verificar.



*Figura 4.2 Detalle de acople flexible.*

2. Compruebe las conexiones entre **Arduino Uno**, drivers, finales de carrera, fuente de alimentación y verifique que no haya cables sueltos.
3. Necesita una computadora con el sistema operativo **LINUX UBUNTU** donde deberá de instalar el programa **INKSCAPE**, este programa es un editor de gráficos en formato vectorial, que junto a un plug-in, realiza las trayectorias que convierte los dibujos en archivos G-code que pueden ser leídos por el programa simulador **TxapuCNC\_TX03**, para poder instalar el TxapuCNC\_TX03 ,antes se



debe se instalar el programa **gambas2**, que se instala desde el centro de software de UBUNTU, luego se necesita instalar el componente **gambas2-gb-net**, que se instala de la misma manera, una vez instalado, puedes ejecutar el **TxapuCNC\_TX03** desde gambas2. El **TxapuCNC\_TX03** es además un editor de texto y consola de control donde es posible manejar directamente cada motor de los ejes de la fresadora.

#### 4.3.1 OPERACION



Por favor lea y siga todas las indicaciones de la sección instalación de este manual.

**¡PELIGRO!**

Lea y entienda las indicaciones de este manual antes de usar la fresadora CNC.

##### 4.3.1.1 PROCEDIMIENTO

1. Verifique las medidas de la pieza a maquinar, pues la fresadora posee un rango de volumen de trabajo que no se puede exceder, esto es importante pues de se debe de tener en cuenta estas dimensiones al momento de realizar la geometría de trabajo. Las medidas limite son las siguientes: 200 mm x 250 mm x 30 mm.
2. Elaborar en el programa **INKSCAPE** la geometría; realice las trayectorias y cree el archivo G-code (en la guía de laboratorio se detalla este actividad).

3. Abra el **TxapuCNC\_TX03** y busque el archivo G-code que guardo en el paso anterior, una vez encontrado cárguelo, el programa mostrara las trayectorias de maquinado que se generaron, simule las trayectorias de maquinado para verificar que no haya fallas en las trayectorias y las profundidades de corte, dimensiones de herramientas y pieza de trabajo.
4. Coloque la pieza de trabajo en la mesa de trabajo y realice una adecuada sujeción para evitar accidentes.
5. Coloque la herramienta de trabajo y realice un apriete adecuado para que no existan cabeceos cuando la herramienta este girando. Además, para evitar accidentes, verifique que las dimensiones de dicha herramienta coincidan con las dimensiones de la herramienta prefijada en la simulación.
6. Encienda la fuente de energía para echar andar todos los circuitos de la máquina.
7. Conecte al puerto UBS de la computadora el cable de comunicación entre esta y la fresadora.
8. Declare el cero de la pieza al programa, pues desde este punto se iniciara el maquinado, esta es una referencia para el programa muy importante.
9. Después de verificar lo anterior y cerciorarse que todo está correcto, cargue la información **TxapuCNC\_TX03** hacia la tarjeta Arduino Uno para realizar la operación de maquinado, simultáneamente el simulador visualiza las operaciones que está realizando la fresadora.
10. En caso de mal funcionamiento de la maquina presione el botón de parada de emergencia que está en la pantalla del **TxapuCNC\_TX03**, para detener la simulación y el envió de datos a la tarjeta Arduino Uno.
11. Al final del maquinado observe que no haya más datos por enviar desde **TxapuCNC\_TX03** a la tarjeta **Arduino Uno** y desconecte del puerto USB de la computadora el cable de comunicación hacia la fresadora, para evitar

accidentes por la manipulación de terceros antes de verificar el maquinado realizado.

12. Limpie con una escobilla o franela los restos de material que se removieron para observar el maquinado de la pieza de trabajo.
13. Una vez terminado el maquinado apague la fuente de alimentación de energía.
14. Retiré la pieza de trabajo y colóquela en un lugar seguro, luego realice la limpieza en el área de trabajo, retirando todo resto de material de la máquina.

#### 4.3.2 MANTENIMIENTO



Desconecte la máquina de la energía eléctrica antes de darle limpieza o servicio.



Hacer una rutina de mantenimiento preventivo siempre alarga la vida de las máquinas.

En la Tabla 4.3 se muestra el detalle de la rutina de mantenimiento sugerida para la máquina; en esta rutina, se han seccionado los diferentes mantenimientos que deben ser ejecutados y su respectivo tiempo de frecuencia.

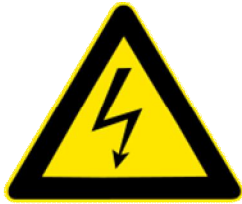
**NOTA:** para cualquier duda a cerca de los componentes y su ubicación, referirse a los planos del Anexo 6.

MANTENIMIENTO	ACCION	FRECUENCIA
inventario de componentes del equipo	Revisar que todos los componentes se encuentren físicamente en el equipo.	cada uso
limpieza general del equipo	limpiar adecuadamente cada componente	cada uso
revisión general de componentes eléctricos	inspeccionar que los componentes eléctricos estén en perfectas condiciones	mensualmente
revisión general transmisión mecánica	inspeccionar mecanismo tuerca-tornillo este en perfecto estado	mensualmente
revisión general de rodamientos.	Inspeccionar las buenas condiciones de los rodamientos	trimestralmente
revisión general guías y camisas	inspeccionar las buenas condiciones de camisas y guías y su adecuada lubricación.	mensualmente

Tabla 4.3 Rutina de mantenimiento sugerida.

#### **4.3.2.1 LIMPIEZA GENERAL DEL EQUIPO.**

La limpieza regular de los equipos hace que le puedas prolongar su vida útil, pero también constituye un peligro para los operadores que realizan el mantenimiento. Siguiendo un procedimiento paso a paso, esos riesgos pueden ser evitados.



Antes de iniciar cualquier acción de mantenimiento asegúrese de que el equipo no esté conectado a la energía eléctrica.

Los materiales que se deben disponer para la realización de la limpieza son listados a continuación:

- a. Franela limpia y libre de mota.
- b. Guantes
- c. Escobilla
- d. Aceite base 10
- e. Protección visual



Nunca use abrasivos, ácido clorhídrico o hipocloritos para operación de limpieza, ya que pueden manchar las partes de la máquina.



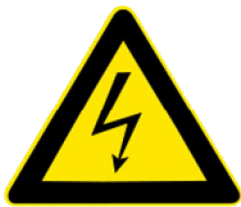
No sumerja la máquina en agua u otros líquidos. pueden ocurrir daños permanentes.

## **INSTRUCCIONES.**

1. Verifique los mecanismos tornillo-tuerca estén limpio y que no haya ningún tipo de basura a lo largo de los tonillos.

2. Limpiar las veces necesarias los tornillos con la franela humedecidas con aceite, con esto se logra además de la limpieza la lubricación del mecanismo.
3. Limpiar las guías de la misma manera que los tornillos.
4. Verificar la limpieza de los rodamientos, que no haya ningún tipo de basura que impida su libre rotación.

#### **4.3.2.2 REVISION GENERAL DE COMPONENTES ELECTRICOS.**



Antes de iniciar cualquier acción de mantenimiento asegúrese de que el equipo no esté conectado a la energía eléctrica.

Los materiales que se deben disponer para la realización de la limpieza son listados a continuación:

- a. Franela limpia y libre de mota.
- b. Guantes
- c. Escobilla
- d. Protección visual



Nunca use agua o cualquier otro liquido para la limpieza de cableado eléctrico, podría ocurrir daños permanentes.

## **INSTRUCCIONES.**

1. Limpiar el cableado eléctrico. Tomando la franela seca limpie el cableado eléctrico exteriormente. Asegúrese de no halar ni dañar el cableado eléctrico mientras realiza esta operación.
2. Verifique que no exista acumulación de polvo o mota en la caja donde están las partes electrónicas de la fresadora, drivers, tarjeta Arduino uno fuente de alimentación, en caso de que exista suciedad limpiar con una escobilla.
3. Verifique que el cableado eléctrico de fuerza entre la fuente y cada uno de los tres drivers de los motores estén en perfecto estado. Para ello realice la inspección visual de dichos cables, estos deben estar libres de cortes, y con el recubrimiento en buen estado, sin conexiones sueltas.
4. Verifique que el cableado eléctrico de señal entre la tarjeta Arduino y los tres driver de los motores se encuentra en perfecto estado. Para ello realice inspección visual de dichos cables, estos deben de estar libres de cortaduras y con el recubrimiento en buen estado, sin conexiones sueltas.
5. Verifique que el cableado eléctrico de alimentación de señal entre la fuente y el Arduino. Para ello realice inspección visual de dichos cables, estos deben de estar libres de cortaduras y con el recubrimiento en buen estado, sin conexiones sueltas.
6. Si encuentra alguno de los siguientes daños en el cableado eléctrico, refiérase a Reemplazo de cableado eléctrico.
  - Recubrimiento del cable gastado o quemado
  - Cables cortados

#### **4.3.2.3 REEMPLAZO DE CABLEADO ELECTRICO.**

Los materiales que se deben disponer para la realización de esta actividad son listados a continuación:

- a. Juego de destornilladores con mango aislante.
- b. Juego de llaves mixtas.
- c. Tenaza.
- d. Guantes de goma.



Al momento de manipular cableado eléctrico quítese las joyas, relojes de pulsera o cualquier otra prenda que cuelgue de su cuerpo.

#### **INSTRUCCIONES**

1. Localice el circuito eléctrico donde se encuentra el cable eléctrico dañado.
2. Detectado el circuito de la avería, desconectar el o los circuitos afectados y revisar que no estén dañadas las conexiones en la fuente de alimentación de energía y de los componentes conectados.
3. Reemplazar el cable eléctrico dañado con otro de similares características a los existentes, en todo el tramo afectado.
4. No remueva completamente el cable eléctrico dañado. A medida que se retire el cable dañado se debe ir instalando el nuevo.



#### **4.3.2.4 REVISION GENERAL DEL MOTORES DE PASO**

Los motores de paso necesitan un mantenimiento preventivo, no solo para prolongarles su vida útil sino también para la seguridad de quienes lo operan. El chequeo es fundamental y se recomiendan hacerse cada año.



Antes de iniciar cualquier acción de mantenimiento asegúrese de que el equipo no esté conectado a la energía eléctrica.

Materiales a utilizar para revisión general de los motores de paso.

- a. Multímetro digital.
- b. Juego de llaves mixtas.
- c. Juego de destornilladores con mango aislante.

#### **INTRUCCIONES.**

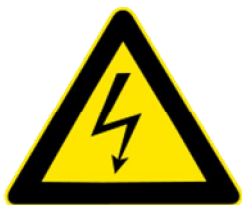
1. Verificar el acople motor-tornillo para hacer la revisión del eje expuesto del motor, este no debe de tener ninguna laceración o daño evidente.
2. Desconectar los cables que van desde el motor hasta los drivers para evitar que se haga algún movimiento que pueda ocasionar algún daño a la instalación de eléctrica.
3. Verificar con el multímetro digital el buen funcionamiento de las bobinas del motor, los motores son unipolares así que, el multímetro probaremos continuidad en cada bobina.
4. Limpieza de la carcasa exterior.

5. Revisar el estado y es su caso lubricar los casquillos o rodamientos del eje del motor.

#### **4.3.2.5 MANTENIMIENTO MAYOR DE LA FRESADORA CNC.**

Materiales a utilizar para mantenimiento mayor de la fresadora CNC.

- a. juego de desarmadores con mango de goma
- b. juego de llaves mixtas
- c. Juego de llaves Allen
- d. Franela limpia sin mota
- e. Multímetro digital



Antes de iniciar cualquier acción de mantenimiento asegúrese de que el equipo no esté conectado a la energía eléctrica.

#### **INSTRUCCIONES.**

1. Remueva los acoples de los motores para separar lo de la máquina, luego para los ejes X e Y remueva los topes que están a cada lado de los extremos de los tornillos, esto es necesario para desmontar las cajitas donde están alojados los rodamientos, con esto quedan libres los tronillos de los ejes.
2. Remueva las tuercas de cada una de las guías.
3. Retire una de las placas de lámina para los ejes X e Y para realizar el correcto desmontaje de cada eje.

4. Siga los mismos pasos para desmontar el eje Z.
5. Verifique que el cableado eléctrico interno este en perfecto estado. Para ello realice una inspección visual a los cables eléctricos y uniones para determinar si tienen cortes, el recubrimiento de encuentra desgastado, terminales expuestos o conexiones sueltas.
6. Si encuentra alguno de los siguientes daños en el cableado eléctrico, siga con el paso siguiente.
  - ✓ Recubrimiento del cable gastado o quemado
  - ✓ Cables cortados
4. Si alguna guía está dañada su acabo superficial, hacer el respectivo trabajo de pulido en el torno para mejorar su acabado, en caso de que el daño sea muy grave se debe de maquinar una nueva guía.
5. Verificar los hilos de los tornillos de potencia, estos deben de estar en perfecto estado, en caso de que tengan algún daño, se debe de constatar que pueda reparar por medio de una terraja con su respectivo paso, o en el torno, en caso de que no se pueda reparar se debe de maquinar un nuevo tornillo.
6. En el caso de las camisas y tuercas se debe de verificar los mismo que en el caso de las guías y tornillo, solo que para estas piezas se debe de verificar pulidos y roscas internas, para el caso de las camisas se debe de tener especial atención a la hora de tratar de repararlas pues se necesitan una precisión alta para no desalinear los ejes, lo mismo en el caso de las tuercas.

## 4.4 GUIA DE LABORATORIO 1.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

DEPARTAMENTO DE PROCESOS DE FABRICACION



### LABORATORIO 1

"GERERACION DE GEOMETRIAS Y G-CODE CON SOTFWARE INKSCAPE Y PLUG-IN  
GCODETOOLS"

ASIGNATURA: \_\_\_\_\_.

CICLO: \_\_\_\_\_, AÑO: \_\_\_\_\_.

Nombre del Catedrático de la asignatura: \_\_\_\_\_.

Nombre de Alumnos: \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_.

## 1. OBJETIVO GENERAL.



Lograr que el estudiante tenga una experiencia en la generación de geometrías simple, partiendo de estas geometrías generar trayectorias y códigos G de maquinado que serán necesarios para la simulación y posterior maquinado de geometrías.

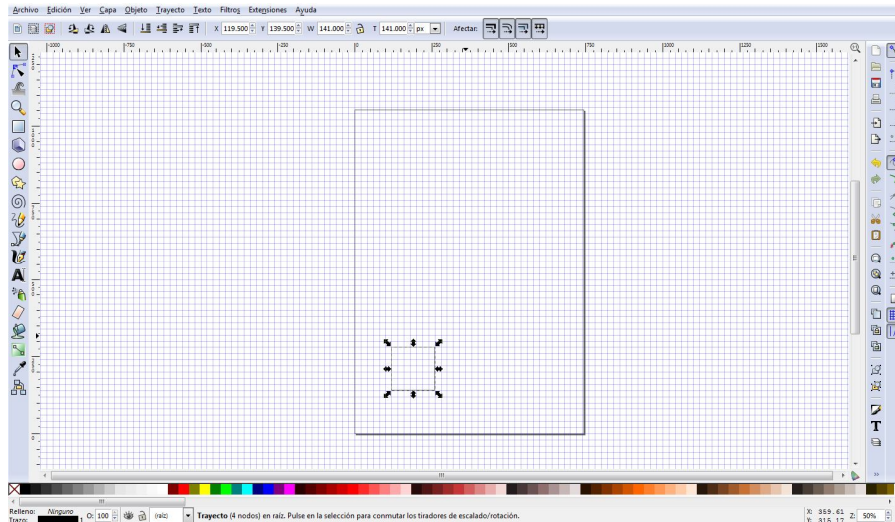
## EQUIPO A UTILIZAR

- Computadora, el programa INKSCAPE puede correrse en LINUX UBUNTU y en Windows en nuestro caso se ha corrido en Windows aunque perfectamente se pueden hacer las misma tareas si el programa se corre en LINUX UBUNTU.

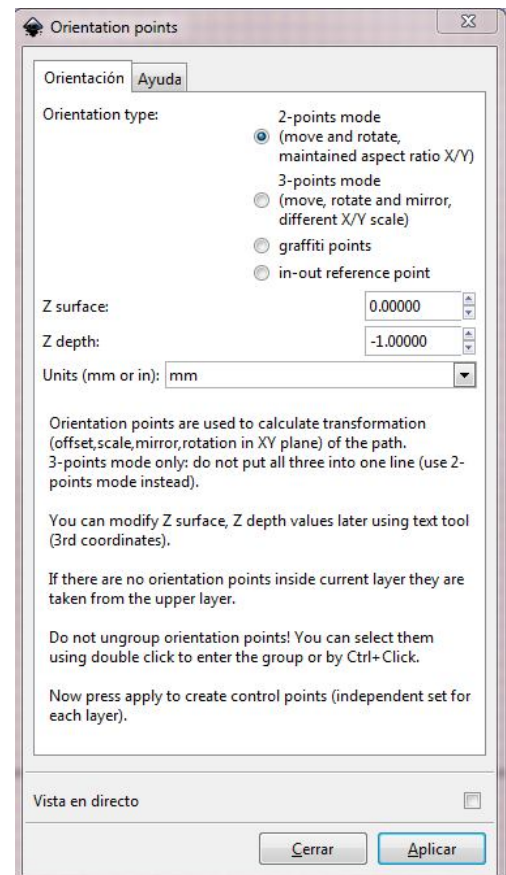
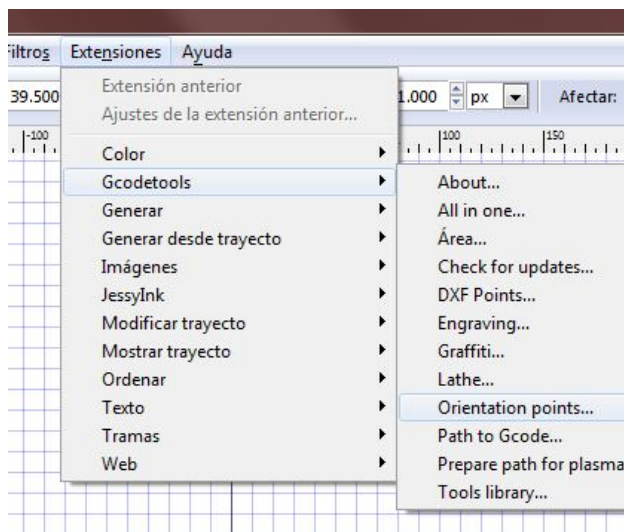
NOTA: Si desea conocer más a cerca de la utilización de INKSCAPE, ver el manual del Anexo 5.

## PROCEDIMIENTO

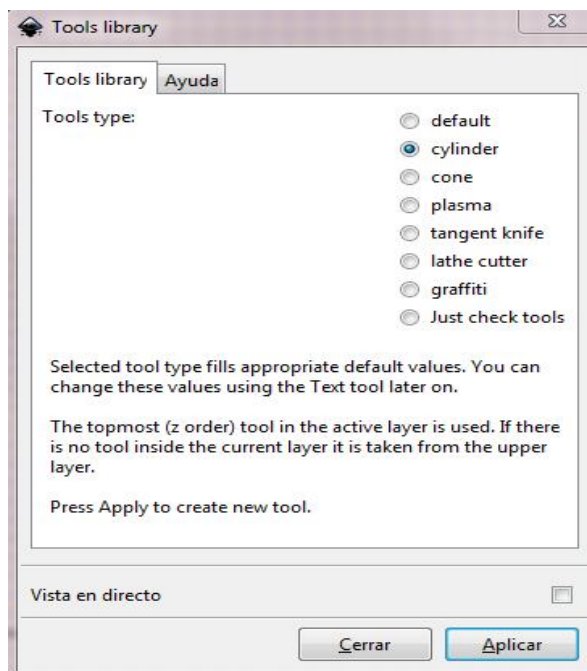
1. Busque el icono del programa  y ejecútelo; se habilitará la ventana.
2. Ubique el cursor sobre icono de curva Bézier  para realizar geometrías simples; dibuje un cuadrado con esta herramienta. Para facilitar el trazo, haga clic sobre el botón Ver y se desplegará el menú haga, luego haga clic sobre Rejilla, la ventana tendrá el aspecto de la figura.



- Después de dibujar el cuadrado, posicione el cursor sobre el menú **Extensioes**, coloque el cursor sobre el menú **Gcodetools** y localice la opción **Orientation points** como lo indica la figura.



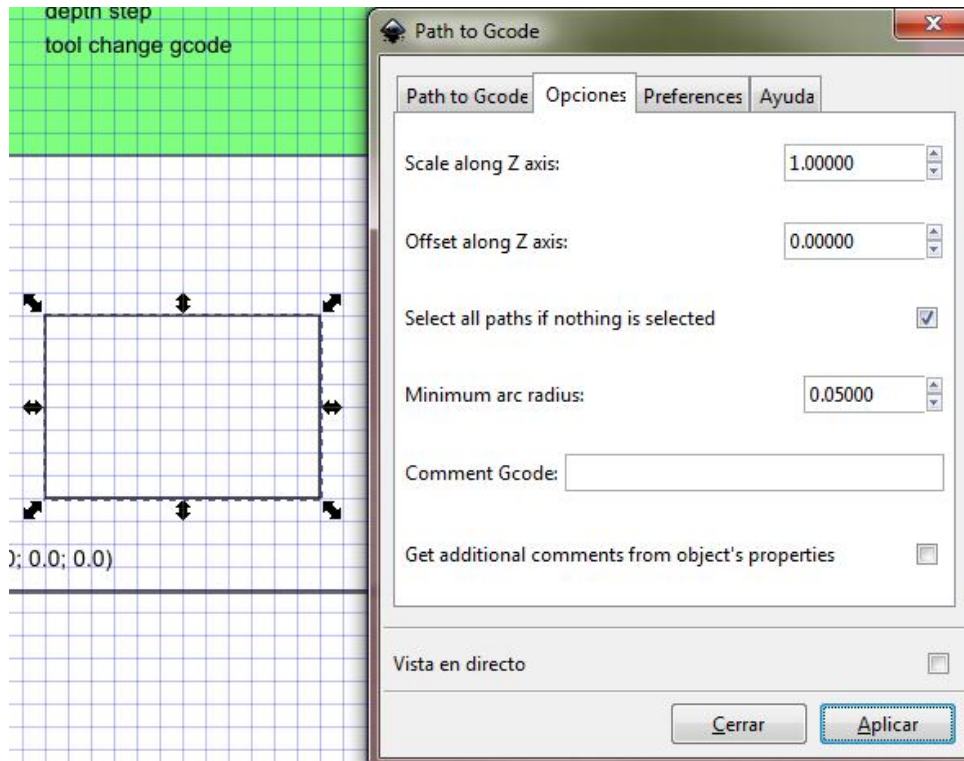
- Se abrirá el cuadro de dialogo seleccione como se muestra en la figura, clic en aplicar para que el programa defina sus puntos de referencia respecto a la geometría, el vértice de la hoja será el origen de coordenadas para el programa Gcode.
- Para seleccionar la herramienta de corte vamos al menú **Extensiones** y seleccionamos la opción tools library, se despliega el siguiente cuadro de dialogo, para realizar el fresado de nuestra geometría, clic en aplicar.



- A continuación despliega el siguiente cuadro de dialogo en donde podemos modificar los parámetros de: diámetro de fresa, velocidad en vacío, avance según lo requiera nuestras necesidades.

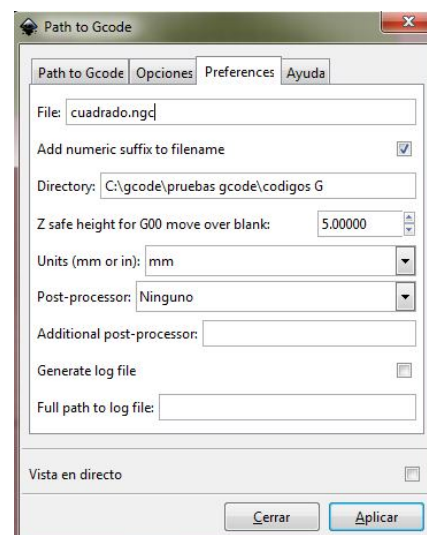
name	Cylindrical cutter
id	Cylindrical cutter 0001
diameter	10
feed	400
penetration angle	90
penetration feed	100
depth step	1
tool change gcode	(None)

7. Seleccionamos la geometría que deseamos mecanizar, una vez seleccionados, nuevamente vamos al menú extensiones y escogemos la opción Path to Gcode, en la lengüeta opciones, verificamos que todos los campos estén correctos.



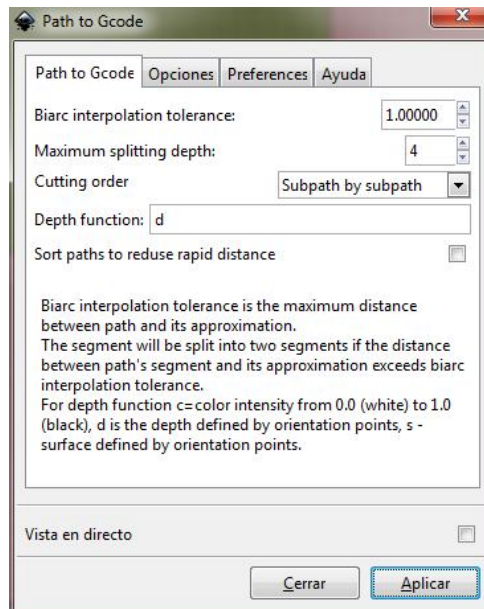
8. Revisamos la lengüeta preferences, asignamos nombre al archivo, directorio donde se guardara el archivo y la altura de seguridad para los movimientos en vacío.

En Linux para la dirección del directorio se escribe así: `/home/` => `/home/[TU_NOMBRE_DE_USUARIO]...`

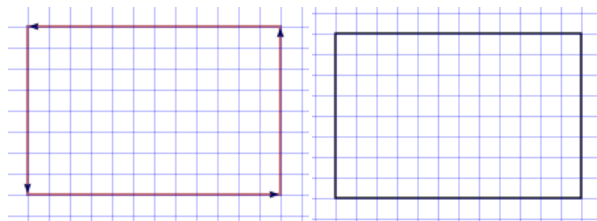




9. Examinamos la lengüeta Path to code para corroborar sus parámetros como en la siguiente figura, clic en aplicar y veremos cómo representa en el archivo inkscape la ruta del maquinado indicando la trayectoria de la herramienta de corte.



Se muestra la diferencia entre la geometría simple y la geometría indicando la trayectoria de la herramienta de corte.



## 4.5 GUIA DE LABORATORIO 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

DEPARTAMENTO DE PROCESOS DE FABRICACION



### LABORATORIO 2

"SIMULACION DE TRAYECTORIAS DE MAQUINADO EN SOFTWARE TXAPUCNC\_TX Y  
MAQUINADO DE PIEZAS"

ASIGNATURA: \_\_\_\_\_.

CICLO: \_\_\_\_\_, AÑO: \_\_\_\_\_.

Nombre del Catedrático de la asignatura: \_\_\_\_\_.

Nombre de Alumnos: \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_.

## 2. OBJETIVO GENERAL.

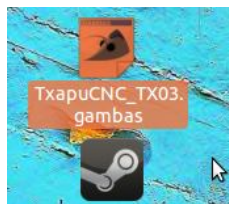
Determinar los parámetros básicos en la simulación de las trayectorias de maquinado.

### EQUIPO A UTILIZAR

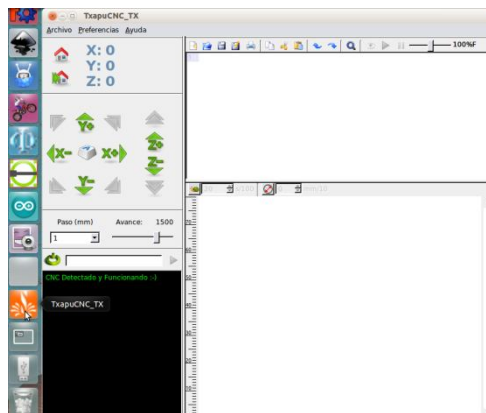
- Computadora, el programa TxapuCNC\_TX solo puede ser ejecutado en sistema operativo LINUX UBUNTU.

### PROCEDIMIENTO.

Inicie el programa doble clic en el icono del programa como aparece en la figura.



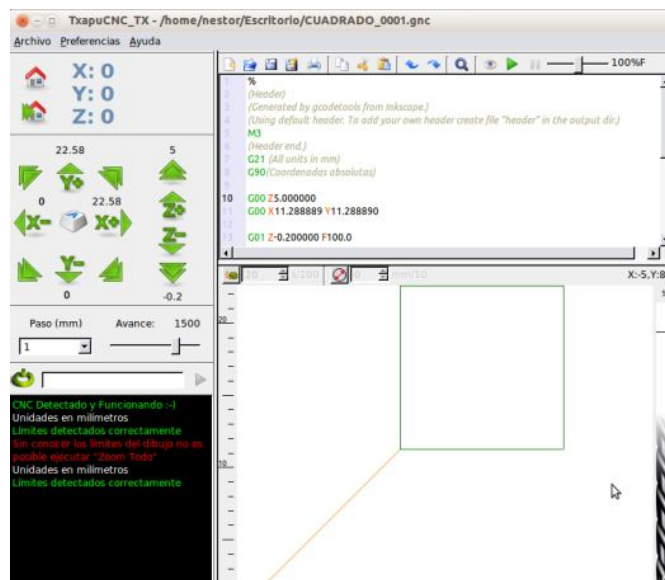
Al iniciarse el programa tiene la siguiente apariencia, a la izquierda aparece un icono que indica que el programa está activo y listo para realizar simulaciones, como se puede observar en la consola de salida muestra en estado del sistema y despliega un mensaje que se ha detectado la fresadora CNC, esto sucede cuando la computadora y fresadora están conectadas.



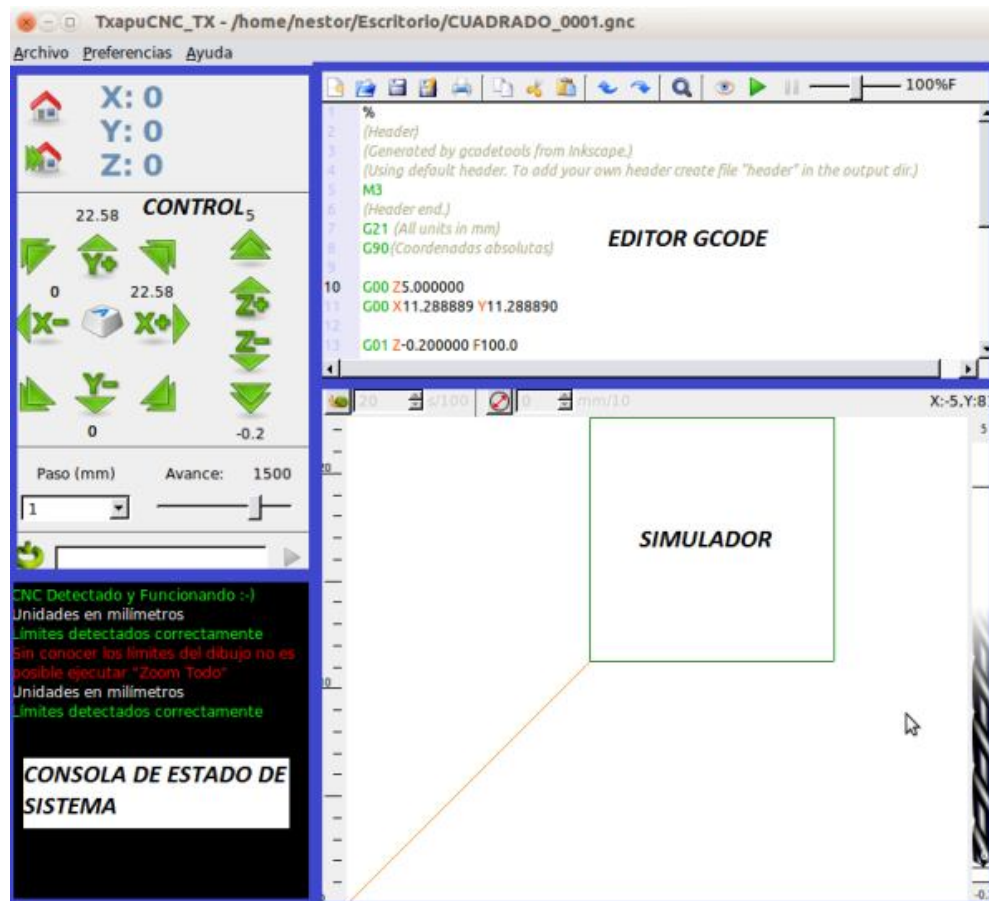
Para llamar un archivo con los códigos G para maquinar una trayectoria dada, coloque el puntero en el icono de abrir archivo como lo muestra la figura, haga clic en dicho icono.



Se despliega el menú de búsqueda para los archivos Gcode, donde se buscan los archivos donde se guardaron según el directorio que se definió en el laboratorio anterior (si se realizó el laboratorio anterior en una computadora con sistema Windows, entonces copie los archivos que se generaron en una memoria USB, luego conectarlo a la computadora donde está instalado el software de simulación, para poder extraer los archivos desde ahí), seleccione el archivo que se desea simular la pantalla se muestra como la siguiente figura.



En la siguiente imagen se describe cada una de las partes de la ventana del programa para una mejor ilustración.

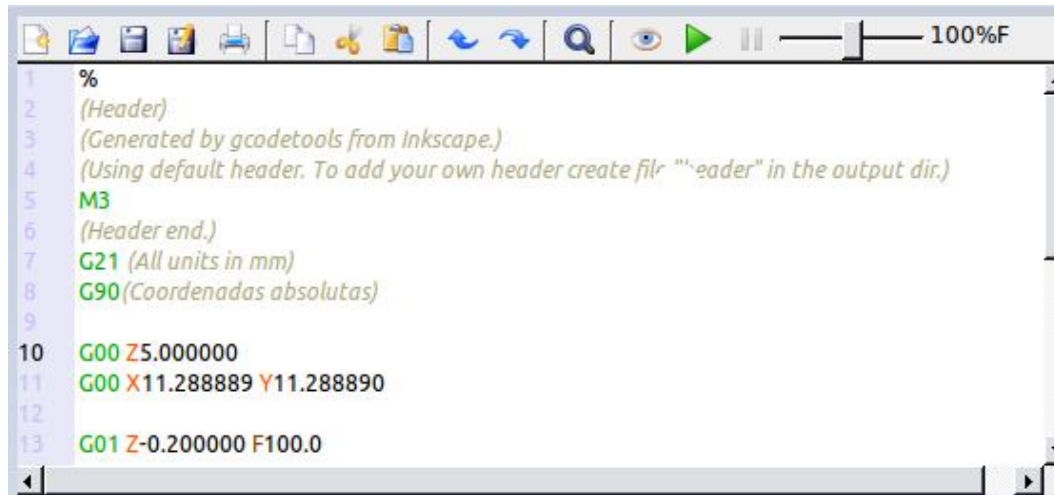


## Editor gcode

Es configurable desde el menú/Preferencias/Editor.

El editor tiene una barra de herramientas con los comandos más usuales en este tipo de programas.

Hay que destacar los últimos 5 controles, que son los específicos de CNC.



```
1 %
2 (Header)
3 (Generated by gcodetools from Inkscape.)
4 (Using default header. To add your own header create file ""-eader" in the output dir.)
5 M3
6 (Header end.)
7 G21 (All units in mm)
8 G90 (Coordenadas absolutas)
9
10 G00 Z5.000000
11 G00 X11.288889 Y11.288890
12
13 G01 Z-0.200000 F100.0
```



El primero visualiza en el simulador el programa cargado en el editor. Este proceso se ejecuta automáticamente al cargar un programa G-Code.

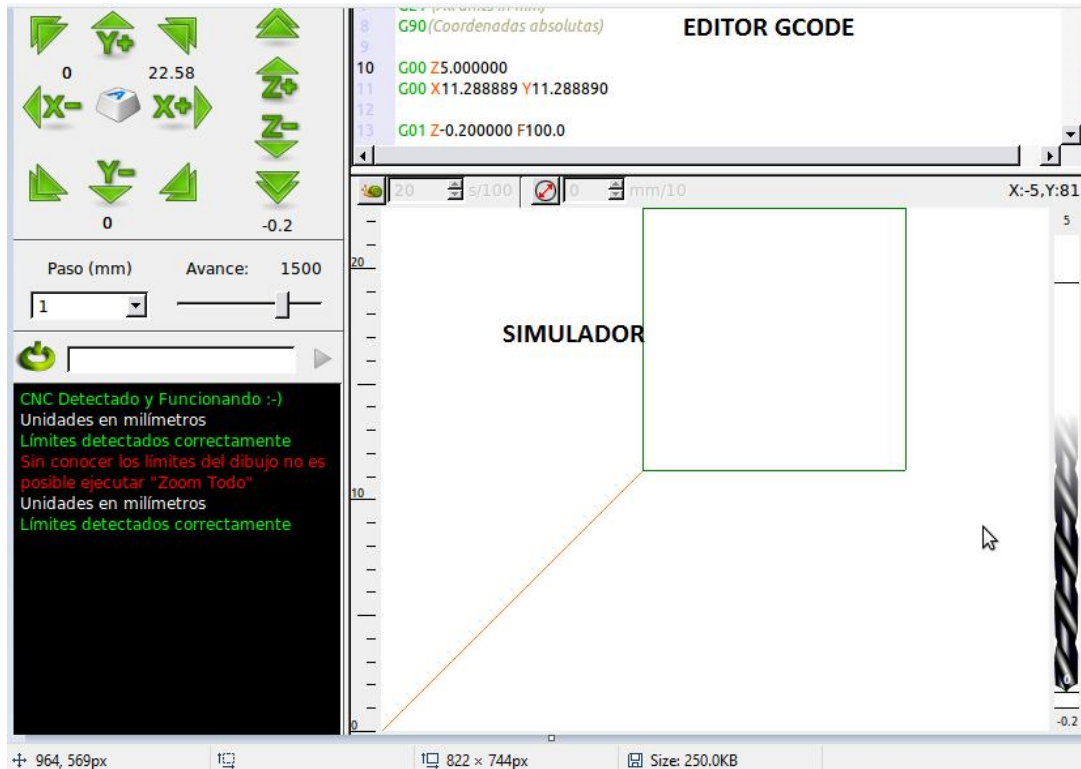


El segundo Ejecuta el programa en la máquina , es decir envía los comandos al Arduino, y simultáneamente lo visualiza en el simulador.



El tercero es el pulsador de parada, que detiene tanto la simulación como el envío de datos al controlador Arduino.

## Simulador



Esta ventana muestra una visualización del archivo cargado en el editor.



Para que se visualice el archivo (si se ha cargado un archivo se visualiza automáticamente) es necesario apretar el botón de simulación situado en la barra de herramientas del editor

La simulación puede ser instantánea o pausada para ver la ejecución de cada instrucción.

El modo pausado se activa al dar clic el botón con la imagen de un caracol. Al activarse se puede modificar el tiempo de espera entre la visualización de cada paso expresado en centésimas de segundo.

También nos puede interesar que el programa simule el diámetro de la herramienta de mecanizado.



Al activarlo podemos modificar el diámetro de la herramienta expresado en décimas de milímetro.

NOTA: Una vez modificado será necesario dar clic en el botón de simulación situado en el editor para ver su efecto.

Si se quiere analizar una parte del mecanizado puedes arrastrarlo con el puntero de ratón (haciendo clic con el botón izquierdo y arrastrándolo mientras se mantiene pulsado) y también puedes hacer zoom (desplazando la rueda del ratón).

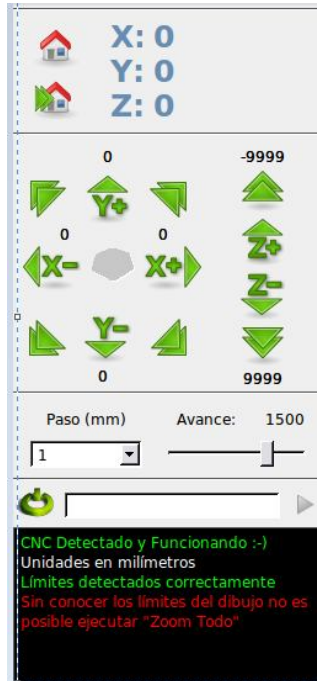
En la parte inferior izquierda del editor existe otro botón que coloca la simulación en el origen (no modifica la escala de dibujado).

En la parte derecha de la ventana del simulador vemos una representación de la herramienta de mecanizado y su posición en el eje Z. Los números situados encima y debajo de la imagen, son los valores máximos y mínimos del eje Z, encontrados en el archivo cargado en el editor.

El color de la herramienta de mecanizado varía para indicar si el motor del cabezal está encendido o apagado.



## Control



La última ventana es la del control

Desde aquí podemos mandar comandos independientes al controlador (Arduino). Algunos de estos comandos disponen de un botón propio.

NOTA: Los indicadores de posición situados en la parte superior, no indican la posición real mientras el CNC se está moviendo. Solamente cuando ha llegado a la posición de destino. Mientras se mueve el CNC, se muestran los puntos de destino, y éstos parpadean indicando que se está moviendo. Al ser el controlador (Arduino) el encargado de mover los motores, TxapuCNC\_TX no sabe la posición del CNC, solamente cuando recibe la orden "ok" TxapuCNC\_TX conoce que el CNC ha llegado a la posición especificada.

Define el origen de coordenadas del CNC, enviando el comando: "G28 X0 Y0 Z0"

Si previamente se ha definido el origen de coordenadas, el programa podrá mandar la orden de ir al origen, "GO X0 Y0 Z0".

Con los botones antes mencionados hacemos que el CNC se desplace a los límites del mecanizado (los valores representados en color negro) a la velocidad indicada por el "Avance"

Con estos pulsadores movemos un paso el eje en el sentido indicado y a la velocidad de avance especificada por el desplazable. El tamaño del paso será el indicado en la lista desplegable "Tamaño de paso".

Si en este control hemos seleccionado la opción "Continuo", el control enviará repetidamente al CNC la orden de moverse 0,1mm (ó 0,01' pulgadas si las unidades son pulgadas) en el sentido especificado mientras mantengamos pulsado un botón.

Por ejemplo, si apretamos "Y-" enviaremos al CNC el siguiente comando: "G1 Y X(actual-5) F500".

Estas teclas (X-, X+, Y-, Y+) pulsadas con el ratón se pueden pulsar directamente en el teclado. Si además pulsamos la tecla "Control", el paso será más pequeño, y si pulsamos simultáneamente la tecla "Mayúsculas", el paso será mayor.

Por último, el cuadro de texto y el botón situado a su derecha permiten enviar al CNC cualquier comando que escribamos en el cuadro de texto.

NOTA: Hasta que no se haya establecido una conexión con el Arduino, no estarán accesibles ninguno de los botones y comandos que permiten enviar comandos Gcode al Arduino. Solamente podemos utilizar el programa como un sencillo editor de texto para modificar programas Gcode.

TxapuCNC\_TX reconoce Archivos en milímetros y pulgadas, con coordenadas absolutas o relativas.

# CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

## 5.1 CONCLUSIONES

A partir de todo el trabajo realizado y como resultado de las diferentes etapas en las que se llevó a cabo la ejecución del mismo, se concluye lo siguiente:

1. El diseño y la construcción de una máquina fresadora para uso didáctico haciendo uso de Control Numérico por Computadora CNC fue realizado de manera satisfactoria.
2. Los procesos de maquinado de distintos tipos de materiales y correspondientes herramientas de corte fueron estudiados y aplicados para el adecuado diseño de la máquina y toma de criterios para el desarrollo de la misma.
3. La utilización de hardware libre para controlar y operar la máquina ha representado un importante ahorro en la construcción de la misma ya que de haber utilizado un software patentado el costo del mismo incrementaría hasta en un 150% el costo total del proyecto según datos investigados en el mercado nacional.
4. Llevar a cabo la construcción de la máquina con materiales y componentes de fácil obtención el mercado local representa una de las mayores ventajas puesto que los costos tienden a bajar si se desea realizar una producción en serie de la misma.
5. Las guías de laboratorio son adecuadas para poner en práctica las operaciones principales de la máquina y demuestran que la máquina es capaz de realizar eficientemente las trayectorias indicadas por el usuario.

Ahora bien, en cuanto al desempeño de la máquina y de acuerdo a lo observado en las distintas pruebas de maquinado realizadas se tienen las siguientes conclusiones:

6. La máquina es capaz de entender ejecutar satisfactoriamente las indicaciones generadas por los códigos de control numérico mostrados en la Tabla 2.6 de este documento.
7. La utilización de la máquina es fácil de llevar a cabo puesto que su lógica de manejo es simple, esto permite que usuarios con poco conocimiento de máquinas CNC sean capaces de utilizarla sin mayores complicaciones siempre y cuando se apeguen a las instrucciones establecidas en los manuales presentados en el Capítulo IV de este documento.
8. El maquinado de materiales blandos como cobre, nylon y madera puede ser ejecutado con velocidades máximas de avance de hasta 35 mm/min para obtener un maquinado uniforme y de calidad.
9. Respecto del maquinado de cobre, se concluye que la máquina es apta para la generación de trazos finos con fresas de hasta 0.80 mm que pueden ser aplicados para la elaboración de tarjetas para circuitos impresos y con ello, evitar la utilización de químicos abrasivos para la elaboración de las mismas; además, la elaboración de este tipo de tarjetas con la máquina conlleva a un acabado más fino y por consiguiente, a evitar problemas de interferencia entre las líneas del circuito a trazar.
10. El maquinado de aluminio no puede ser ejecutado por la máquina debido ya que para lograrlo, se requiere una velocidad de avance sumamente pequeña y la utilización de fresas con durezas lo suficientemente altas como para evitar que el efecto "plastilina" del aluminio provoque la deformación del trazo. En este punto, es importante mencionar que el maquinado de este material no está contemplado en los alcances del proyecto.

## 5.2 RECOMENDACIONES.

Con objeto de mejorar el desempeño de la máquina y contribuir a la realización de otros proyectos se recomienda lo siguiente:

1. Es recomendable que no se lleven a cabo maquinados en aluminio puesto que la máquina no tiene la capacidad para ello; en caso de que se requiera hacerlo, utilizar una velocidad de avance de 10 mm/min y una profundidad de corte máxima de 0.2 mm por capa para evitar sobrecalentar los motores y/o quebrar la herramienta de corte.
2. Actualmente, el motor del cabezal está controlado por un reóstato que le regula la velocidad de forma manual y las funciones on/off también se realizan de forma manual; por lo tanto, se recomienda la colocación de un relé y la integración del mismo al circuito de control para que estas funciones sean automáticas.
3. Es recomendable sustituir el motor del Eje Z por un motor unipolar NEMA 23, ya que el que se ha colocado es un motor bipolar configurado para conexión unipolar; actualmente, el motor se calienta de manera significativa debido a que, por la configuración electrónica elaborada, éste siempre permanece energizado.
4. A partir del ítem anterior, también se recomienda la elaboración de un módulo de control que permita desenergizar los motores cuando estos no se encuentren ejecutando órdenes.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

**Introducción al control numérico por computadora**, Monografías, disponible en:  
<http://www.monografias.com/trabajos14/manufaccomput/manufaccomput.shtml>

**Historia de las fresadoras**, Wikipedia Enciclopedia libre, disponible en:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Control_num%C3%A9rico)

**Tipos de fresadoras**, Wikipedia Enciclopedia libre, disponible en:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Control\\_num%C3%A9rico](http://es.wikipedia.org/wiki/Control_num%C3%A9rico)

**Motores de Paso**, Wikipedia Enciclopedia libre, disponible en:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_paso\\_a\\_paso](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_paso_a_paso)

**Stepper motors**, Carlos Canto, UASLP, disponible en:  
[http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES\\_8051\\_PDF/21\\_MOTOR.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/21_MOTOR.PDF)

**Tutorial motores de paso**, Todorobot, disponible en:  
<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

**Motores paso a paso**, Monografías, disponible en:  
<http://www.monografias.com/trabajos17/motor-paso-a-paso/motor-paso-a-paso.shtml>

**Microcontroladores**, Wikipedia Enciclopedia libre disponible en :  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>

**Electrónica de Microcontroladores**, Carlos Canto, UASLP, disponible en:  
[http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES\\_8051\\_PDF/2\\_INTROD.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/2_INTROD.PDF)

**Arduino UNO**, Arduino-Tutoriales, disponible en:  
<http://arduino.cc/es/Tutorial/HomePage>

**Inkscape**, Dibujar con libertad, disponible en: <http://www.inkscape.org/es/>

**Txapuzas**, software cnc libre, disponible en: <http://txapuzas.blogspot.com/>

**Txapuzas**, hardware cnc libre, disponible en:  
<http://txapuzas.blogspot.com/2009/12/txapu-cnc-hardware.html>



# ANEXOS

---

**ANEXO 1. TABLA DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN ENTRE TORNILLO, TUERCA Y ARANDELA.**

TORNILLO	TUERCA Y ARANDELA			
	ACERO	BRONCE	LATON	HIERRO
ACERO SECO	0.15 - 0.25	0.15 - 0.19	0.15 - 0.23	0.15 - 0.25
ACERO LUBRICADO	0.11 - 0.17	0.10 - 0.15	0.10 - 0.16	0.11 - 0.17
BRONCE	0.08 - 0.12	-----	0.04 - 0.60	0.06 - 0.09

**ANEXO 2. TAMAÑOS DE ROSCAS CUADRADAS Y ACME.**

TAMAÑOS		ROSCA CUADRADA			ROSCA ACME		
PULGADAS	CM	Hilos por pulgada	DIÁMETRO MENOR		Hilos por pulgada	DIÁMETRO MENOR	
			PULGADAS	mm		PULGADAS	mm
1/4	0.635	10	0.163	4.140	16	0.188	4.775
5/16	0.793	10	0.163	4.140	14	0.241	6.121
3/8	0.952	8	0.266	6.756	12	0.292	7.417
7/16	1.111	8	0.266	6.756	12	0.354	8.763
1/2	1.270	6 ½	0.366	9.296	10	0.400	10.160
5/8	1.547	5 ½	0.466	11.836	8	0.500	12.700
3/4	1.905	5	0.575	14.605	6	0.583	14.808
7/8	2.222	4 ½	0.681	17.297	6	0.708	17.983
1	2.540	4	0.781	19.837	5	0.800	20.320
1 1/8	2.857	4	0.781	19.837	5	0.925	23.495
1 1/4	3.175	3 ½	1.000	25.400	5	1.050	26.670
1 3/8	3.492	3 ½	1.000	25.400	4	1.125	28.575
1 1/2	3.810	3	1.208	30.683	4	1.250	31.750
1 3/4	4.445	2 ½	1.400	35.560	4	1.500	38.100
2	5.080	2 ½	1.612	40.945	4	1.750	44.450
2 1/4	5.715	2 ½	1.862	47.295	3	1.917	48.692
2 1/2	6.350	2	2.063	52.400	3	2.167	55.042
2 3/4	6.985	2	2.313	58.750	3	2.417	61.392
3	7.620	1 ½	2.500	63.500	2	2.500	63.500
3 1/2	8.890	1 5/8	2.962	75.235	2	3.000	76.200
4	10.160	1 ½	3.418	86.817	2	3.500	88.900
4 1/2	11.430	1 ½	3.418	86.817	2	4.000	101.60
5	12.700	1 1/2	3.418	86.817	2	4.500	114.30

### ANEXO 3. TABLA DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES.

**Tabla B-3 Propiedades mecánicas de algunos aceros al carbón**

Datos de varias fuentes.\* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes para información más precisa

Número SAE/AISI	Condición	Resistencia a la cedencia a tensión (2% de deformación)		Resistencia a la última tensión		Alargamiento mayor de 2 pulg %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1010	Rolado en caliente	26	179	47	324	28	95
	Laminado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	Rolado en caliente	30	207	55	379	25	111
	Laminado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	Rolado en caliente	38	259	68	469	20	137
	Normalizado @ 1 650°F	50	345	75	517	32	149
	Laminado en frío	64	441	76	524	12	149
	Q&T @ 1 000°F	75	517	97	669	28	255
	Q&T @ 800°F	84	579	106	731	23	302
1035	Rolado en caliente	40	276	72	496	18	143
	Laminado en frío	67	462	80	552	12	163
1040	Rolado en caliente	42	290	76	524	18	149
	Normalizado @ 1 650°F	54	372	86	593	28	170
	Laminado en frío	71	490	85	586	12	170
	Q&T @ 1 200°F	63	434	92	634	29	192
	Q&T @ 800°F	80	552	110	758	21	241
1045	Rolado en caliente	45	310	82	565	16	163
	Laminado en frío	77	531	91	627	12	179
1050	Rolado en caliente	50	345	90	621	15	179
	Normalizado a 1 650°F	62	427	108	745	20	217
	Laminado en frío	84	579	100	689	10	197
	Q&T @ 1 200°F	78	538	104	717	28	235
	Q&T @ 800°F	115	793	158	1 089	13	444
1060	Rolado en caliente	54	372	98	676	12	200
	Normalizado @ 1 650°F	61	421	112	772	18	229
	Q&T @ 1 200°F	76	524	116	800	23	229
	Q&T @ 1 000°F	97	669	140	965	17	277
	Q&T @ 800°F	111	765	156	1 076	14	311
1095	Rolado en caliente	66	455	120	827	10	248
	Normalizado @ 1 650°F	72	496	147	1 014	9	13
	Q&T @ 1 200°F	80	552	130	896	21	269
	Q&T @ 800°F	112	772	176	1 213	12	363
	Q&T @ 600°F	118	814	183	1 262	10	375

\* SAE Handbook, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA; Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, OH.

## **ANEXO 4. PLANOS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS**

En las siguientes páginas se muestra el conjunto de planos que fueron aprobados por los asesores:

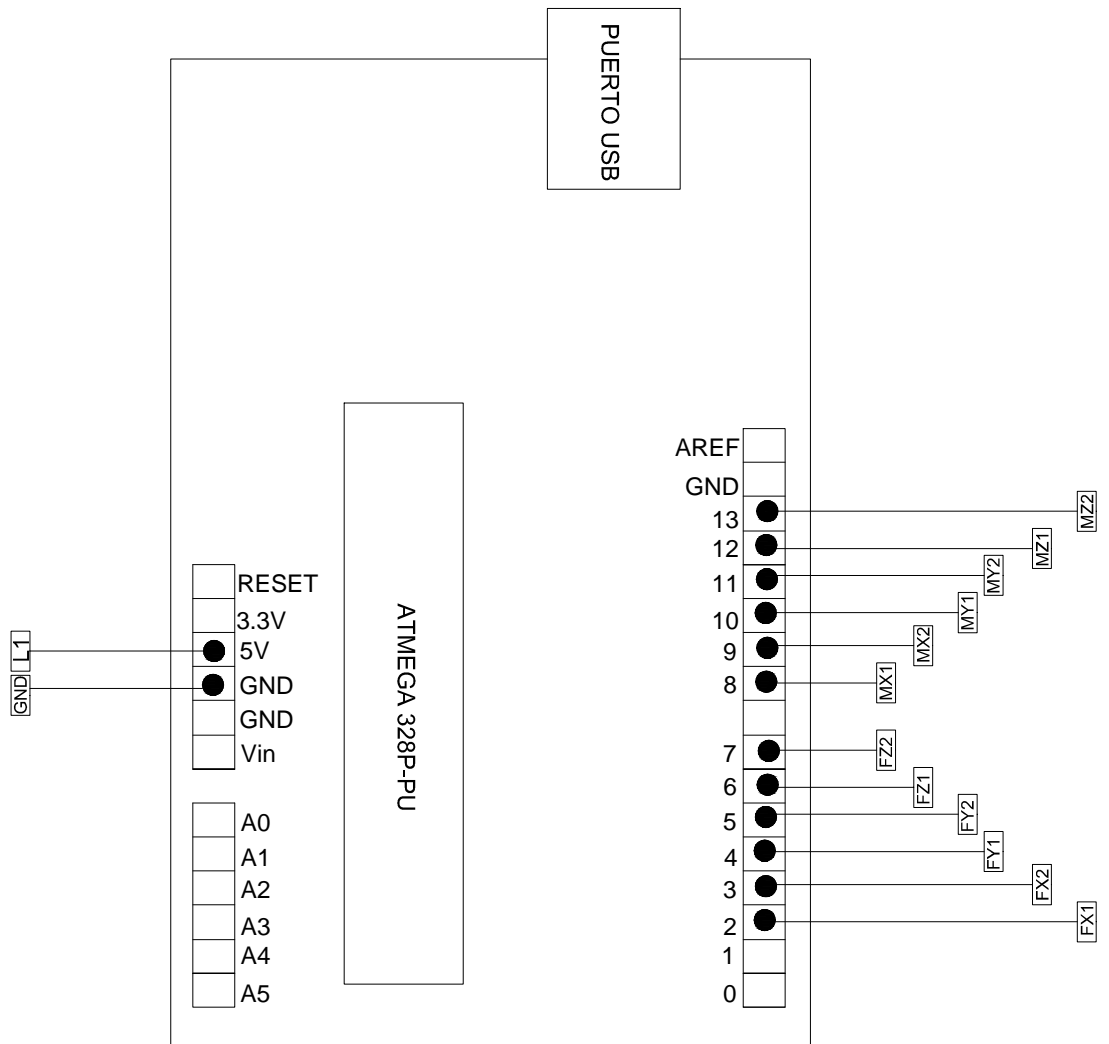
Ing. Rigoberto Velásquez Paz


Ing. Carlos Pocasangre Jiménez

Los planos fueron aprobados en Noviembre de 2013.

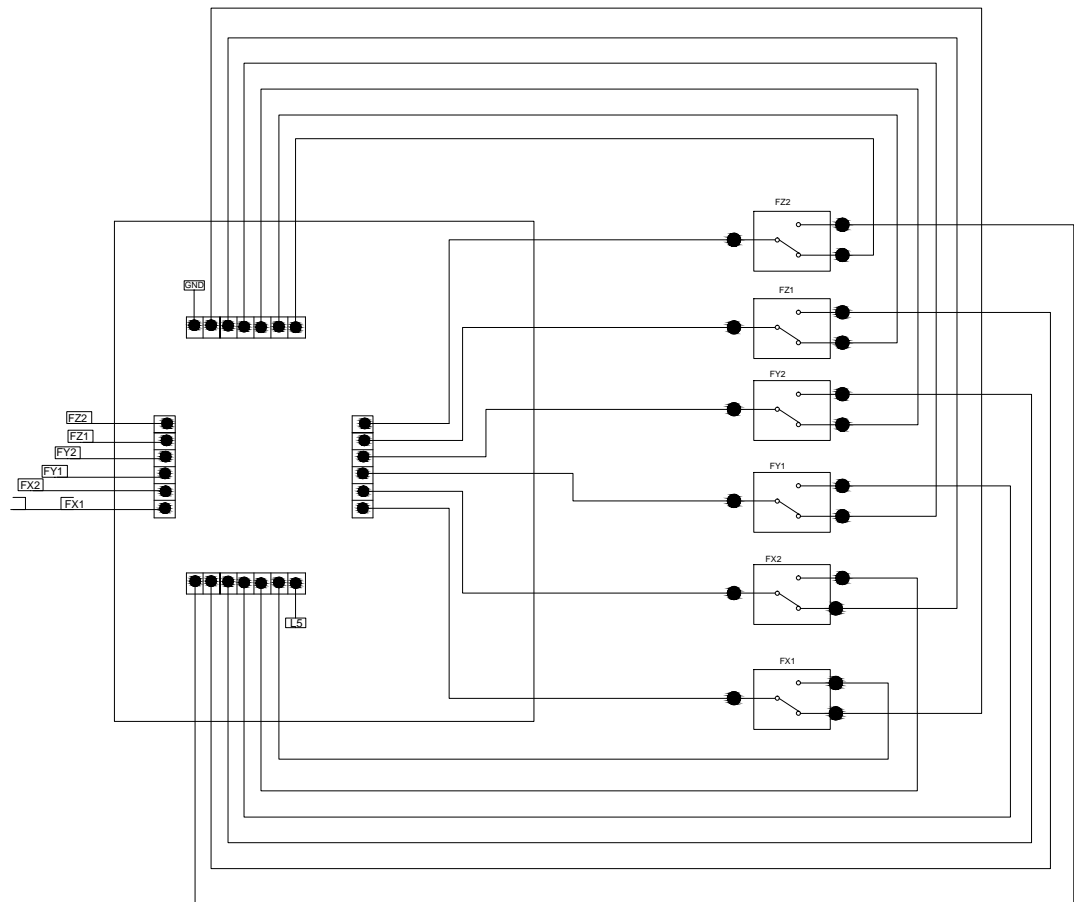
Total de planos : 6

## CONEXION DE PINES PARA SEÑALES A MOTORES Y FINALES DE CARRERA




		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha:	Septiembre 2013
	Designación:	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	Plano: 1/6
	Conjunto:	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
ESCALA:	PROPIETARIO:		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO		
s/e	<b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>				

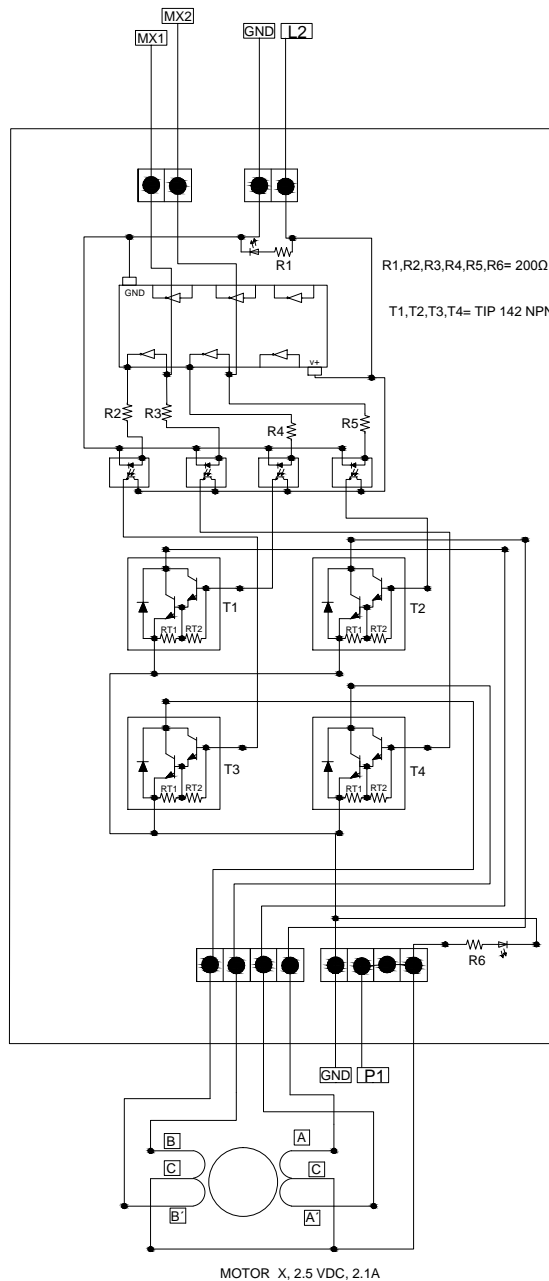
## CONEXION DE FINALES DE CARRERA




FX1,FX2,FY1,FY2,FZ1,FZ2: FINALES DE CARRERA DE CADA EJE DE TRABAJO

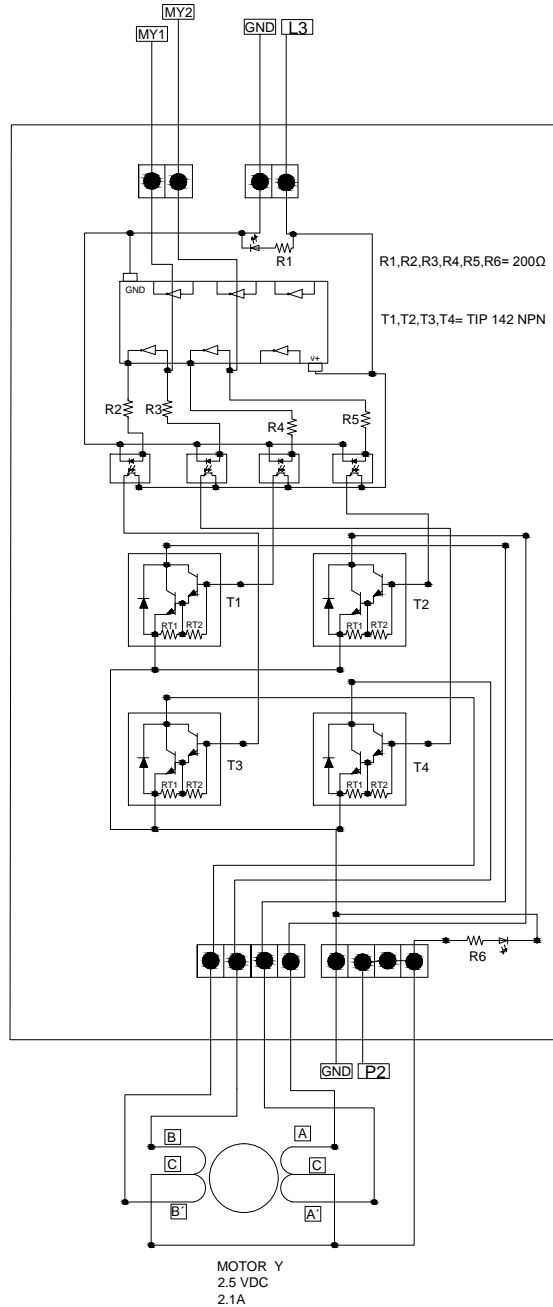
		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013
	Designación:	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
	Conjunto:	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	
ESCALA: s/e	PROPIETARIO: <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	


# CIRCUITO DE POTENCIA Y CONEXIÓN MOTOR EJE X



		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013		
	Designación:	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:		
	Conjunto:	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	Plano: <b>3/6</b>		
ESCALA: s/e	PROPIETARIO: <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO		

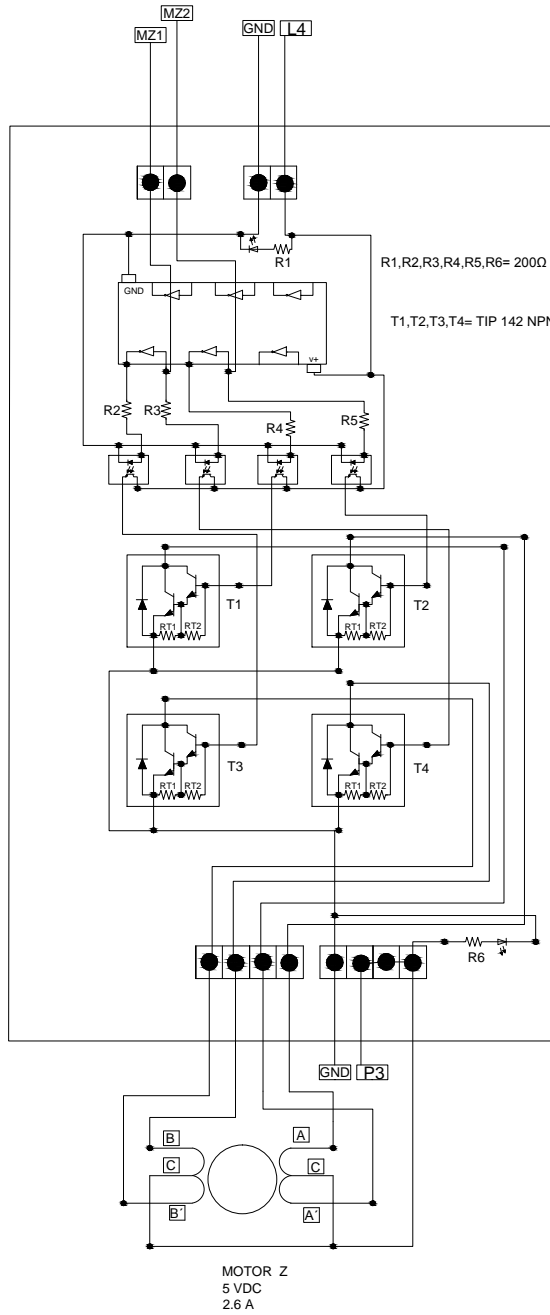
# CIRCUITO DE POTENCIA Y CONEXIÓN MOTOR EJE Y




		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación:	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto:	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	Plano: <b>4/6</b>	
ESCALA: s/e	PROPIETARIO: <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	

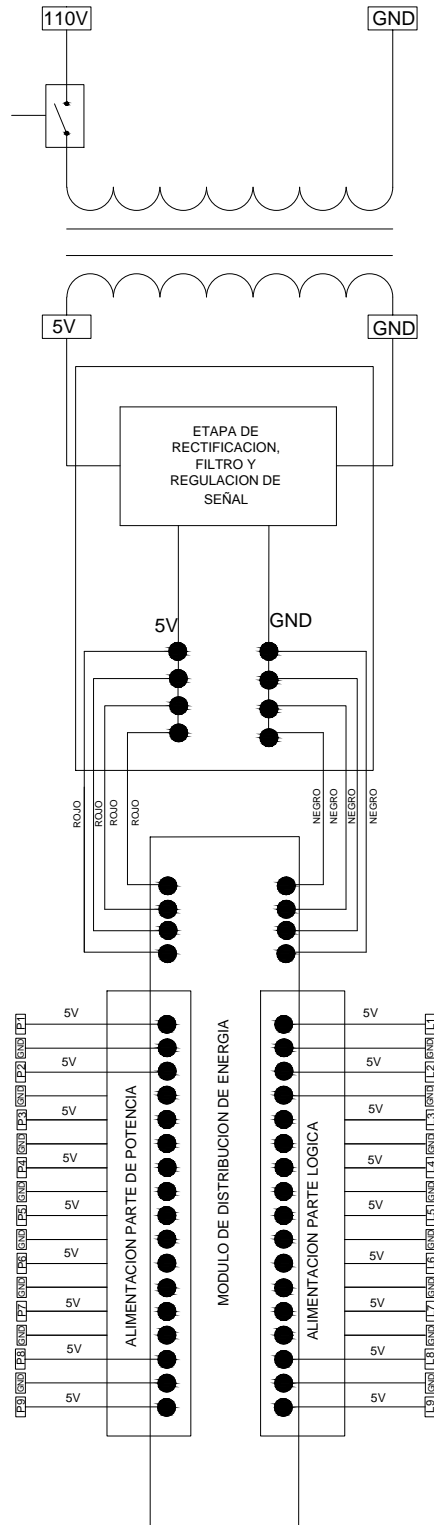



# CIRCUITO DE POTENCIA Y CONEXIÓN MOTOR EJE Z



		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación:	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto:	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	Plano: <b>5/6</b>	
ESCALA: s/e	PROPIETARIO: <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	

# FUENTE DE ALIMENTACION PARA CIRCUITOS LOGICOS , DE PONTECIA Y MOTORES



		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha:	Septiembre 2013
	Designación:	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	Plano: <b>6/6</b>
	Conjunto:	Revisó:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
ESCALA:	PROPIETARIO:		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO		
s/e	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				

## **ANEXO 5. PLANOS CONSTRUCTIVOS Y DE CONJUNTO.**

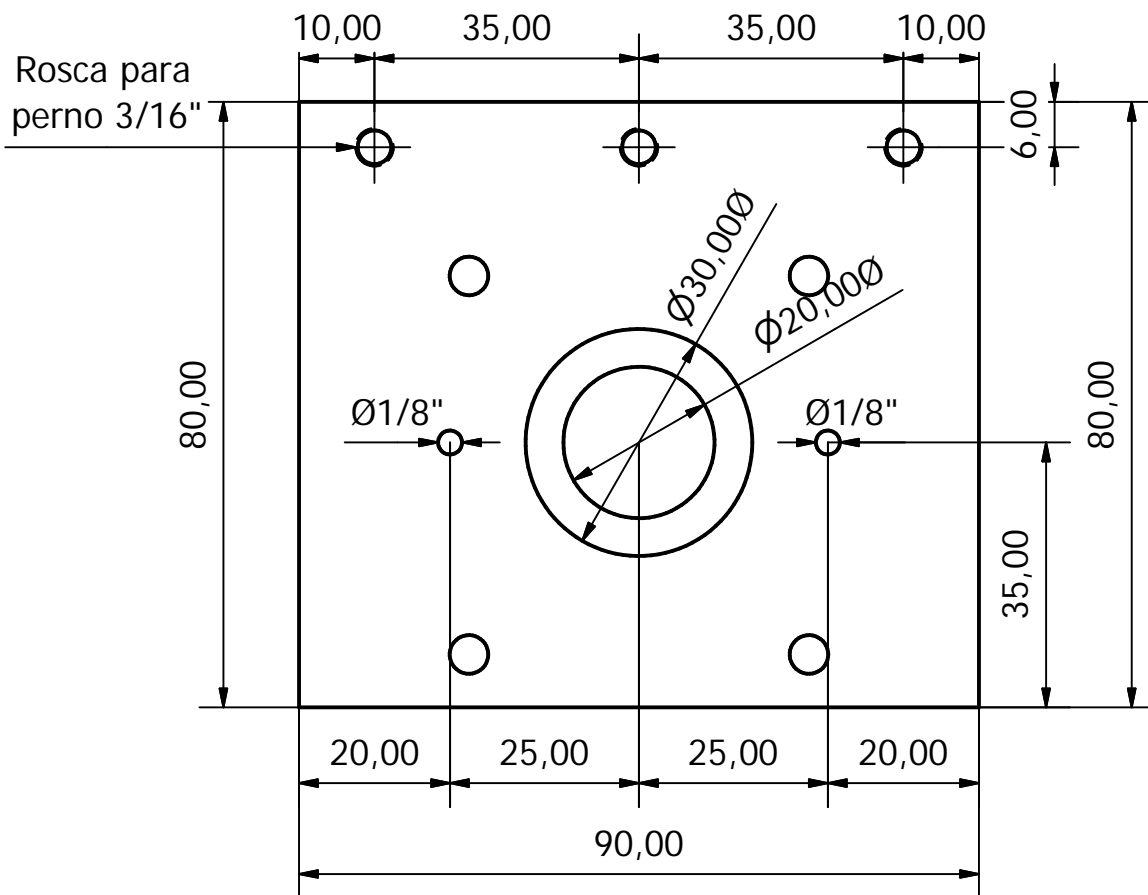
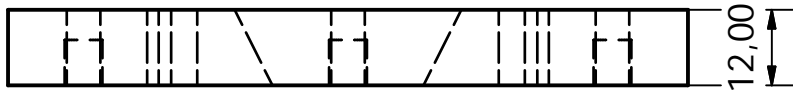
En las siguientes páginas se muestra el conjunto de planos que fueron aprobados por los asesores:

Ing. Rigoberto Velásquez Paz

Ing. Carlos Pocasangre Jiménez


Los planos fueron aprobados en Septiembre de 2013.

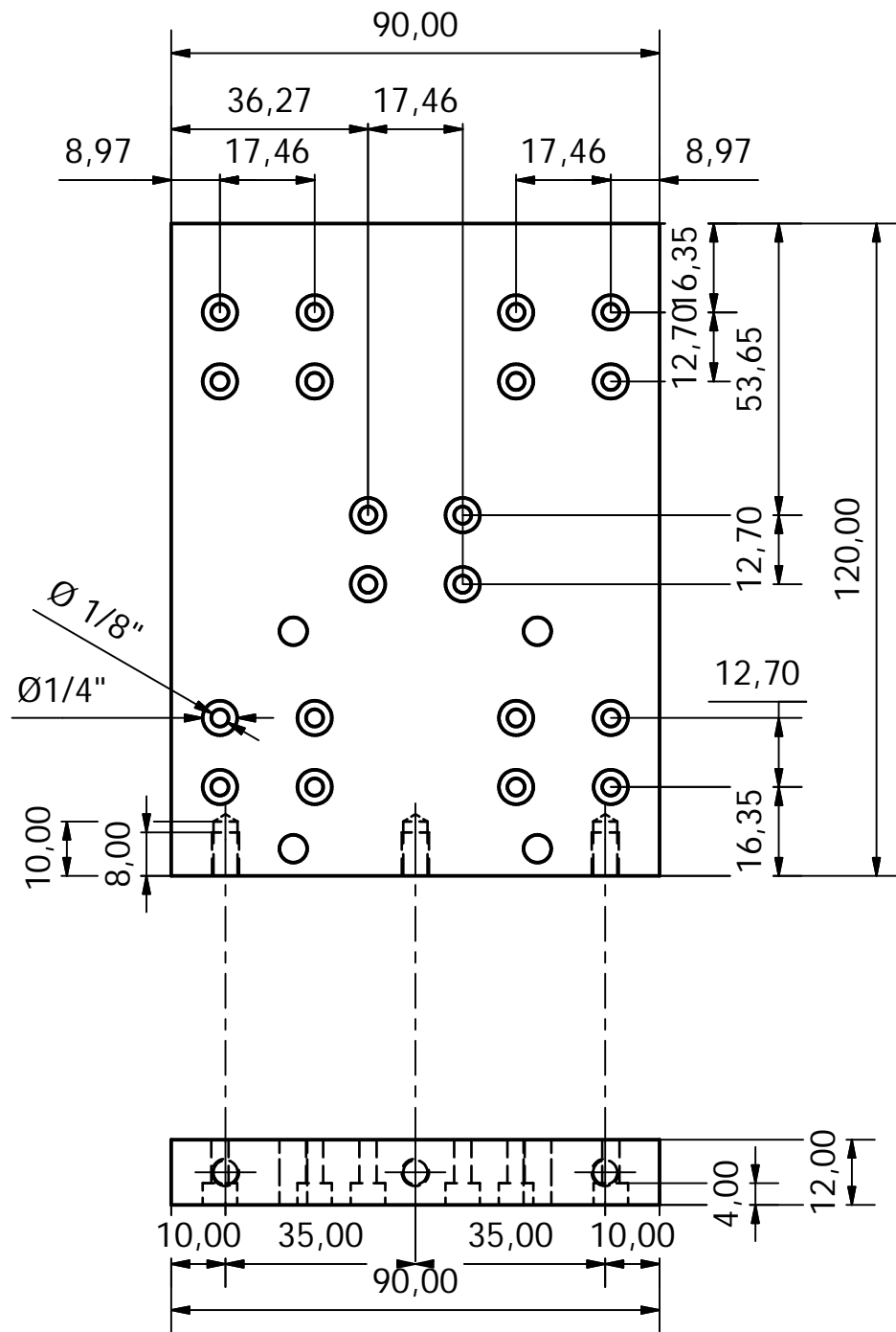
Total de planos : 25.



**NOTAS:**


- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- El diametro de los agujeros roscados es para perno de 3/16".
- Cantidad de Piezas : 1
- Material: Nylon

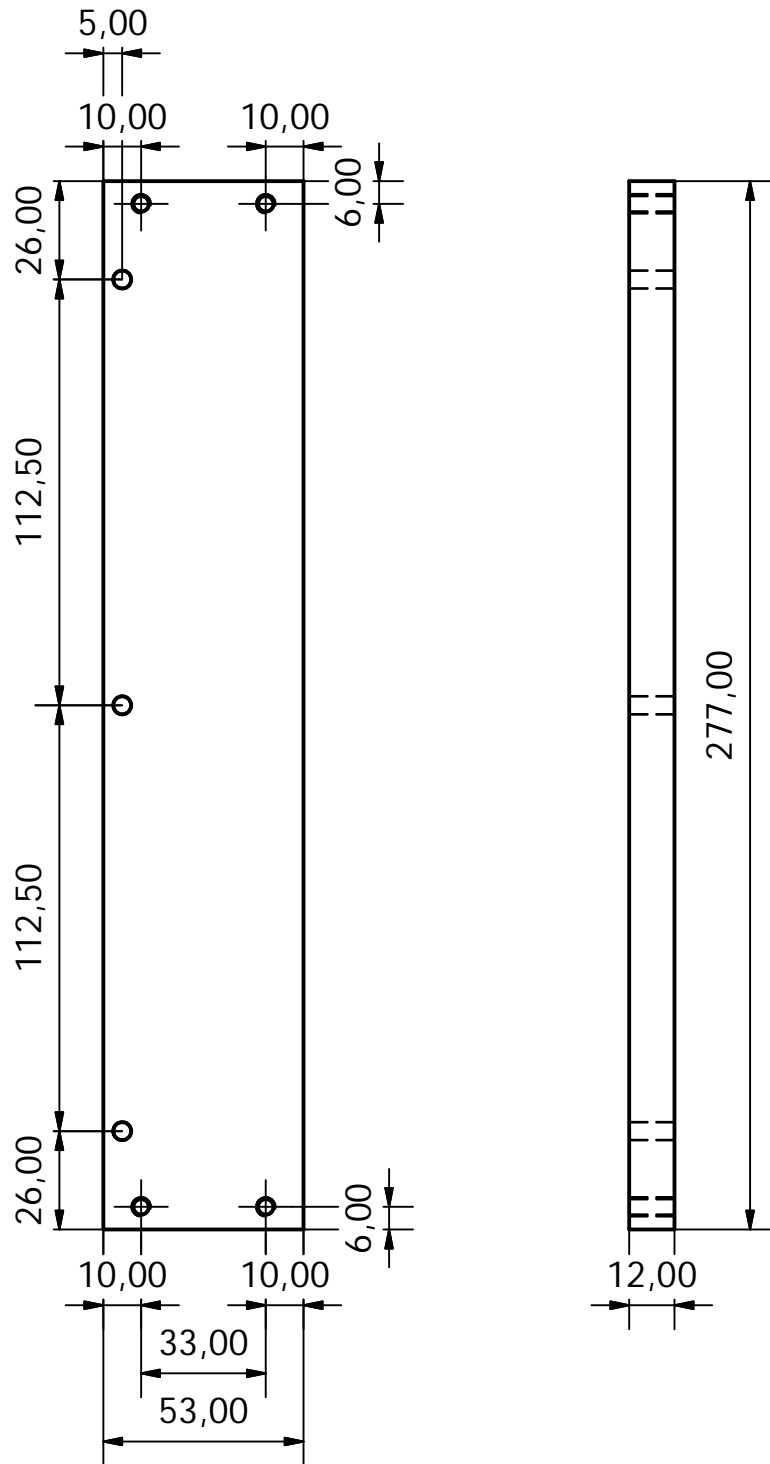
		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013
	Designación: Base Motor	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
	Conjunto: Cuerpo Móvil	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	
ESCALA: 1:1	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO



**NOTAS:**


- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- El diametro de los agujeros roscados es para tornillo de 3/16".
- Cantidad de piezas: 1
- Material: Nylon

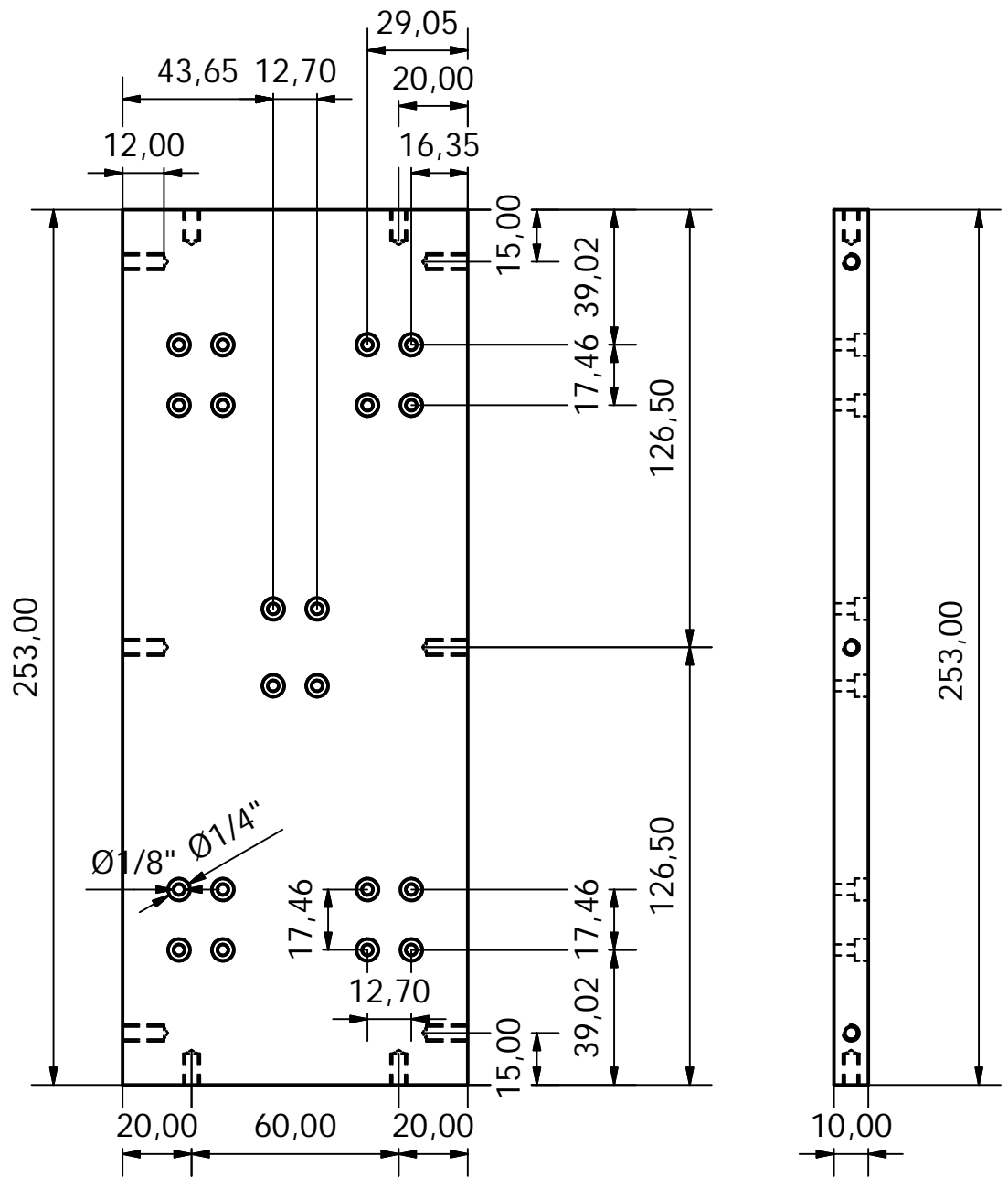
		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Respaldo Motor	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto: Cuerpo Móvil	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
	ESCALA: 1:1	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO



**NOTAS:**


- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- El diametro de los agujeros roscados es para perno de 3/16"
- Cantidad de piezas:2
- Material: Nylon

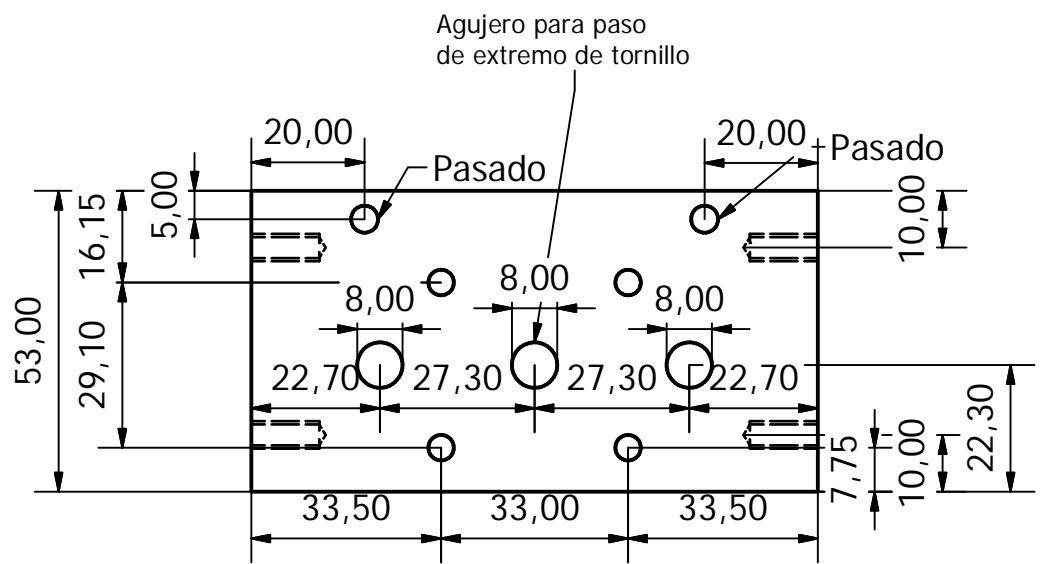
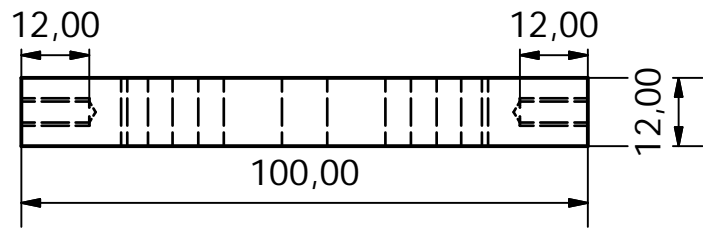
		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Lateral Y	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto: Cuerpo Móvil	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
ESCALA: 1:1.5	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	



NOTAS:


- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- El diametro de los agujeros roscados es para perno de 3/16".
- Todos los agujeros laterales son para perno tipo Allen de 1/8" con cajera de 1/4"
- Cantidad de piezas: 1
- Material: Acrílico

		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Vertical Y	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto: Cuerpo Móvil	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
ESCALA: 1: 1.5	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	

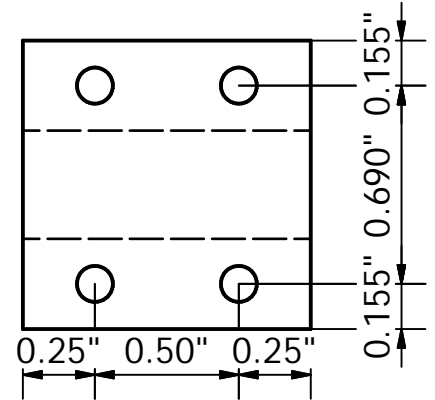
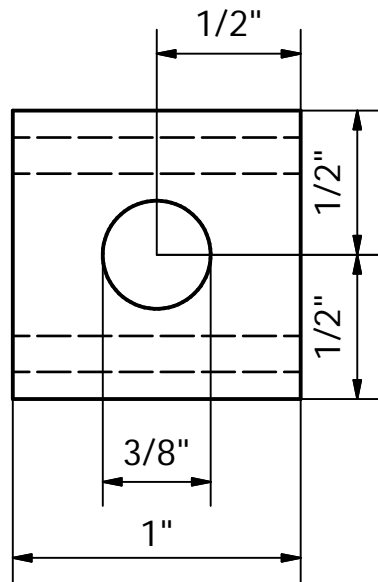


NOTAS:

- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique lo contrario.
- El diametro de los agujeros para perno de 3/16"
- Cantidad de piezas: 2
- Material: Nylon

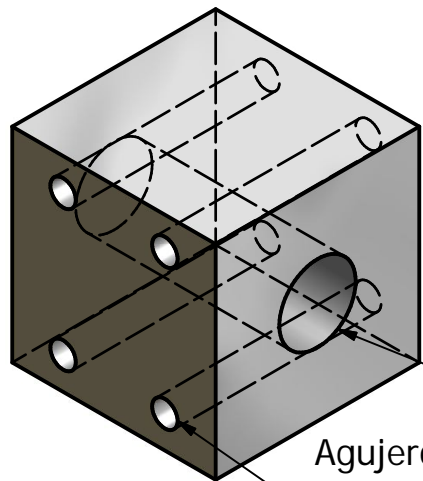
		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
		Designación: Tapadera Y	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
		Conjunto: Cuerpo Móvil	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	
ESCALA: 1:1	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO		






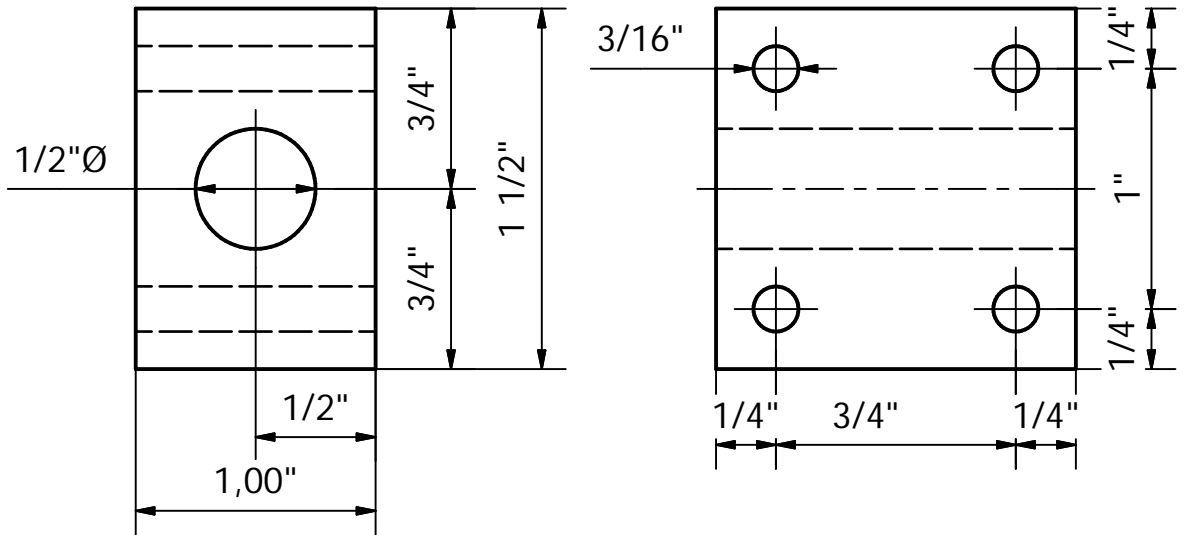
**NOTAS:**

- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique otra unidad de medida
- Cantidad de piezas: 8
- Material: TIVAR 1000

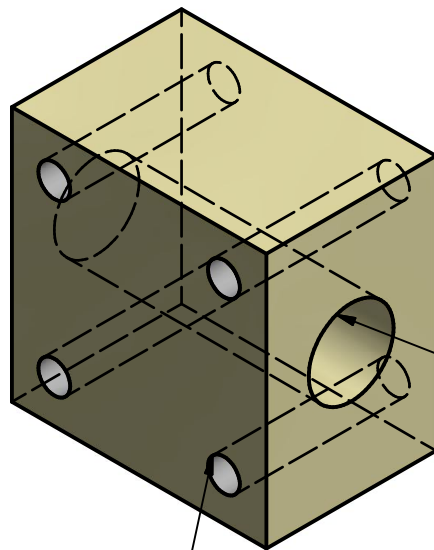


Agujero para varilla de 3/8"  
 Agujeros para perno 1/8"

		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha:	Septiembre 2013
	Designación:	Collarin YZ	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
	Conjunto:	Cuerpo Móvil	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	
ESCALA:	PROPIETARIO:			DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA	
1.5:1	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	




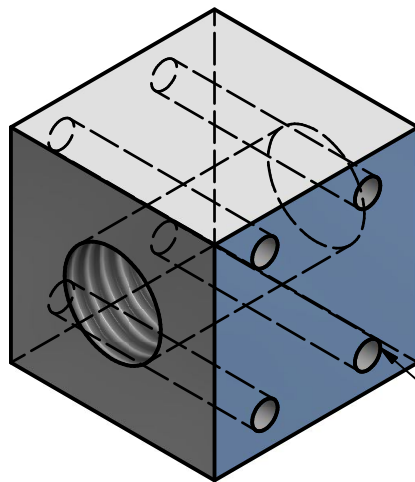
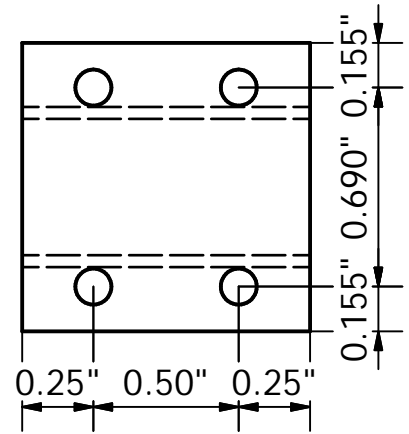
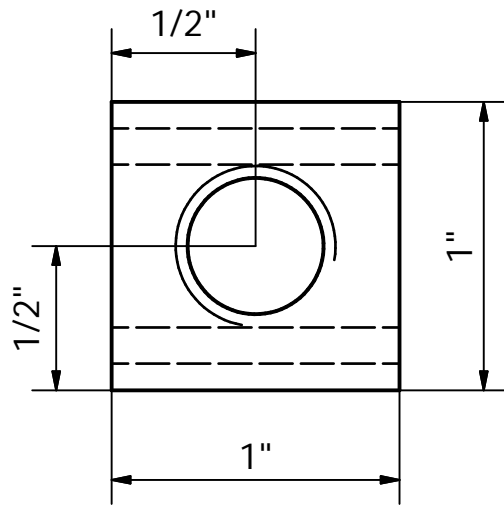
NOTAS:  
 -Medidas en pulgadas.  
 -Cantidad de piezas: 4  
 -Material: TIVAR 1000



Agujero para guia de 1/2"

Agujeros para  
 pernos de 3/16"


		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación:	Collarín X		Firmas de Aprobación:	Plano: 7/25
	Conjunto:	Cuerpo Móvil			
	Revisó:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre			
ESCALA:	PROPIETARIO:		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO		
1.5:1	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				

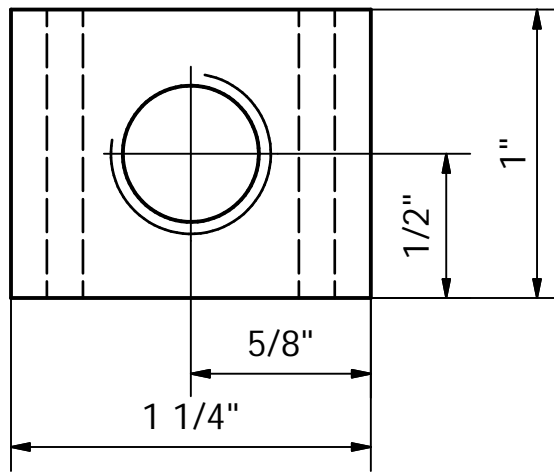
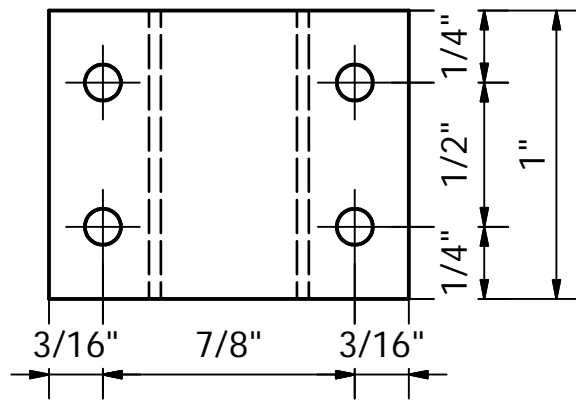


NOTAS:

- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se otra unidad de medida.
- Cantidad de piezas: 1
- Material: Acero AISI 1020

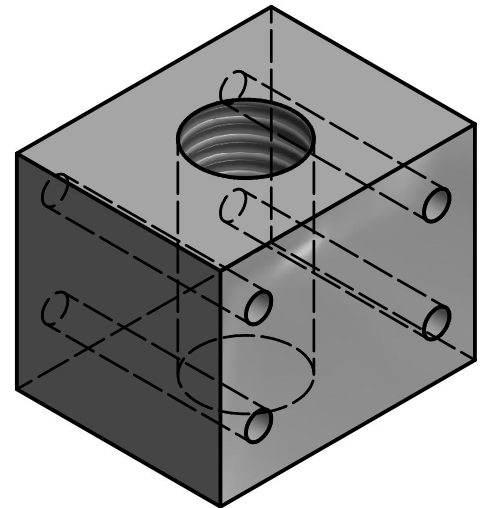
Agujeros pasados para perno de  $\frac{1}{8}$ "


		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013		
		Designación: Tuerca Y	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	Plano: 8/25
		Conjunto: Cuerpo Móvil	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
ESCALA: 1.5:1	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO			

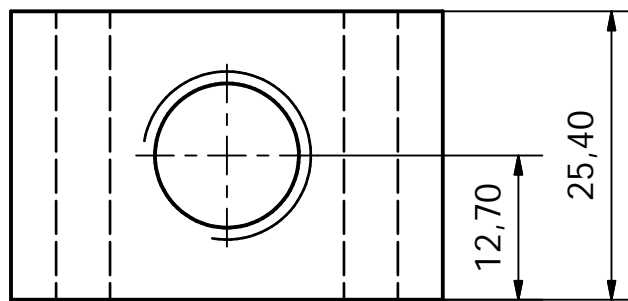
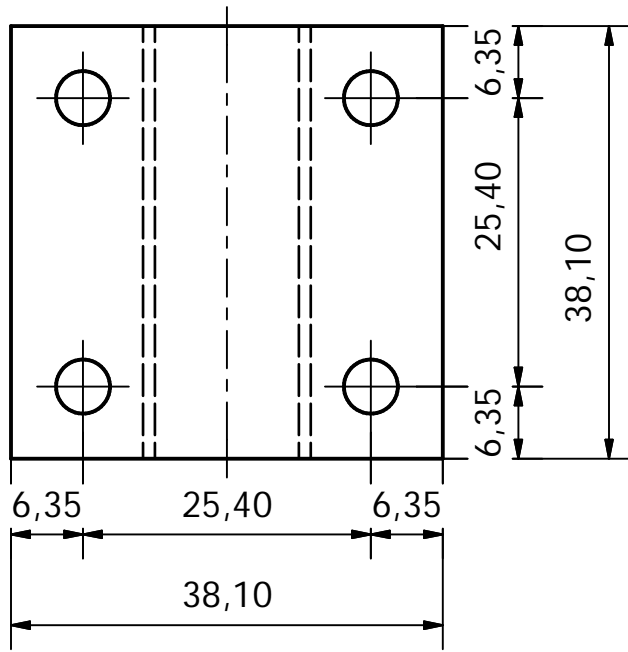


NOTAS:

- Todas la medidas están en mm a menos que se especifique otra unidad de medida.
- Cantidad de piezas: 1
- Material: Acero AISI 1020

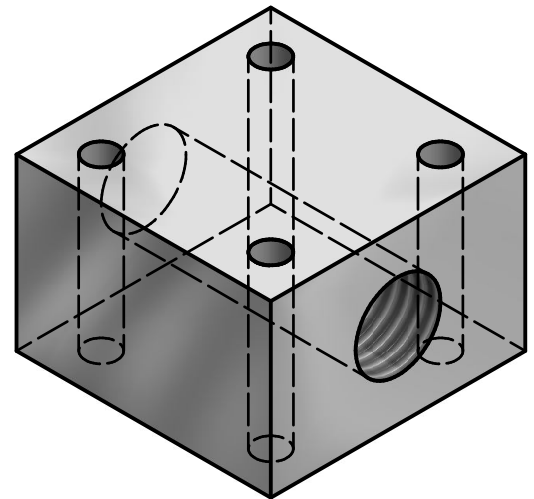



		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha:	Septiembre 2013
	Designación:	Tuerca Z	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
	Conjunto:	Cuerpo Móvil	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	
ESCALA:	PROPIETARIO:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	
1.5:1					

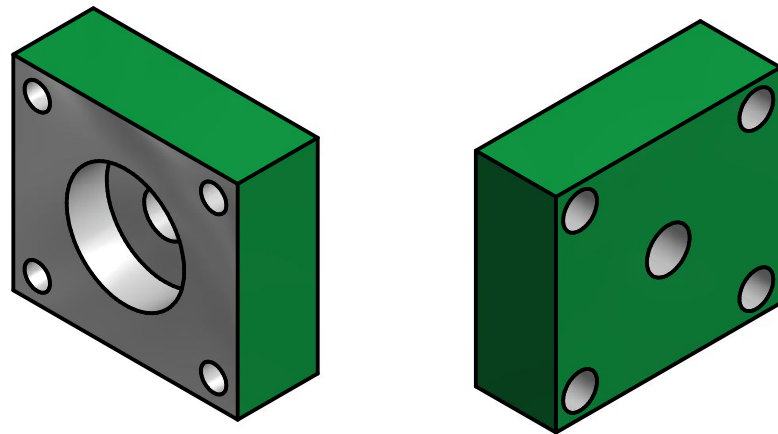
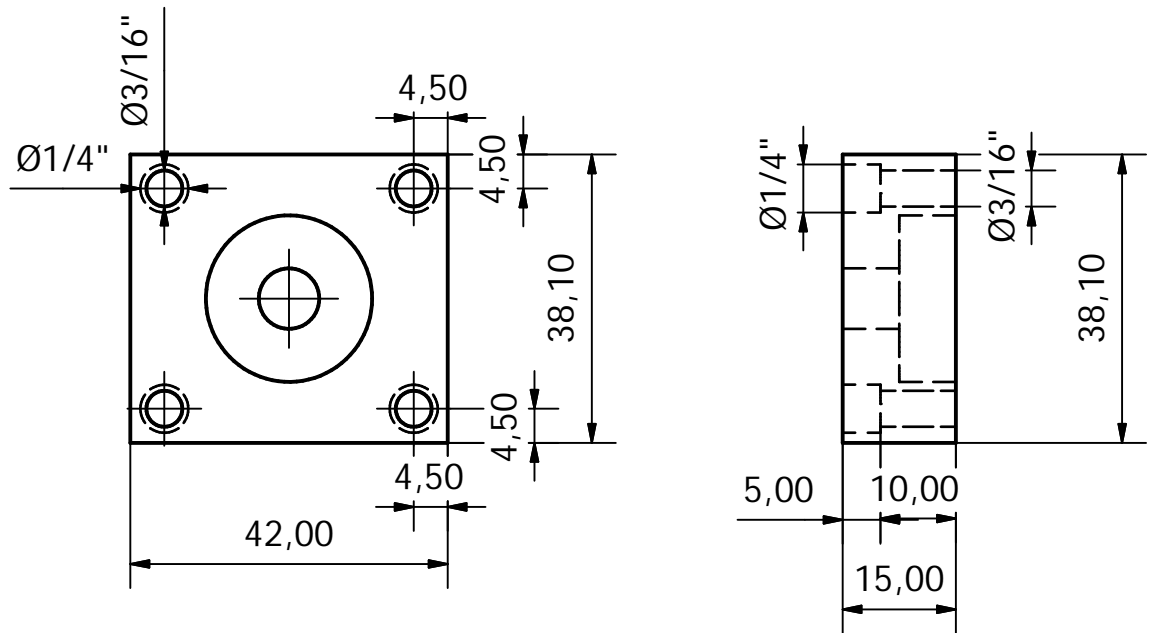


NOTAS:

- Cantidad de piezas: 1
- Material: AISI 1020




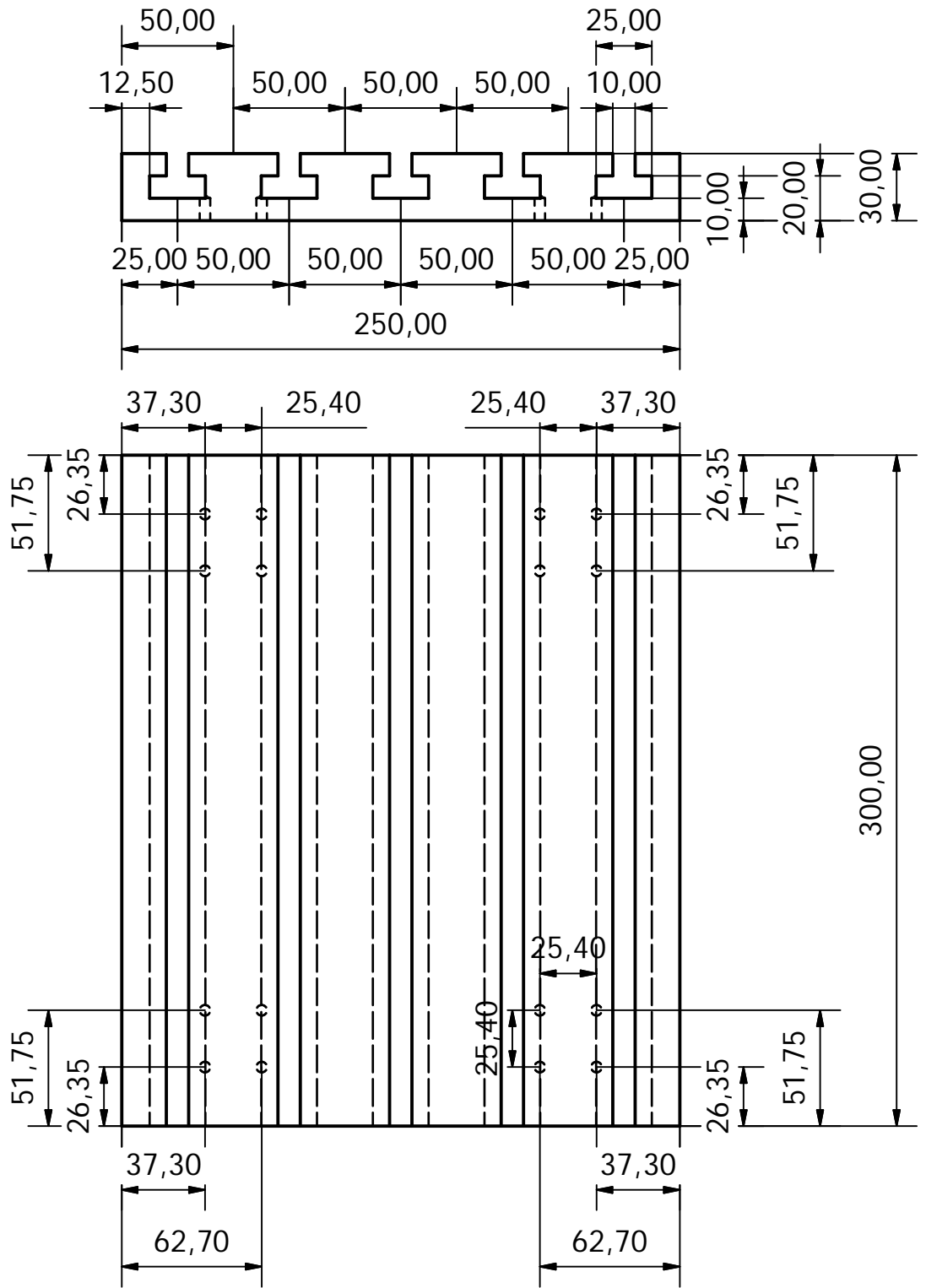
		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Tuerca X	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto: Eje X	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
ESCALA: 1.5:1	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	



NOTAS:


- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- Agujeros para pernos diámetro 3/16"
- Cantidad de piezas a fabricar: 6
- Material: Nylon

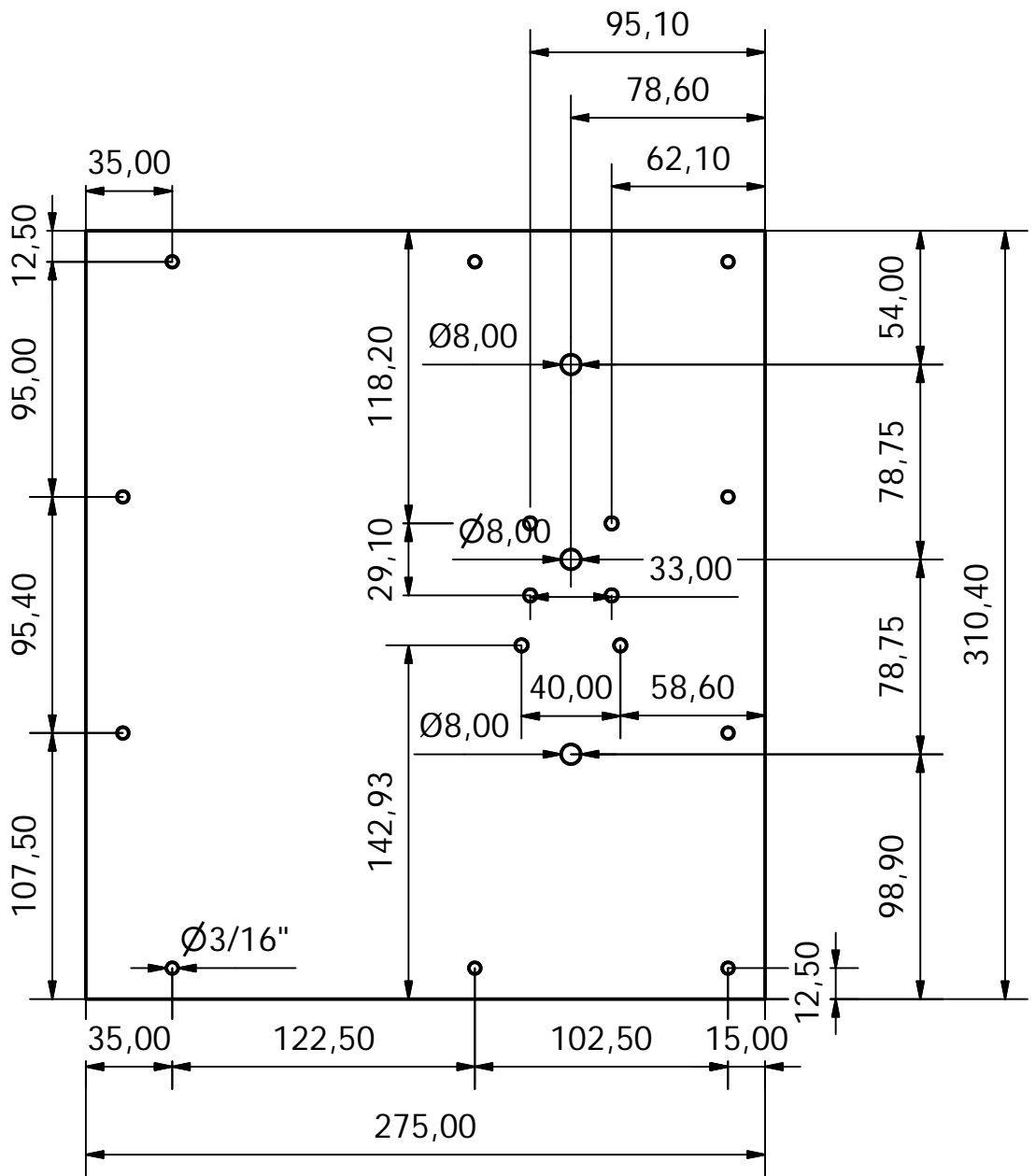
		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Cuna 608-2z	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto: --	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	Plano: 11/25	
ESCALA: 1.5:1	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	



**NOTAS:**


- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- Agujeros para pernos diámetro 3/16"
- Cantidad de piezas a fabricar: 1
- Material: Nylon

		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Mesa de Trabajo	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto: Eje X	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
ESCALA: 1:2	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	

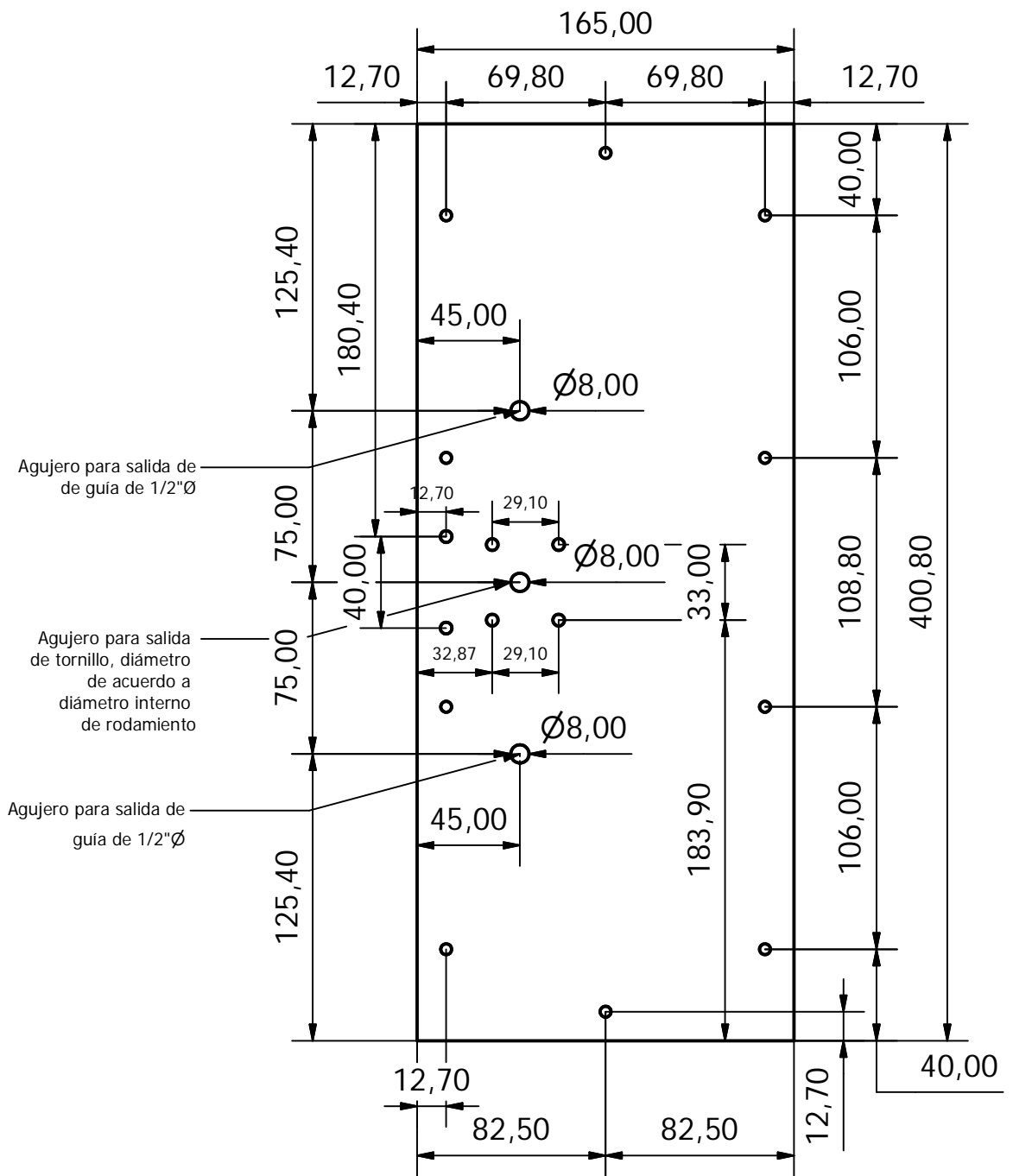


NOTAS:

- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- Todos los agujeros son para perno de 3/16" salvo los indicados con otra medida.
- Material: Lamina galvanizada lisa de 1/4"
- Cantidad de piezas a fabricar: 2


		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Lámina lateral	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto: --	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	Plano: 13/25	
ESCALA: 1:2	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	

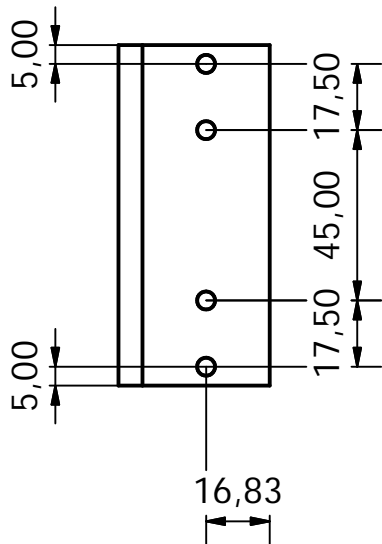
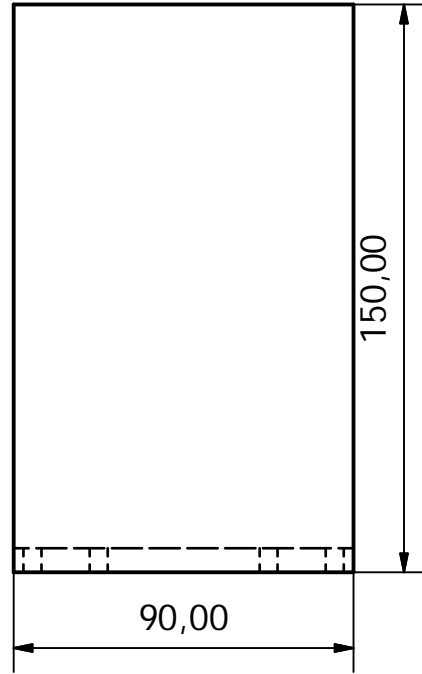
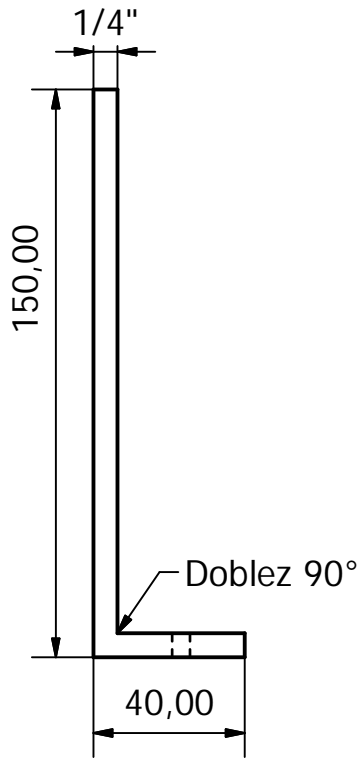




**NOTAS:**


- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- El diametro de los agujeros perimetrales es para perno de 3/16".
- Cantidad de piezas: 2
- Material: Lámina galvanizada lisa de 1/4"

		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Lámina frontal	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto: --	Revisó: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	Plano: 14/25	
ESCALA: 1:2	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	

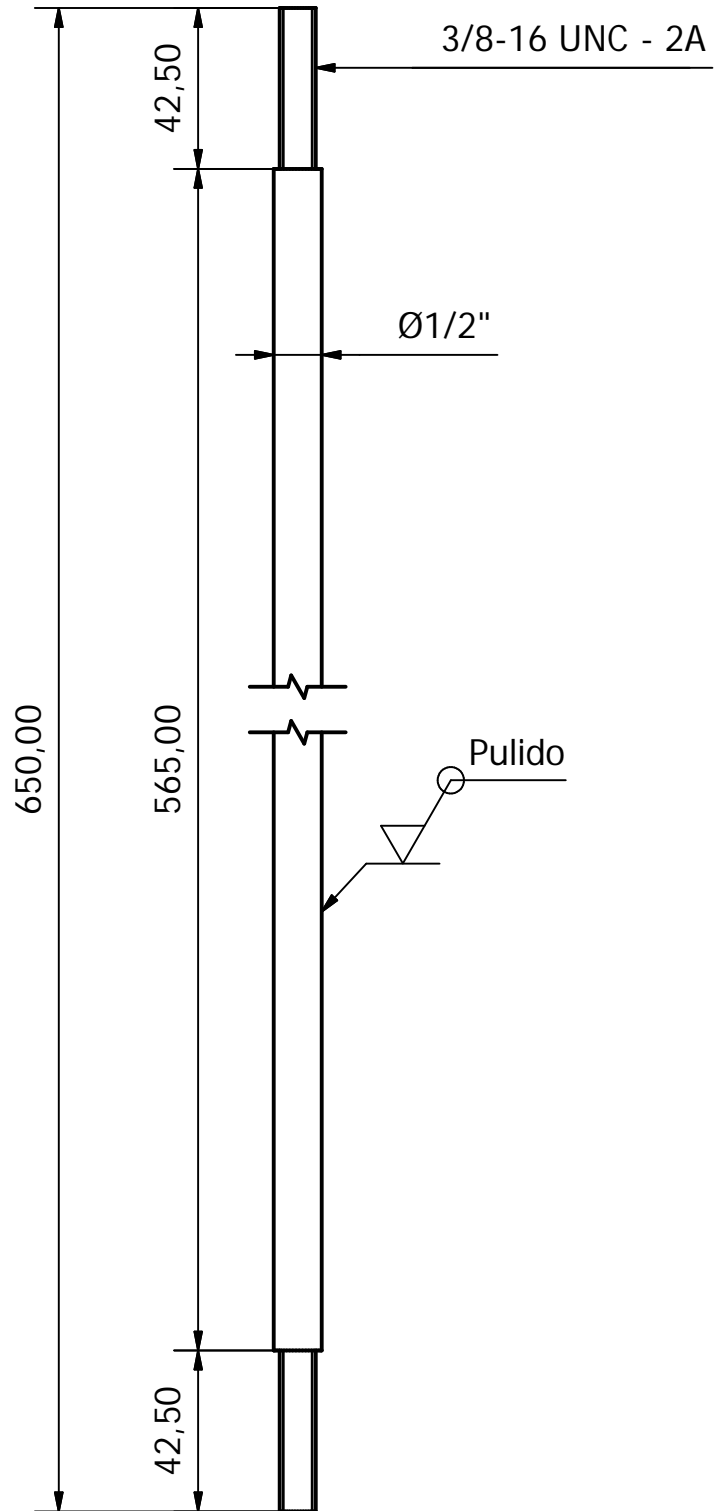


NOTAS:

- Todas las dimensiones estan en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- El diámetro de agujeros pasados es para perno de 3/16".
- Cantidad de piezas: 2
- Material: Lámina galvanizada lisa de 1/4"


		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha:	Septiembre 2013
	Designación:	Base Step Motor	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
	Conjunto:	--	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	
ESCALA:	PROPIETARIO:		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO		
1:1	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				

GUIA EJE X

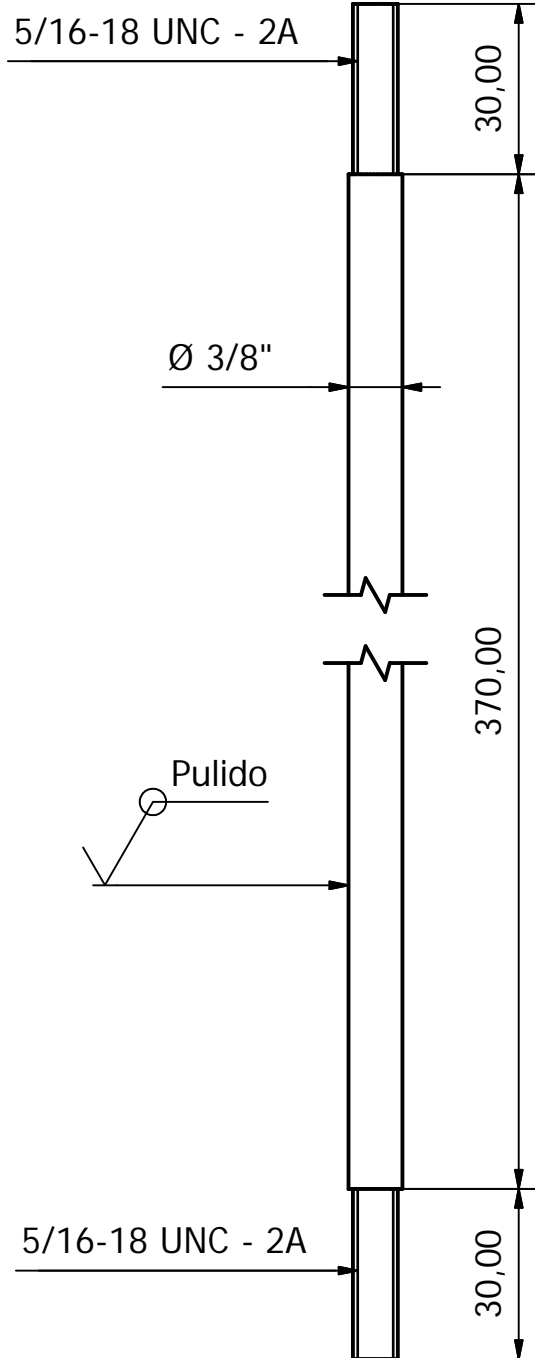


NOTAS:

- Todas las medidas en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- Detalles: Superficie pulido tipo satinado.
- Material: Acero inoxidable AISI 304.
- Cantidad de Piezas: 2


		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha:	Septiembre 2013
	Designación:	Guía X	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
	Conjunto:	Eje X	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	Plano:
ESCALA:	PROPIETARIO:		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA		
1:1	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO		
					16/25

# GUÍA EJE Y

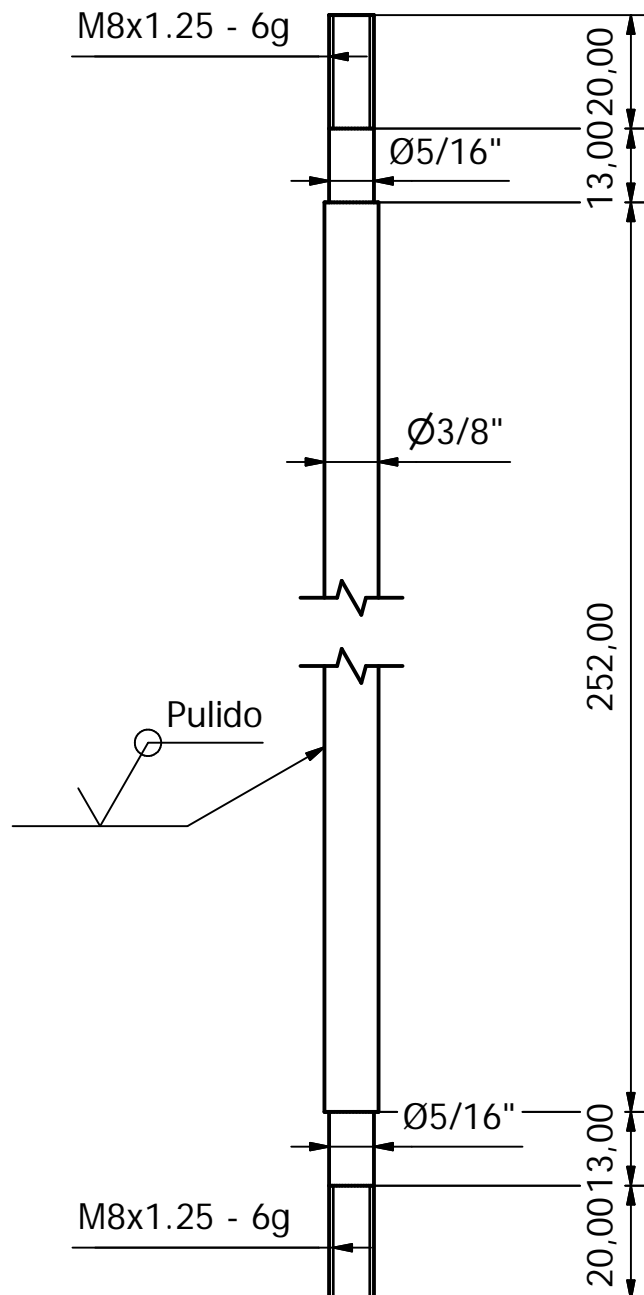


**NOTAS:**

- Todas las medidas en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- Detalles: superficie pulida tipo satinado.
- Material: Acero Inoxidable AISI 304.
- Cantidad de piezas: 2


		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha:	Septiembre 2013
	Designación:	Guía Y	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
	Conjunto:	Eje Y	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	
ESCALA:	PROPIETARIO:		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO		
1:1	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				

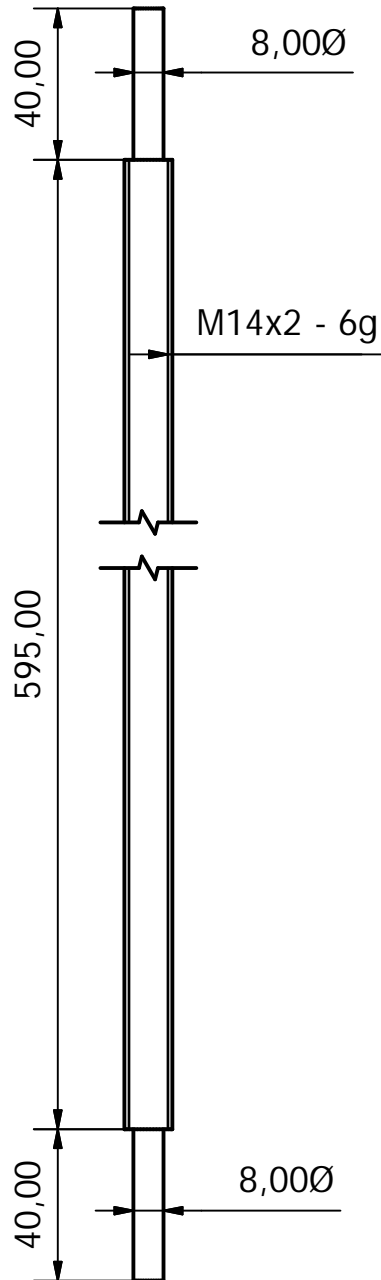
# GUÍA EJE Z



## Notas:


- Todas las medidas en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- Detalles: superficie pulido tipo satinado.
- Material: Acero Inoxidable AISI 304.
- Cantidad de piezas: 2

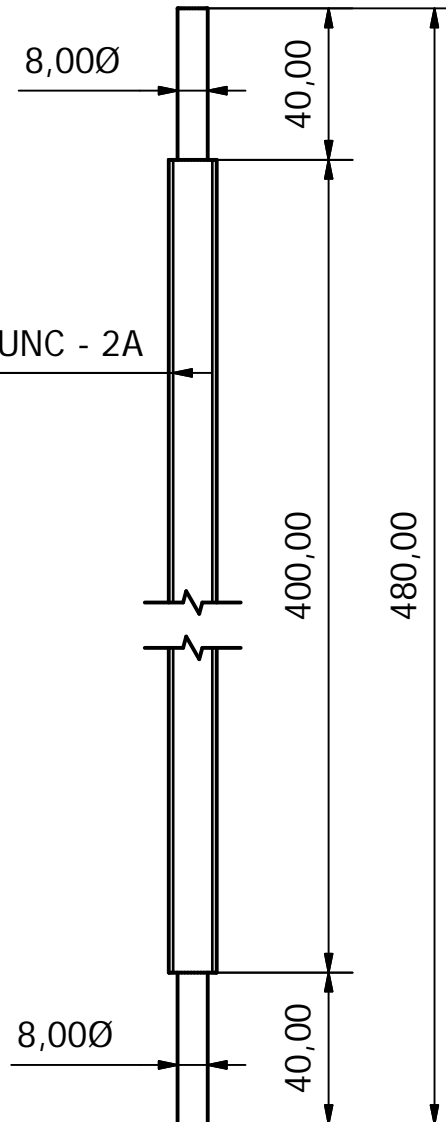
		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Guía Z	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	Plano:
	Conjunto: Eje Z	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		18/25
ESCALA: 1:1	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	



Notas:


- Todas las dimensiones en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- Material: Varilla rosca ordinaria  $\varnothing 1/2"$
- Cantidad de piezas: 1

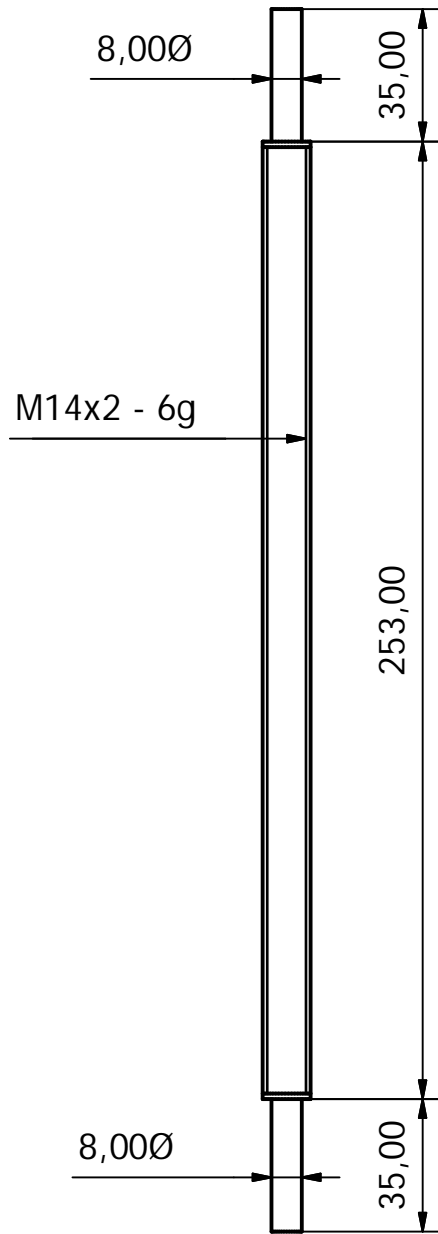
		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Tornillo X	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto: Eje X	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
ESCALA: 1:1	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	



Notas:


- Todas las medidas en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- Material: varilla roscada de  $\varnothing 1/2''$
- Cantidad de piezas: 1

		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha:	Septiembre 2013
	Designación:	Tornillo Y	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
	Conjunto:	Eje Y	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	
ESCALA:	PROPIETARIO:		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO		
1:1	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				

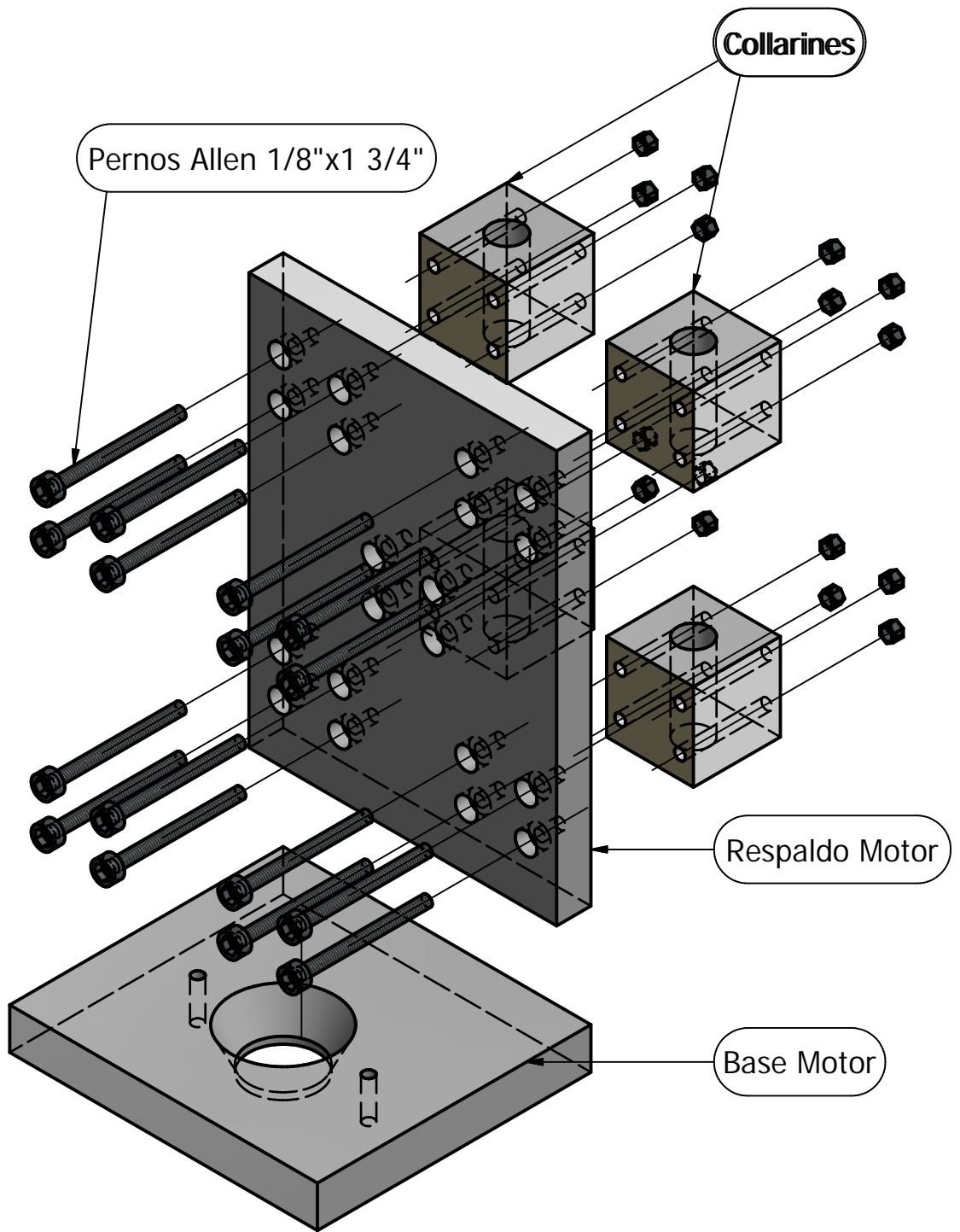



Notas:

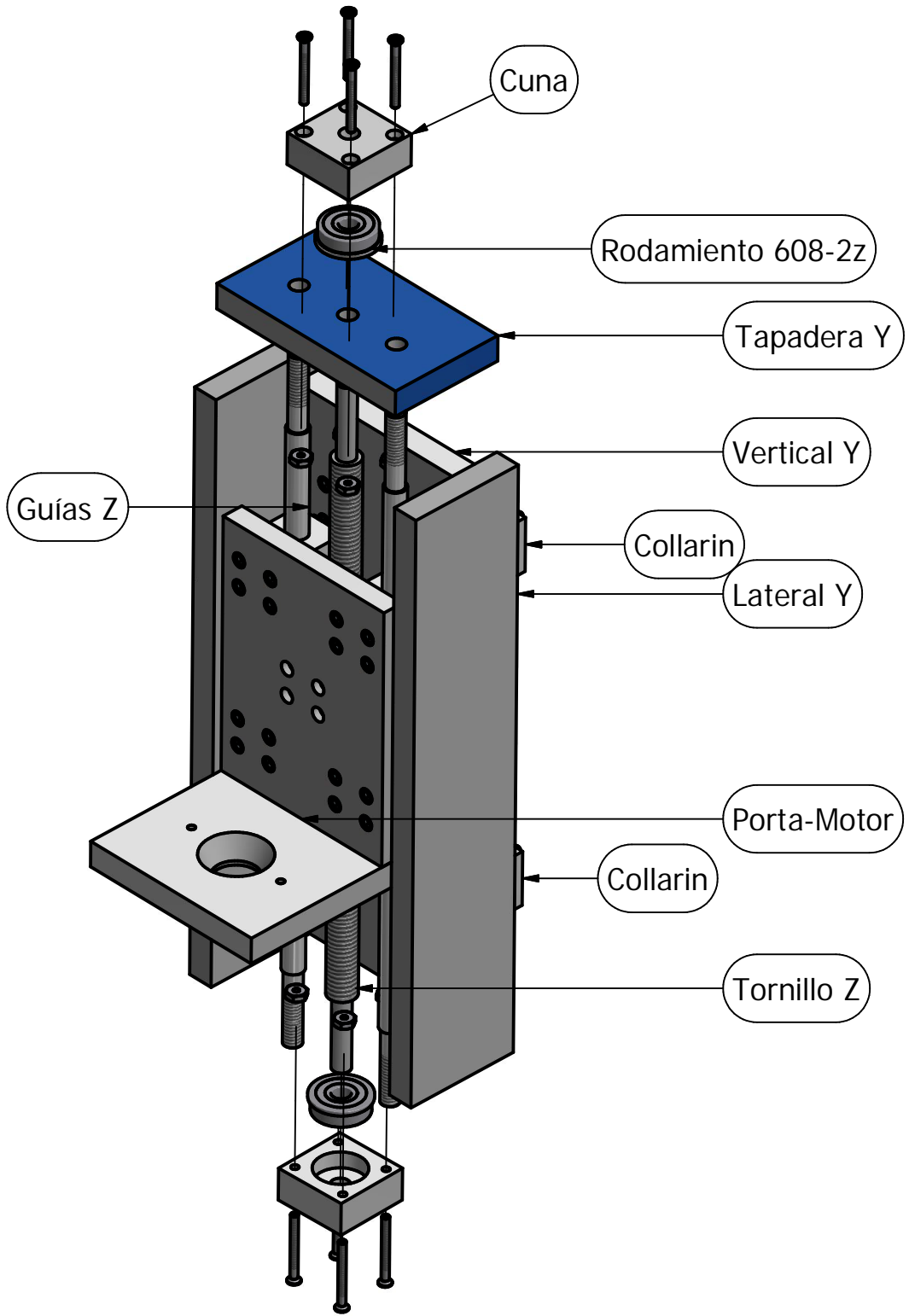
- Todas las medidas en mm a menos que se indique otra unidad de medida.
- Material: varilla rosca ordinaria de  $\varnothing 1/2"$
- Cantidad de piezas: 1


		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha:	Septiembre 2013
	Designación:	Tornillo Z	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
	Conjunto:	Eje Z	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	Plano:
ESCALA:	1:1	PROPIETARIO:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
					DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO
					21/25

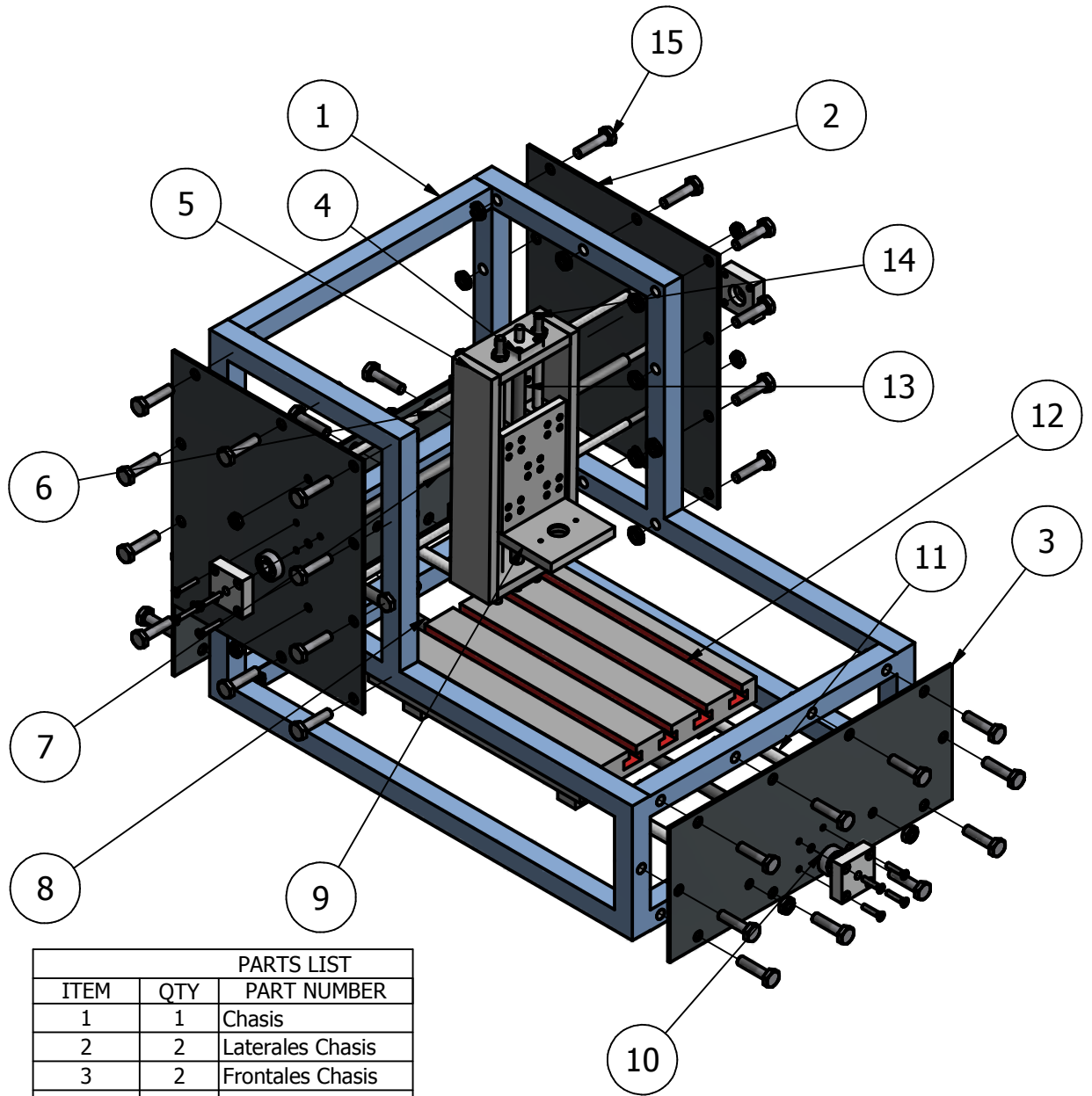




		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
	Designación: Porta-Motor	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:	
	Conjunto: Cabezal	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
ESCALA: s/e	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	

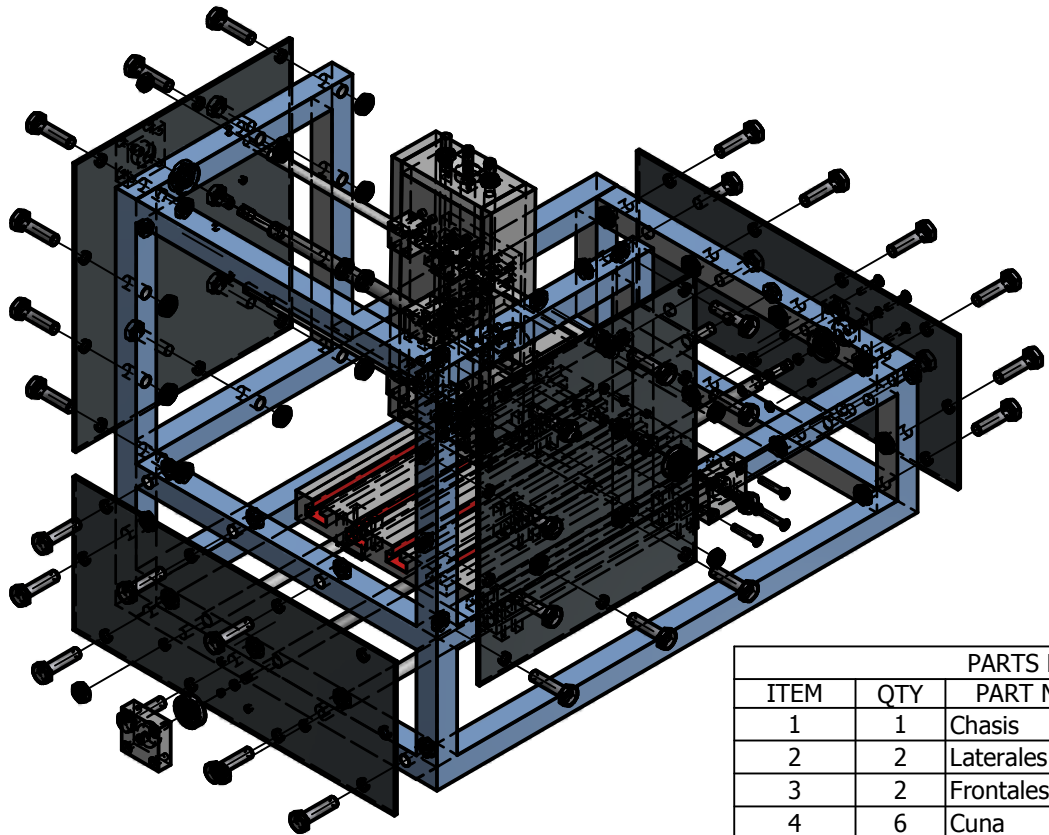


		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013
	Designación: Cuerpo Móvil	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz	Firmas de Aprobación:
	Conjunto: Cabezal	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre	
ESCALA: s/e	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Chasis
2	2	Laterales Chasis
3	2	Frontales Chasis
4	6	Cuna
5	1	Cuerpo Movil
6	2	Guías eje Y
7	1	Tornillo Y
8	1	Tornillo X
9	1	Porta-motor
10	6	Rodamiento 608-2Z
11	2	Guías eje X
12	1	Mesa
13	1	Tornillo Z
14	2	Guías eje Z
15	40	Perno 3/16" x 2"

		Diseño:	Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
		Designación:	Explosivo Conjunto 1	Dibujo:	Rebeca Guerra Oscar Cruz
		Conjunto:	--	Reviso:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre
		ESCALA:	s/e	PROPIETARIO:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
				DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	
				Firmas de Aprobación:	
				Plano: 24/25	



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Chasis
2	2	Laterales Chasis
3	2	Frontales Chasis
4	6	Cuna
5	1	Cuerpo Movil
6	2	Guías eje Y
7	1	Tornillo Y
8	1	Tornillo X
9	1	Porta-motor
10	6	Rodamiento 608-2Z
11	2	Guías eje X
12	1	Mesa
13	1	Tornillo Z
14	2	Guías eje Z
15	40	Perno 3/16" x 2"

		Diseño: Rebeca Guerra, Néstor Meza Oscar Cruz, Ricardo Herrera	Fecha: Septiembre 2013	
Designación: Explosivo Conjunto 2	Dibujo: Rebeca Guerra Oscar Cruz		Firmas de Aprobación:	Plano: 25/25
	Conjunto: --	Reviso: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Ing. Carlos Osmin Pocasangre		
ESCALA: s/e	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA PARA USO DIDÁCTICO	

## **ANEXO 6. MANUAL DE INKSCAPE.**

Inkscape se inició en 2003 como una bifurcación (*fork*) de código del proyecto Sodipodi. Este último, desarrollado desde 1999, estaba a su vez basado en Gill, el trabajo de Raph Levien.

Desde la bifurcación, Inkscape, entre otras cosas, ha cambiado el lenguaje programación, pasando de usar el lenguaje de programación C al C++; cambió al conjunto de herramientas GTK+ implementadas con C++ (gtkmm); rediseñó la interfaz de usuario y añadió gran cantidad de nuevas funcionalidades. La implementación del estándar SVG ha mostrado mejoras progresivas, pero aún está incompleta.

Inkscape es un editor de gráficos vectoriales de código abierto, con capacidades similares a Illustrator, Freehand, CorelDraw o Xara X, usando el estándar de la W3C: el formato de archivo Scalable Vector Graphics (SVG). Las características soportadas incluyen: formas, trazos, texto, marcadores, clones, mezclas de canales alfa, transformaciones, gradientes, patrones y agrupamientos. Inkscape también soporta meta-datos Creative Commons, edición de nodos, capas, operaciones complejas con trazos, vectorización de archivos gráficos, texto en trazos, alineación de textos, edición de XML directo y mucho más. Puede importar formatos como Postscript, JPEG, PNG, y TIFF y exporta PNG así como muchos formatos basados en vectores.

El objetivo principal de Inkscape es crear una herramienta de dibujo potente y cómoda, totalmente compatible con los estándares XML, SVG y CSS. También quieren mantener una próspera comunidad de usuarios y desarrolladores usando un sistema de desarrollo abierto y orientado a las comunidades, y estando seguros de que Inkscape sea fácil de aprender, de usar y de mejorar.

### 1. Pasos básicos:

Este tutorial demostrará los usos básicos de Inkscape. Este es un documento regular de Inkscape que usted puede ver, editar, copiar, descargar o guardar.

El tutorial Básico cubre la navegación en canvas (pizarra), manejo de documentos, herramientas de formas básicas, técnicas de selección, transformación de objetos por medio del selector, agrupado, configuración de relleno y borde, alineación y orden-z.

## Configurando la pizarra

Existen varias maneras para configurar la pizarra. Primero intentemos: **Ctrl+Flecha** Teclas para desplazarse por la pizarra. (Puede intentar esto en este mismo documento) También es posible por medio del arrastre a través del botón intermedio de ratón. O también por medio de las barras de desplazamiento (presione **Ctrl+B** para visualizarlas o/u ocultarlas). La **rueda** del ratón también funciona para el desplazamiento de manera vertical; presione **Mayus** con la rueda para realizar desplazamientos horizontales.

## Acercar y alejar (Zoom)

La manera más sencilla de para activar el zoom es por medio de las teclas **-** y **+** (**=**). También puede emplear **Ctrl+Click del botón central** o **Ctrl+Click del botón derecha** para acercamiento, **Mayus+Click del botón central** o **Mayus+Click del botón derecho** para alejar, o rote la rueda del ratón junto con **Ctrl**. O puede seleccionar en la parte inferior izquierda el campo de zoom que le permite ingresar el valor del porcentaje % para la visualización, luego presione Enter. Disponemos además de los anteriores métodos, la herramienta Zoom (Ubicada en la barra de Herramientas a la izquierda) la cual permite hacer un zoom alrededor de un aea por medio de un click sostenido alrededor de ella.

Inkscape también conserva un historial de los niveles de zoom que ha usado en el trabajo, en la última sesión. Presione la tecla **~** para ir al zoom previo o **Mayus+~** para ir al siguiente.

## Herramientas del Inkscape

La barra vertical de herramientas sobre la izquierda muestra las herramientas de dibujo y edición de Inkscape. En la parte superior de la ventana, debajo del menú;, está la *Barra de comandos* con los botones de control general y la *barra de contro, de herramientas* con los controles que son especiales para cada herramienta. La *barra de estado* en la parte superior de la ventana mostrará consejos útiles y mensajes de como trabaja usted.

Algunas operaciones están disponibles a través de atajos de teclado. Abra Ayuda > Teclas y ratón para observar la referencia completa.

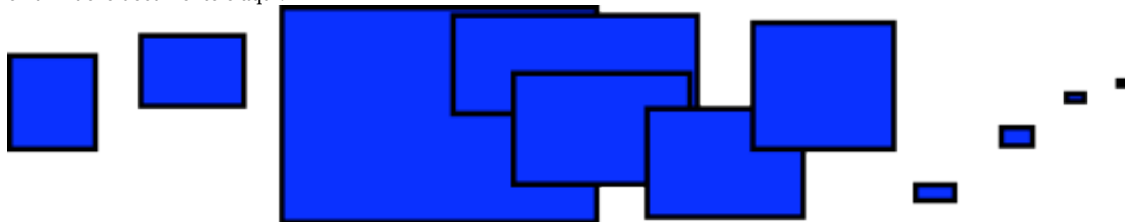
## Creando y Administrando documentos

Para crear un nuevo documento vacío, use File > New o presione **Ctrl+N**. Para abrir un documento SVG existente, File > Open (**Ctrl+O**). Para guardar, use File > Save (**Ctrl+S**), o Save As(**Mayus+Ctrl+S**) para guardar bajo un nuevo nombre. (Inkscape puede aún ser inestable, así que recuerde guardar a menudo!)

Inkscape usa el formato SVG (Scalable Vector Graphics/Gráficos de Vectores Escalables) para estos archivos. SVG es un estandar abierto extensamente soportado por software gráficos. Los archivos SVG están basados en XML y pueden ser editados con cualquier editor de XML (aparte de Inkscape, por supuesto). Además de SVG, Inkscape puede importar y exportar muchos otros formatos (EPS, PNG)

## Creando Formas

Es hora para algunas formas fantásticas! Haga Click sobre la herramienta Rectángulo (o presione **F4**) y haga click y arrastre, o en un nuevo documento o aquí:





Estas herramientas son colectivamente conocidas como *herramientas de formas*. Cada forma que cree muestran uno o más *manejadores* en forma de diamante; intente arrastrándolos para observar como responden las formas. El panel de control para una herramienta de forma es otra manera para transformar una forma; estos controles afectan a las formas actualmente seleccionadas (i.e. aquellas que muestren los manejadores) y configure el por defecto que aplicará a las formas recién creadas. Para *deshacer* su última acción, presione **Ctrl+Z**. (O, si cambia de parecer, puede *rehacer* la acción deshecha mediante **Mayus+Ctrl+Z**.)

## Moviendo, Escalando, Rotando

La herramienta más utilizada en Inkscape es el *Selector*. Click en el botón más superior (con la forma de cursor) sobre la barra de herramientas, o presione **F1** o **Barra Espacedora**. Ahora puede seleccionar cualquier objeto en la pizarra. Click sobre el rectángulo de más abajo.



Usted podrá observar que ocho manejadores en forma de flecha aparecen alrededor del objeto. Ahora puede:

- *Mover* los objetos al arrastralos. (Presione **Ctrl** para restringir movimientos a horizontal y vertical.)
- *Escalar* los objetos mediante el arrastrado de cualquier manejador. (Presione **Ctrl** para preservar el radio de alto/ancho original.)

Ahora click en el rectángulo de nuevo. Los manejadores cambian. Ahora puede:

- *Rotar* los objetos mediante el arrastrado de los manejadores de las esquinas. (Presione **Ctrl** para restringir la rotación a pasos de 15 grados. Arrastre la marca en forma de cruz para la posición del eje de rotación.)
- *Inclinar* (esquilar) los objetos mediante el arrastre de los manejadores no-esquinas. (Presione **Ctrl** para restringir inclinaciones a pasos de 15 grados.)

Mientras use el Selector, también podrá usar los campos de entradas numéricos en la barra de control (Sobre la pizarra) para configurar valores exactos para cordenadas (X y Y) y tamaño (W y H) de la selección.

## Transformación por medio del teclado

Una de las características de Inkscape que lo diferencian de otros muchos editores vectoriales es su énfasis en la accesibilidad por teclado. Existe difícilmente algún comando o acción que sea imposible realizar por teclado y la transformación no es la excepción.

Más sin embargo considere como el más útil la *transformaciones tamaño-pixel*, invocada mediante el uso de **Alt** con la tecla de transformación. Por ejemplo, **Alt+flechas** moverá la selección 1 píxel en *el zoom actual* (i.e. por 1 *pixel de pantalla*, no se confunda con la unidad px la cual es una uidad de medida SVG independiente del zoom). Esto significa que si usted amplía, un **Alt+flecha** resultará un movimiento absolutamente *pequeño* el cual aún se observa como si empujase un pixel sobre su pantalla. Así esto es posible para posicionar objetos con precisión arbitraria simplemente mediante un acercamiento o alejamiento como lo requiera.

Igualmente, **Alt+>** y **Alt+<** escalan selecciones haciendola visibles en un tamaño de un pixel de pantalla, y **Alt+[** y **Alt+]** lo rotan de la manera más alejada del punto central movido mediante un pixel de pantalla.

Note: Linux users may not get the expected results with the **Alt+arrow** and a few other key combinations if their Window Manager catches those key events before they reach the inkscape application. One solution would be to change the WM's configuration accordingly.

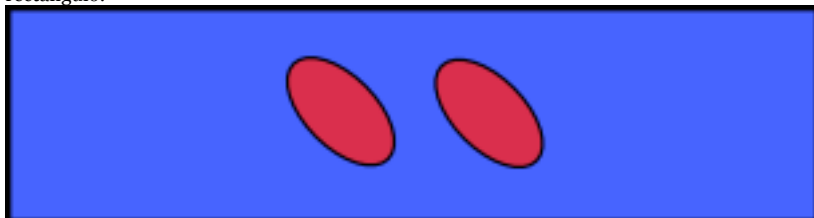
## Selecciones Múltiples

Puede seleccionar cualquier número de objetos simultáneamente mediante **Mayus+click** sobre los objetos deseados a seleccionar. O, puede **arrastrar** alrededor de los objetos que requiere seleccionar; esto es llamado *Selección elástica*. (El selector crea selecciones elásticas cuando se arrastra a desde un espacio vacío; sin embargo, si presiona **Mayus** antes de iniciar

el arrastrado, Inkscape siempre creará la selección elástica.) Practique mediante la sección de todas las tres formas a continuación:



Ahora, utilice selecciones elásticas (mediante arrastrado o **Mayus+arrastrar**) para seleccionar las dos elipses pero no el rectángulo:



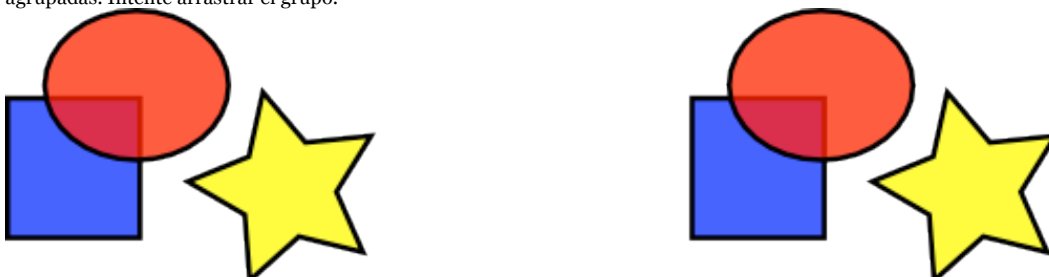
Cada objeto individual dentro de una selección muestra una *señal de selección* — por defecto, un marco rectangular. Estos marcos hacen más sencillo el observar que está seleccionado y que no lo está. Por ejemplo, si selecciona ambas elipses y el rectángulo, sin los marcos le sería muy difícil adivinar cual de las elipses están seleccionadas y cuales no.

**Mayus+click** sobre un objeto seleccionado lo excluye de la selección. Seleccione los tres objetos de a continuación, después emplee **Mayus+click** para excluir ambas elipses de la selección, dejando solo seleccionado el rectángulo.

Presionando **ESC** deselecciona cualquier objeto seleccionado. **Ctrl+A** selecciona todos los objetos en la capa actual (si no ha creado capas, esto es lo mismo que todos los objetos en el documento).

## Agrupando

Muchos objetos pueden ser combinados en un *grupo*. Un grupo se comporta como un objeto sencillo cuando usted lo arrastra o lo transforma. adelante, los tres objetos sobre la izquierda son independientes; los mismo tres objetos sobre la derecha son están agrupadas. Intente arrastrar el grupo.



Para crear un grupo, seleccione uno o más objetos y presiones **Ctrl+G**. Para desagrupar uno o más grupos, selecciónelos y presione **Ctrl+U**. Los mismo grupos pueden ser agrupados, así como cualquier otro objeto; dichos grupos recursivos pueden ir atras en una profundidad arbitraria. Sin embargo, **Ctrl+U** solo desagrupa el nivel superior de agrupación en una selección; necesitará presionar **Ctrl+U** repetidamente si quiere desagrupar completamente un grupo profundo dentro de un grupo.

No tiene necesariamente que desagrupar, sin embargo, si desea editar un objeto dentro de un grupo.

Solo **Ctrl+click** sobre el objeto y este será seleccionado y editable solo, o **Mayus+Ctrl+click** sobre varios objetos (dentro o afuera de cualquier grupo) por múltiples selecciones sea cual sea la agrupación. Intente mover o transformar las formas individuales en el grupo (adelante a la derecha) sin desagrupar, entonces deseleccione y seleccione el grupo normalmente para observar que continua aún agrupado.

## Relleno y borde

Algunas funciones de Inkscape están disponibles vía *dialogos*. Probablemente la forma más sencilla de pintar un objeto de algún color es abrir el dialogo -- desde el menú de Objetos, seleccione un objeto y click en un -- para pintarlo (cambia su color de relleno).

Es más poderoso el dialogo de Relleno y Borde (**Mayus+Ctrl+F**). Seleccione la forma de adelante y abra el dialogo de Relleno y Borde.

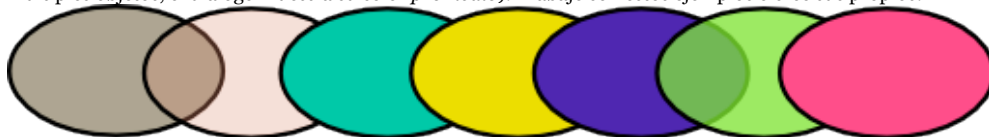




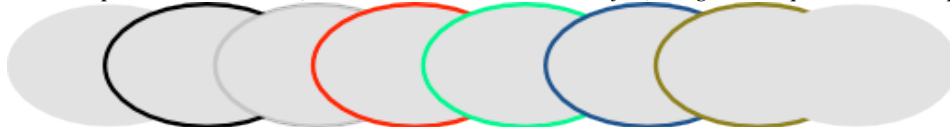
Podrá observar que el dialogo posee tres pestañas: Relleno, Color de trazo y Estilo de trazo. La pestaña Relleno le permite editar el *relleno* (interior) del objeto(s) seleccionado(s). Usando el botón más abajo de la pestaña puede seleccionar los tipos de relleno, incluyendo sin relleno (el botón con la X), color uniforme, así como gradientes lineales o radiales. Para las siguientes formas, el botón de relleno uniforme será activado.

Más abajo, puede observar una colección de *selectores de color*, cada uno esta se encuentra en su propia pestaña: RGB, CMYK, HSL y Rueda. Considere el Selector de Rueda, donde puede rotar el triángulo para escoger un matiz en la rueda, y después seleccione una sombra que es el matiz del triángulo. Todos los selectores de color contienen un desplazador para configurar el *alfa* (opacidad) de el/los objeto(s) seleccionado(s).

Cuando selecciona un objeto, el selector de color es actualizado para mostrar su relleno y borde actual (para selecciones de múltiples objetos, el dialogo muestra su *color promedio*). Trabaje con estos ejemplos o cree sus propios:



Usando la pestaña color de borde, remueva el *borde* (reborde) del objeto, o asigne cualquier color o transparencia:



La última pestaña Estilo de borde, le permite configurar el grosor y otros parámetros del borde:



Finalmente, en vez de un color uniforme, puede usar *gradientes* para rellenos y/o bordes:



Cuando cambia de color uniforme a gradiente, el nuevo gradiente creado usa el color uniforme previo, presentandolo de opaco a transparente. Cambie a la herramienta Gradiente (**Ctr l+F 1**) para arrastrar el *manejador gradiente* — los controles conectads por líneas que define la dirección y longitud del gradiente. Cuando alguno de los manejadores de gradiente es seleccionado (Azul claro), el dialogo de relleno y el borde configura el color del manejador en vez de todo el color del objeto seleccionado.

Otas manera conveniente para cambiar el color de un objeto es usando la herramienta Balde??? (**F 7**). Solo haga **click** dentro del dibujo con la herramienta y el color seleccionado será asignado al relleno del objeto seleccionado (**Mayus+click** asignará el color de borde).

## Duplicado, Alineación, Distribución

Una de las operaciones más comunes es el *duplicar* un objeto (**Ctr l+D**). El duplicado es colocadi exactamente debajo del original y es seleccionado, así, así se le posibilita el arrastrar mediante el ratón o las teclas de flechas. Para practicar, intente llenar la línea con copias de estos cuadrados negros:



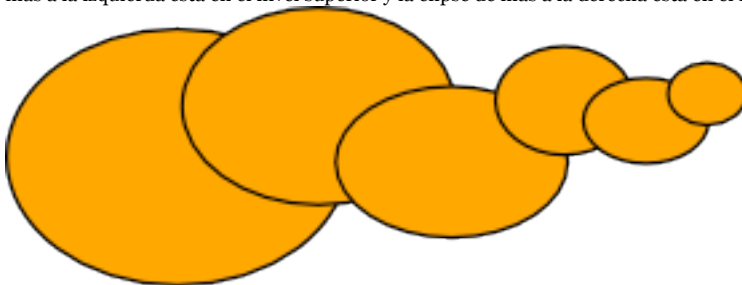
Las opciones son, sus copias del cuadrado son colocados más o menos aleatoriamente. Este dialogo de Alineación (**Ctr l+Mayus+A**) es útil. Seleccione todos los cuadrados (**Mayus+click** o arrastre una selección elástica), abra el dialogo y presione el botón "Centro en las equis horizontales", entonces el botón "Hacer espacios horizontales entre objetos iguales"(lea los mensajes de las herramientas). Ahora los objetos son alineados ordenada y distribuida equis-espacialmente. Estos son otros ejemplos de alineación y distribución:



## orden-z

El término *orden-z* se refiere al orden de apilado de los objetos en un gráfico, i.e. dichos objetos están en la parte superior y son más oscuros que el resto. Los dos comandos en el menú Objetos, Llevar al Frente, (la tecla **Inicio**) y Llevar al Fondo (la tecla **Fin**), moverá sus objetos seleccionados al nivel superior o al fondo de la capa del orden-z actual. Otros dos comandos, Arriba (**PgUp**) y Abajo (**PgDn**), podrán hundir o emerger la selección *un sólo paso*, i.e. mueve el último objeto no seleccionado en el orden-z (sólo cuenta objetos seleccionados; si nada superpone la selección, muévelo Arriba o Abajo hacia la parte superior o el fondo correspondiente).

Practique usando estos comandos mediante el revertimiento del orden-z de los objetos de adelante, de esta manera que la elipse de más a la izquierda está en el nivel superior y la elipse de más a la derecha está en el fondo:



Una atajo de selección muy útil es la tecla **Tab**. Si no hay nada seleccionado, este selecciona el objeto de más al fondo; de otra forma este selecciona el objeto *debajo del objeto(s) seleccionado(s)* en orden-z. **Mayus+Tab** trabaja a la inversa, iniciando desde el objeto en el nivel más superior y procede con los siguientes. Los objetos que crea son agregados al nivel superior de la pila, presionando **Mayus+Tab** con nada seleccionado convenientemente seleccionará los *últimos* objetos que usted ha creado. Practica con las teclas **Tab** y **Mayus+Tab** en la pila de elipse de abajo.

## Seleccionando debajo y arrastrando seleccionados

¿Qué hacer si el objeto que requiere está oculto tras otro objeto? Usted podrá aún observar el objeto del fondo si el del nivel superior está (parcialmente) transparente, pero dando click en el seleccionará el objeto superior, no el que usted requiere. Esto es para lo que **Alt+click** está hecho. Primero **Alt+click** selecciona el objeto superior como un sencillo click. sin embargo, el siguiente **Alt+click** en el mismo punto seleccionará el objeto *debajo* del superior; el siguiente, el objeto bajo siguiente, etc. Muchos **Alt+clicks** en una línea hará un ciclo, superior-al-fondo, a través de la pila de objetos en orden-z en el punto del click. Cuando el objeto del fondo es alcanzado, el siguiente **Alt+click** naturalmente, seleccionará el objeto más superior.

Esto es bueno, pero una vez que usted selecciona un objeto bajo-la-superficie, ¿Qué puede hacer usted con el?. Puede usar teclas para transformarlo y puede arrastrar los manejadores selección. Sin embargo, arrastrando sobre el objeto mismo deseleccionará el objeto superior de nuevo (esto es como el click-y-arrastrado está diseñado para trabajar — este selecciona el objeto (superior) bajo el primer cursor, entonces arrastre la selección). Para indicarle a Inkscape el arrastrar *que está seleccionado ahora* sin seleccionar nada más, use **Alt+arrastrar**. Esto moverá la selección sin importar donde arrastra usted el ratón.

Practique **Alt+click** y **Alt+drag** sobre las dos formas cafés debajo del rectángulo verde transparente:



*Este tutorial cubre los siguientes temas: copiar/pegar, edición de nodos, dibujo de curvas bezier y a mano alzada, manipulación de rutas, booleanos, desvío, simplificación y herramienta texto.*

*Use **Ctrl+flechas**, **ruedada del ratón** o **arrastran con botón central del ratón** para situar la página. Para las bases acerca de la creación de objetos, selección y transformación, observe el tutorial básico en **Ayuda > Tutoriales**.*

## Técnicas de pegado

Después de que usted copia algún(os) objeto(s) mediante **Ctrl+C** o corta mediante **Ctrl+X**, el comando regular **Pegar (Ctrl+V)** pega el/los objeto(s) copiados, bajo el cursor del ratón o cursor o si el cursor se encuentra fuera de la ventana, en el centro de la ventana del documento. Sin embargo, el/los objeto(s) en el portapapeles aún recuerdan el lugar original donde fue(ron) copiado(s) y usted puede copiarlos de nuevo en ese lugar mediante **Pegar en el sitio (Ctrl+Alt+V)**.

Otro comando, **Pegar estilo (Mayus+Ctrl+V)**, aplica el estilo del (primer) objeto en el portapapeles a la selección actual. Así el "estilo" pegado incluye la configuración de relleno, trazo y fuente, pero no la forma, tamaño o parámetros específicos de un tipo de forma, tales como el número de puntas de una estrella.

## Dibujando a mano alzada y trazos regulares

La forma más sencilla para crear formas arbitrarias es dibujar usando la herramienta **Lapiz (dibujar líneas a mano alzada) (F6)**:



Si desea figuras más regulares, use la herramienta **Pluma (Bezier) (Mayus+F6)**:



Con la herramienta pluma, cada **click** crea un nodo sin ningún manejador de curva, así una serie de clicks produce una secuencia de segmentos rectos de línea. **Click y arrastrar** crea un suave nodo Bezier con dos manejadores colineales opuestos. Presione **Mayus** mientras arrastra un manejador para rotar solo un manejador y arreglar el otro. Como usualmente, **Ctrl** limita la dirección o del segmento de línea actual o el incremento del manejador Bezier en 15 grados. Presionando **Enter** finaliza la línea, **Esc** la cancela. Para cancelar tan solo el último segmento de una línea sin finalizar, presione **Barra espaciadora**.

En ambas herramientas, el trazo actualmente seleccionado muestra una pequeña *ancla* cuadrada en ambos finales. Estas anclas le permiten *continuar* este trazo (mediante arrastrado desde uno de las anclas) o *cierrelo* (mediante arrastrado de una ancla a la otra) en vez de crear una nueva.

## Editando trazos

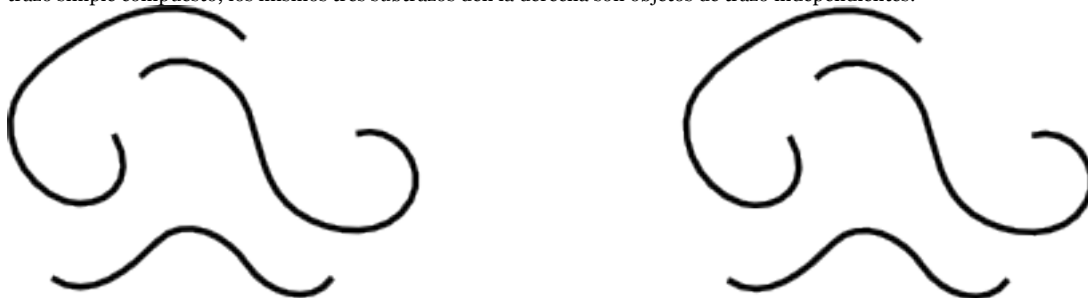
Diferente a las formas creadas con la herramienta Forma, las herramientas Pluma y Lápiz crean lo que es denominado *trazos*. Un trazo es una secuencia de segmentos de línea recta y/o como las curvas Bezier, como cualquier otro objeto de Inkscape, puede tener unas propiedades arbitrarias de relleno y borde. Pero diferente a una forma, un trazo puede ser editado mediante arrastrado libre de cualquiera de sus nodos (y no sólo mediante manejadores predeterminados). Seleccione este trazo y active la herramienta Nodo (F2):



Los trazos son editados mediante **arrastrado** de sus nodos y nodos manejadores. (Intente arrastrar algunos nodos y manejadores del siguiente trazo.) **Ctrl** trabaja usualmente restringiendo movimientos y rotación. Las teclas: **flechas**, **Tab**, **[**, **]**, **<**, **>** con sus modificadores trabajan como lo hace el selector, pero aplica a los nodos en vez de a los objetos. Puede borrar (**Del**) o duplicar (**Mayus+D**) los nodos seleccionados. El trazo puede ser roto (**Mayus+B**) en los nodos seleccionados, o si selecciona dos nodos finales en un trazo, los puede agrupar mediante (**Mayus+J**). Un nodo puede hacerse *agudo* (**Mayus+C**), lo cual indica que sus dos manejadores pueden moverse independientemente den cualquier ángulo para cada uno; *suave* (**Mayus+S**), el cual indica que sus manejadores siempre están sobre la misma línea recta (colineal); y *simetrico* (**Mayus+Y**), que es lo mismo que suave, pero los manejadores también tienen la misma longitud. Usted, también puede *retraer* completamente el manejador de un nodo mediante **Ctrl+click** sobre él. Si dos nodos adyacentes poseen sus manejadores retraídos, el segmento de trazo entre ellos es una línea recta. Para salir del nodo retraído, haga **Mayus+drag** lejos del nodo.

## Subtrazos y combinación

Un objeto trazo puede contener más de un *subtrazo*. Un subtrazo es una secuencia de nodos conectados entre si. (Por lo tanto, si un trazo tiene más de un subtrazo no todos los nodos están conectados.) Abajo a la izquierda, tres subtrazos pertenecen a un trazo simple compuesto; los mismos tres subtrazos den la derecha son objetos de trazo independientes:



Note que un trazo compuesto no es lo mismo que un grupo. Es un objeto sencillo el cual es sólo seleccionable como uno entero. Si usted selecciona el objeto de la izquierda a continuación y tome la herramienta nodo, podrá observar los nodos mostrados en los tres subtrazos. En la derecha, puede solo editar-nodos sobre un solo trazo a la vez.

Inkscape puede **Combinar** trazos en un trazo compuesto (**Ctrl+K**) y **Separar** un trazo compuesto en trazos separados (**Mayus+Ctrl+K**). Intente estos comandos sobre los ejemplos de a continuación. Desde que un objeto solo posea un relleno y estilo de trazo, un nuevo trazo compuesto toma el estilo del primer (menores en orden-z) objeto siendo combinado. Cuando combina trazos superpuestos con relleno, usualmente el relleno puede desaparecer en las áreas donde el trazo se superpone:

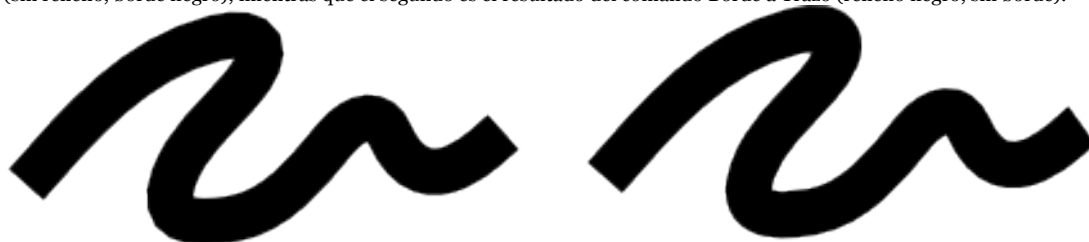


Este es el modo más sencillo para crear objetos con agujeros en el. Para comandos de trazo más poderosos, observe "Operaciones Booleanas" más adelante.

## Convirtiendo a trazo

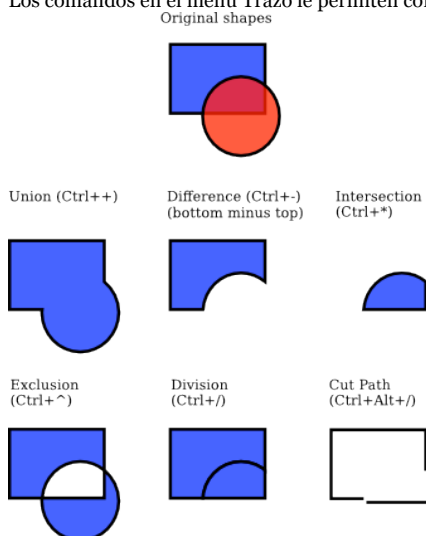


Además, usted puede convertir a trazo ("delineado") el *Borde* de cualquier objeto. Adelante, el primer objeto es el trazo original (sin relleno, borde negro), mientras que el segundo es el resultado del comando *Borde a Trazo* (relleno negro, sin borde):



## Operaciones booleanas

Los comandos en el menú *Trazo* le permiten combinar dos o más objetos usando *operaciones booleanas*:

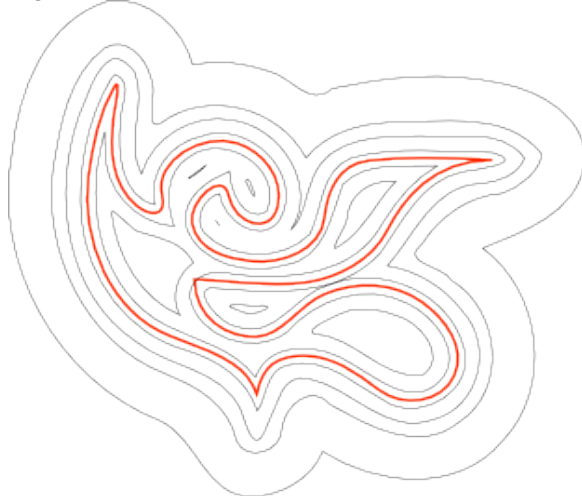


Los atajos por teclado para estos comandos hacen alusión a los análogos aritméticos de las operaciones booleanas (union es adición, diferencia es sustracción, etc.). Los comandos *Diferencia* y *Exclusión* sólo pueden ser aplicados a dos objetos seleccionados; otros pueden procesar cualquier número de objetos a la vez. El resultado siempre recibe el estilo del objeto del fondo.

El resultado del comando Exclusión se parece a Combinar (observe adelante), pero es diferente a Exclusion en el hecho que este último agrega nodos donde estaban las intersecciones de trazos originales. La diferencia entre División y Cortar Trazo radica en que el primero de ellos corta completamente el objeto del fondo por el trazo del objeto de la parte superior, mientras el último solo corta el borde del objeto del fondo y remueve cualquier relleno (esto es conveniente para cortado en piezas de bordes sin-relleno).

## Reducir y ampliar

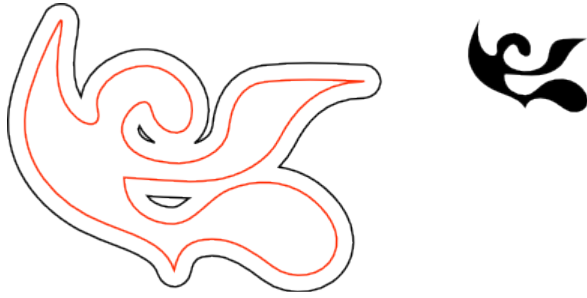
Inkscape puede expandir y contraer formas no solo mediante escalado, también puede mediante *desvío* de trazo de un objeto, i.e. desplazándolo perpendicularmente al trazo de cada punto. Los comandos correspondientes son llamados Ampliar ( $Ctrl + ($ ) y Reducir ( $Ctrl + )$ ). Mostrados adelante como el trazo original (rojo) y un número de trazos ampliados y reducidos del original:



Los comandos directos Ampliar y Reducir producen trazos (convirtiendo el objeto original a trazo si aún no es trazo). Muchas veces, más conveniente es Desvío Dinámico ( $Ctrl + J$ ) el cual crea un objeto con manejadores arrastrables (similar al manejador de formas) contralando la distancia de desviado. Seleccione el objeto de abajo, cambie a la herramienta nodo y arrastre su manejador para obtener una idea:



Como un *objeto desviado dinámicamente* recuerda el trazo original, este no "degrada" cuando usted cambia la distancia de desviado una y otra vez. Cuando usted no lo requiere ajustar más, siempre puede volver a convertir un objeto desviado a trazo. Aún más conveniente es el *Desvío Enlazado*, el cual es similar a la variedad dinámica pero es conectado a otro trazo el cual se mantiene editable. Usted puede tener cualquier número de desvíos enlazadas para un trazo fuente. Adelante, el trazo fuente es rojo, un desvío enlazado a este tiene borde negro y no posee relleno, el otro posee relleno negro y no tiene borde. Seleccione el objeto rojo y edit nodos; observe como ambas desviaciones enlazadas resoinden. Ahora seleccione cualquiera de las desviaciones y arrastre sus manejadores para ajustar el radio de desviación. Finalmente, note como moviendo o transformando el fuente mueve todos los objetos desviados enlazados a el y como usted puede mover o transformar objetos desviados independientemente sin perder su conexión con el fuente.



## Simplificación

El uso principal del comando Simplificar (**Ctr l+L**) es reducir el número de nodos de un trazo mientras casi preserve su forma. Esto puede ser útil para trazos creados mediante la herramienta Lápiz, ya que la herramienta en ocasiones crea más nodos de los necesarios. Adelante, la forma en la izquierda es creada mediante la herramienta nano alzada y la de la derecha es una copia pero simplificada. El trazo original tiene 28 nodos, mientras que el simplificado posee 17 (lo cual significa que es mucho más sencillo de trabajar con la herramienta Nudo) y es más suave.

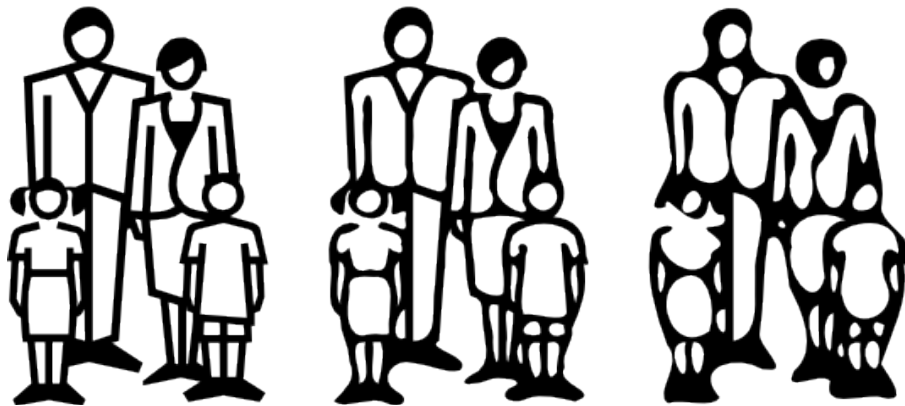


El monto de la simplificación (llamado *umbral*) depende del tamaño de la selección. Por lo tanto, si usted selecciona un trazo a lo largo con algún objeto grande, este será simplificado más agresivamente que si usted selecciona ese trazo pero solo. Además, el comando Simplificar *esacelerado*. Esto indica que si usted presiona **Ctr l+L** en múltiples ocasiones en una selección rápida (o sea que la llamada sea en 0.5 seg entre cada uno). El umbral es incrementado en cada llamado. (Si hace otro Simplificar después de una pausa, el umbral es devuelto a su valor por defecto.) Haciendo uso de la aceleración, es fácil de aplicar para el monto exacto de simplificación que usted requiere en cada caso.

Original

Slight simplification

Aggressive simplification



## Creando texto

Inkscape es capaz de crear textos largos y complejos. Sin embargo, esto es algo muy conveniente para la creación de textos pequeños como cabeceras, banners, logos, etiquetas de diagramas y captura, etc. Esta sección es una introducción muy básica acerca de las capacidades de texto de Inkscape.

Crear un texto es tan sencillo como cambiar a la herramienta de Texto (**F8**), dando click donde en el documento y escribiendo su texto. Para cambiar la familia de fuente, estilo, tamaño y alineación, abra el dialogo Texto y Fuente (**Mayus+Ctrl+T**).

Este dialogo tambien tiene una pestaña de entrada de texto donde usted puede editar el objeto de texto seleccionado - en algunas situaciones, esto puede ser más conveniente que editar sobre la pizarra (en particular, esta etiqueta soporta revisión de como-usted-escribe).

Una de las operaciones más comunes en el diseño de texto es el ajustar el espaciado entre letras y líneas. Como siempre, Inkscape provee atajos por teclado para esto. Cuando se encuentra editando texto, las teclas **Alt+<** y **Alt+>** cambian el *espaciado de letras* en la línea actual de un objeto de texto, así que la longitud total de las líneas cambian en 1 pixel en la visualización actual (compare con la herramienta Selector donde la misma tecla hace un escalado de objeto tamaño-pixel).

Como una regla, si el tamaño de fuente en un objeto de texto es más largo que el por defecto, se notará un apretujado de letras un poco más ajustado que el por defecto. Aquí un ejemplo:

Original

# Inspiration

Letter spacing decreased

# Inspiration

Las variantes de ajustados parecen un poco mejor que un encabezado, pero aún no es perfecto: las distancias entre letras no son uniformes, por ejemplo la "a" y la "t" están muy separadas mientras que la "t" y la "i" están muy cerca. El monto de de dicho kern erroneo (especialmente visible en tamaños de fuente grandes) es mayor en fuentes de baja calidad que en las otras de buena calidad; sin embargo, en cualquier cadena de texto y en cualquier fuente probablemente buscará un par de letras que puedan beneficiar el ajuste del espaciado.

Inkscape hace estos ajustes de una manera muy sencilla. Tan sólo mueva su cursor de edición de texto entre los caracteres mal espaciados y use **Alt+flechas** para mover las letras a partir del cursor. He aquí el mismo encabezado de nuevo, en esta ocasión con ajuste manual para un posicionado de letras visualmente uniforme:

Letter spacing decreased, some letter pairs manually kerned

# Inspiration

Adicionalmente, para movimiento horizontal de letras es mediante **Alt+Izquierda** o **Alt+Derecha**, también puede moverlas verticalmente mediante **Alt+Arriba** o **Alt+Abajo**:

# Inspiration

Similar al espaciado de letras, usted también puede ajustar *espacedo de línea* en objetos de texto multi-línea. Intente las teclas **Ctrl+Alt+<** y **Ctrl+Alt+>** sobre cualquier párrafo en este tutorial para espacarlo dentro o fuera así que la altura total de los objetos de texto cambian en 1 pixel en el zoom actual. Como en Selección, presionando **Mayus** con cualquier atajo de espaciado o kern produce efectos 10 veces más grande que sin el Mayus.

## Editor XML

Las última herramienta poderosa de XML es el editor XML (**Mayus+Ctrl+X**). Este muestra todo el árbol XML del documento, siempre refleja su actual estado. Usted puede editar sus dibujos y observar los cambios correspondientes en el árbol XML. Además, usted puede editar cualquier texto, elemento o atributo de nodos en el editor de XML y observe el resultado en su pizarra. Esta es la mejor herramienta imaginable para aprender interactivamente SVG y este le permite hacer trucos que pueden ser imposibles con herramientas regulares de edición.

### 3. Formas:

*Este tutorial cubre las cuatro herramientas de formas: Rectángulo, Elipse, Estrella y Espiral. Demostraremos las capacidades de las formas de Inkscape y presentaremos ejemplos de como y cuando pueden ser usadas. Use Ctrl+Flechas, rueda del ratón o arrastrar con el botón del medio para bajar la pizarra. Para las bases de la creación de objetos, la selección y sus transformaciones, observe el tutorial Básico en Ayuda > Tutoriales.*



Inkscape cuenta con cuatro versátiles *herramientas de formas*, cada herramienta es capaz de crear y editar su propio tipo de formas. Una forma es un objeto el cual puede ser modificado en un único modo dependiendo del tipo de forma, usando los *manejadores* arrastrables y los *parámetros numéricos* que determinan la apariencia de la forma.

Por ejemplo, con una estrella le es posible alterar el número de esquinas, su tamaño, ángulo, redondez, etc. — pero la ésta continua siendo una estrella. Una forma es "menos libre" que un simple trazo, pero es más interesante y útil. Siempre le es posible convertir una figura a trazo (**Ctrl+Shift+C**), pero el proceso inverso no es posible.

Las herramientas de forma son: *Rectángulo*, *Elipse*, *Estrella* y *Espiral*. *Primero, observaremos como funcionan las herramientas en general; más adelante exporaremos cada tipo de forma más a fondo.*

## Trucos Generales

Una nueva forma es creada por medio de **arrastar**(ado) sobre la pizarra con la herramienta correspondiente. Una vez que la forma es creada (y del modo en que sea seleccionada), mostrará sus manejadores en forma de diamantes, así le es posible editar inmediatamente lo que ha creado, mediante el arrastrado de estos manejadores.

Todos los cuatro tipos de formas muestran sus manejadores en las cuatro herramientas de formas como lo hace la herramienta Nodo(**F2**). Cuando mueve el ratón sobre un manejador, este le indicará en la barra de estado que hará este manejador cuando sea arrastrado o dado un click con modificadores diferentes.

También, cada herramienta de forma muestra sus parámetros en los *Controles de Herramientas* (la cual se encuentran en la parte superior de la pizarra). Usualmente este posee un campo pequeño de ingreso numérico y un botón para formatear los valores a valor por defecto. Cuando una(s) forma(s) son seleccionadasla con la herramienta actual, al editar los valores en los Controles de Herramientas la(s) forma(s) seleccionadas cambiará(n).

Cualquier cambio hecho a la barra de control es recordada y usada para el próximo objeto que usted dibuje con dicha herramienta. Por ejemplo, después de que ha cambiado el número de esquinas de una estrella, la nueva estrella tendrá este número de esquinas cuando sea dibujada. Además, con una simple selección de una forma le serán enviados los parámetros a la barra de Control y así configurará los valores para las nuevas formas que sean creadas de este mismo tipo.

Cuando se posee la herramienta de formas, la selección puede realizarse por medio de un **click**sobre la forma. **Ctrl+click** (selección en grupo) y **Alt+Click** (Selección de abajo) también trabajan como con la herramienta Selección. **ESC** deselecciona.

## Rectángulos

Un *rectángulo* es la más simple pero consideramos, es la forma más común en el diseño y la ilustración. Inkscape permite la creación y edición de rectángulos de la manera más fácil y sencilla posible.

Cambie a la herramienta Rectángulo mediante **F4** o mediante click sobre el botón en la barra de Herramientas. Dibuje un nuevo rectángulo al lado de este rectángulo azul:

draw here



Después, sin dejar la herramienta Rectángulo, cambie la selección de uno a otro por medio de click.

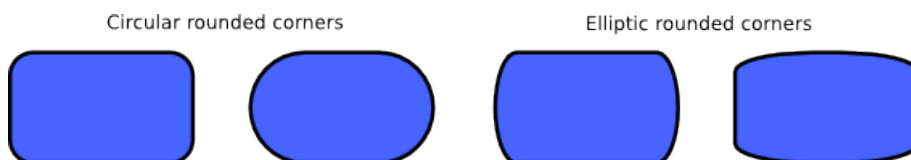
Atajos para dibujo de Rectángulos:

- Con **Ctrl**, dibuje un cuadrado o un rectángulo de radio-entero (2:1, 3:1, etc).
- Con **Shift**, dibuje alrededor del punto inicial como centro de esta forma.

Como podemos observar, el rectángulo seleccionado (El Rectángulo recién dibujado es siempre seleccionado) muestra tres manejadores en tres de sus esquinas. De hecho, estos son tres manejadores, pero dos de ellos (en la esquina superior derecha) se superponen si el rectángulo no está redondeado. Estos dos son los *manejadores de redondeado*; los otros dos (superior izquierdo e inferior derecho) son los *manejadores de tamaño*.

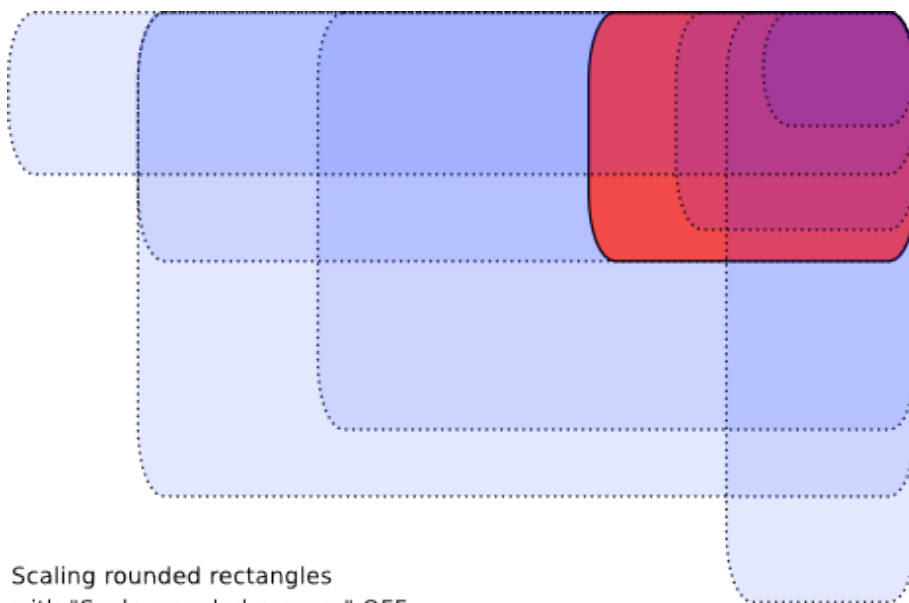
Vamos primero con los manejadores de redondez. Tome uno de ellos y arrástrelo hacia abajo. Las cuatro esquinas del rectángulo son redondeadas y le es posible observar el segundo manejador de redondeado — este se encuentra en la posición original de la esquina. Si desea esquinas con un redondeado circular, esto es lo que debe hacer. Si desea esquinas cuya redondez sea mayor o menor de un lado que del otro, mueva el otro manejador verticalmente.

Aquí, los primeros dos rectángulos poseen esquinas redondeadas y los otros dos tienen esquinas redondeadas elípticamente:



Aún con la herramienta Rectángulo, de click sobre estos rectángulos para seleccionar y observe sus manejadores de redondeado. La mayoría de ocasiones, el radio y la forma de redondeo de las esquinas deben ser constantes dentro de la composición entera, incluso si el tamaño de los rectángulos son diferentes (piense en diagramas con cajas redondeadas de varios tamaños). Inkscape lo hace sencillo. Cambie a la herramienta Selección; en su Control de herramientas, hay un grupo de cuatro botones de selección, el segundo desde la izquierda muestra dos esquinas redondeadas concéntricas. Así es como usted controla si las esquinas redondeadas son escaladas, cuando el rectángulo es escalado o no.

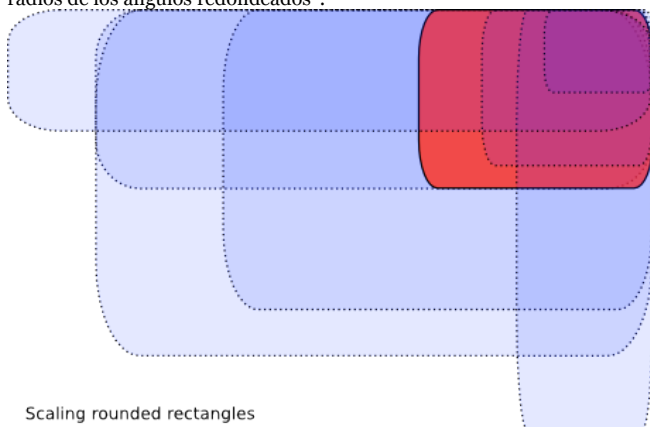
Por ejemplo, aquí el rectángulo rojo original es duplicado y escalado varias veces, arriba y abajo, en diferentes proporciones, por medio del botón "Escalar los radios de los ángulos redondeados" *off*:



### Scaling rounded rectangles with "Scale rounded corners" OFF

Note como el tamaño y forma de la esquinas redondeadas es el mismo en todos los rectángulos, así que los redondeados se alínean perfectamente en la esquina superior derecha donde ellos se encuentran. Todos los rectángulos punteados de color azul son obtenidos del rectángulo rojo original tan sólo escalándolos mediante la Selección, sin ningún reajuste manual de los manejadores de redondeado.

Para una comparación, aquí encontramos la misma composición pero creado ahora por medio del botón *activo* "Escalar los radios de los ángulos redondeados":



### Scaling rounded rectangles with "Scale rounded corners" ON

Ahora las esquinas redondeadas son tan diferentes como los rectángulos a los que pertenecen y no hay un encuentro leve en la parte superior de la esquina derecha (haga zoom para visualizar). Este es el mismo resultado (visible) que puede obtener mediante la conversión del rectángulo original a un trazo (**Ctrl+Shift+C**) y escálo como un trazo.

He aquí los atajos para el redondeado de manejadores de redondeado de un rectángulo:

- Arrastre con **Ctrl** para hacer igual el otro radio (redondeado circular).
- **Ctrl+click** para hacer igual el otro radio sin necesidad de arrastrar.

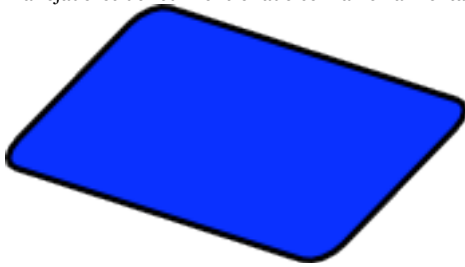
- **Shift+click** para remover el redondeado.

Debe de haber notado que la barra de Control de Herramientas muestra el radio del redondeado horizontal ( $R_x$ ) y vértical ( $R_y$ ) del rectángulo seleccionado y le permite configurarlos precisamente usando cualquier unidad de medida. El botón **No redondeado** hace lo que dice — remueve el redondeado del/los rectángulo(s).

Una ventaja importante de estos controles es que pueden afectar algunos rectángulos a la vez. Por ejemplo, si desea cambiar todos los rectángulos en la capa, solo haga **Ctrl+A** (Seleccionar Todo) y configure los parámetros que requiera en la barra de Control. Si cualquier objeto no-rectángulo es seleccionado, este objeto(s) será ignorado —, sólo serán cambiados los rectángulos.

Ahora vamos a redimensionar los manejadores de un rectángulo. Se preguntará, ¿al fin, por qué los necesitamos, si sólo deseamos cambiar el tamaño del rectángulo con Selección?

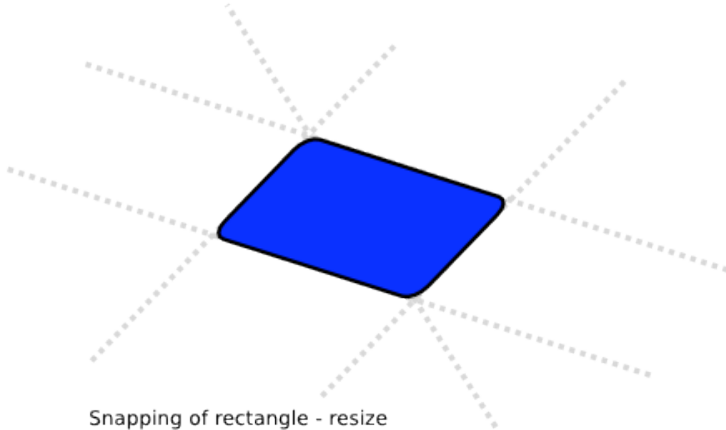
El problema con Selección radica en que su noción de horizontal y vértical es respecto a la hoja del documento. A diferencia, la escala de los manejadores redimensionadores del rectángulo es *a lo largo de los lados de rectángulo*, uniformemente si el rectángulo es rotado o inclinado. Por ejemplo, intente redimensionar este rectángulo, primero con Selección y luego con sus manejadores de redimensionado con la herramienta Rectángulo:



Desde que los manejadores de redimensionamiento sean dos, usted puede redimensionar el rectángulo en cualquier dirección o moverlo uniformemente a lo largo de sus lado. Los manejadores de redimensionado siempre preservan el redondeado del radio. He aquí algunos atajos para los manejadores de redimensionado:

- Arrastre con **Ctrl** para encajar los lados o la diagonal del rectángulo. En otras palabras, **Ctrl** preserva o el ancho o el alto, o el radio de ancho/alto del rectángulo (de nuevo, en su propio sistemas de coordenadas el cual puede ser rotado o inclinado)

Aquí está el mismo rectángulo con las líneas punteadas grises, mostrando las direcciones para las barras de los manejadores de redimensionado cuando son arrastrados con **Ctrl** (inténtelo):



Snapping of rectangle - resize handles with Ctrl

Mediante inclinación y rotación de un rectángulo, luego duplicándolo y redimensionando a partir de sus manejadores de redimensionado, pueden ser creadas composiciones 3D fácilmente:



3 original rectangles

Several rectangles copied and resized by handles, mostly with Ctrl

Aquí podemos observar algunos ejemplos de composiciones de rectángulos, incluyendo redondeado y relleno con gradientes:

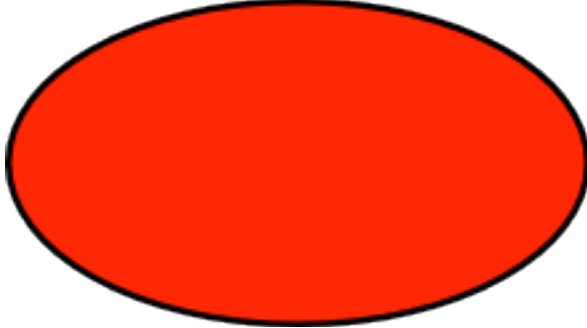


## Elipses

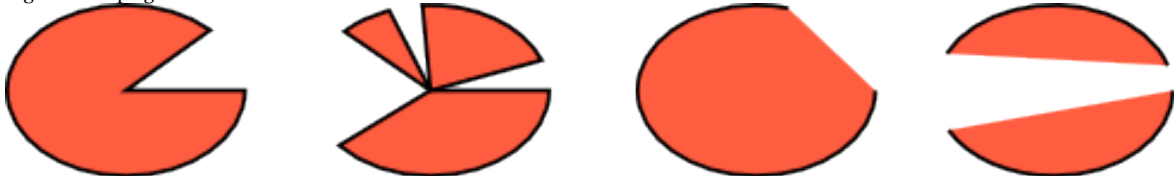
La herramienta Elipse (F5) puede crear elipses y círculos, los cuales pueden volverse segmentos y arcos. Los atajos de dibujo son los mismo que la herramienta rectángulo:

- Con **CtrL**, dibuje un círculo o una elipse radio-entero (2:1, 3:1, etc.).
- Con **Shift**, dibuje alrededor del punto inicial como centro de esta forma.

Vamos a explorar los manejadores de una elipse. Seleccione una:



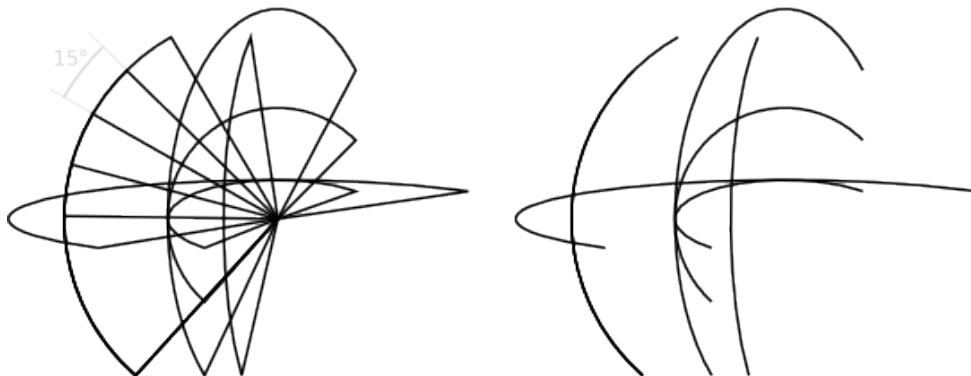
Una vez más, puede observar tres manejadores inicialmente, pero de hecho, son cuatro. El manejador más al extremo derecho consiste en dos manejadores superpuestos que le permiten "abrir" la elipse. Arrastre el manejador que se encuentra más al extremo derecho, después arrastre el otro manejador el cual se hace visible debajo de este, para obtener una variedad de segmentos tipo gráfica-torta o arcos:



Para obtener un *segmento* (un arco más dos radios), arrastre *fuera* de la elipse; para obtener un *arco*, arrástrelo *dentro*. Abajo, hay 4 segmentos a la izquierda y 3 arcos a la derecha. Note que los arcos son figuras no cerradas, **IMPORTANTE**: el borde solo va a lo largo de la elipse pero no se conecta con el final del arco. Usted puede hacer esto obvio si usted remueve el relleno, dejándolo sólo el borde:

Segments

Arcs



Note el grupo de segmentos angostos a la izquierda. Esto fue sencillo de crear usando *ángulo de rotación* del manejador con **CtrL**. He aquí algunos atajos para manejadores de arcos/segmentos:

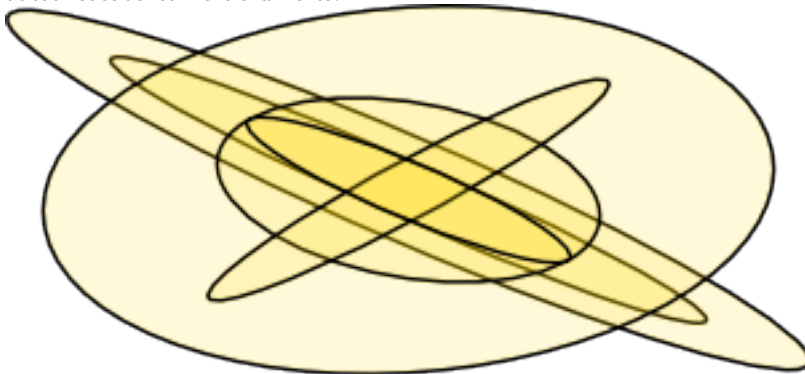
- Con **Ctrl**, rote los manejadores 15 grados cuando sea arrastrado.
- **Shift+click** para completar la elipse (no un arco o un segmento).

El ángulo de rotación puede ser cambiado en las Preferencias de Inkscape (la pestaña **Pasos**).

Los otros dos manejadores de la elipse son usados para redimensionarla alrededor de su centro. Sus atajos son similares a los de manejadores de redondeado de un rectángulo:

- Arrastre con **Ctrl** para hacer círculos (Haga el otro radio igual).
- **Ctrl+click** Para hacer círculo sin arrastrado.

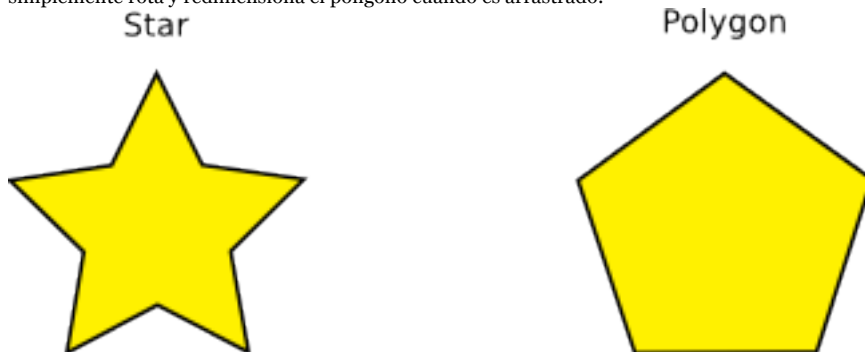
Y, como los manejadores de redimensionado de rectángulos, estos manejadores de elipse ajustan el ancho y alto de la elipse en *las coordenadas propias de la elipse*. Esto significa que una elipse rotada o inclinada puede ser alargada o ensachada a lo largo de sus ejes originales mientras el resto es rotado o inclinado. Intente redimensionar cualquiera de estas elipses a través de sus nodos de redimensionamiento:



## Estrellas

Las estrellas son más complejas pero son las formas más emocionantes de Inkscape. Si desea sorprender a sus amigos con Inkscape, permítale jugar con la herramienta Estrella. —¡Este es un entretenimiento francamente adictivo, y por supuesto, sin fin!.

La herramienta estrella puede crear dos objetos similares pero de distinta clase: estrellas y polígonos. Una estrella tiene dos manejadores cuyas posiciones definen la longitud y forma de sus estrellas; un polígono posee un sólo manejador el cual simplemente rota y redimensiona el polígono cuando es arrastrado:



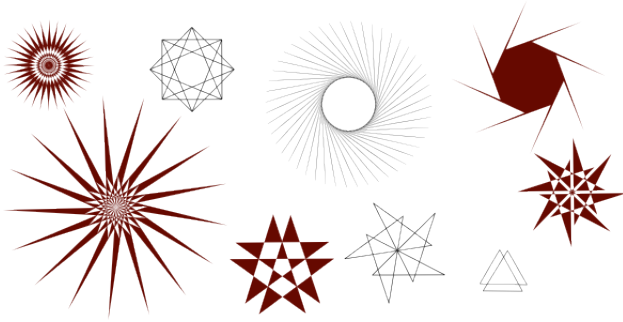
En la barra de Control de la herramienta Estrella, primero está un botón de selección (checkbox) para volver una estrella en su polígono correspondiente y viceversa. Sigue, un campo numérico que configura el *número de vértices* de una estrella o un polígono. Este parámetro es sólo editable por medio de la barra de Control. El rango permitido es desde 3 (obviamente) hasta 1024, pero no intente con números grandes (más de 200) si su computador es lento.

Cuando dibuje una estrella o un polígono,

- Arrastre con **Ctrl** para incrementar la rotación del ángulo en 15 grados.

Naturalmente, una estrella es la forma más interesante (aunque los polígonos en la práctica, son más útiles). Los dos manejadores de una estrella tienen funciones levemente diferentes. El primer manejador (inicialmente se encuentra sobre una cima, sobre una esquina *convexa* de la estrella) hace los rayos de la estrella más largos o cortos, pero cuando los rota (relativo al centro de la figura), el otro manejador rota de acuerdo a este. Esto significa que no puede inclinar los rayos de la estrella con este manejador.

El otro manejador (inicialmente en una esquina *concava* en medio de los dos vértices) es, convenientemente, libre para mover ambos radialmente y tangencialmente, sin afectar el manejador cima. (De hecho, este manejador puede convertirse por sí mismo en una cima por medio del movimiento más lejano desde el centro que el otro manejador.) Este es el manejador que puede inclinar las puntas de las estrellas para obtener gran variedad de cristales, mandalas, cristales de nieve y puercoespines:



Si sólo desea una estrella regular plana sin algún trazo especial, puede hacer que el manejador de inclinado se comporte como el otro que no lo es:

- Arrastre con **Ctrl** para mantener los rayos de la estrella estrictamente radiales (no inclinados).
- **Ctrl+click** para remover la inclinación sin arrastrar.

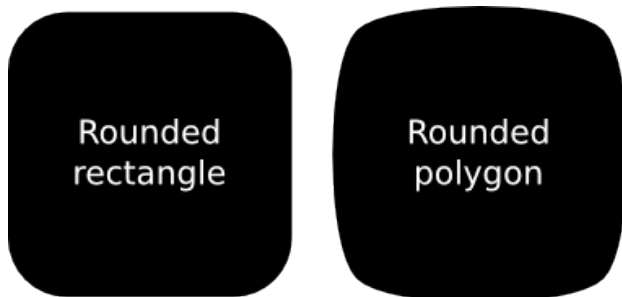
Como un complemento útil para el arrastrado del manejador sobre la pizarra, la barra de Control tiene el campo de longitud de Radio el cual define el radio de las distancias en el centro.

Las estrellas de Inkscape posee otros dos trucos más en la manga. En geometría, un polígono es una forma con bordes de líneas rectas y esquinas afiladas. En el mundo real, sin embargo, varios grados de curvilinearidad y redondeado son normalmente presentes — e Inkscape puede hacerlo también. El redondeado de una estrella o polígono trabaja un poco diferente al redondeado de un rectángulo, sin embargo, usted no emplea un manejador especializado.

- **Shift+arrastrar** en un manejo tangencialmente, para redondear la estrella o polígono.
- **Shift+click** en un manejador para remover el redondeado.

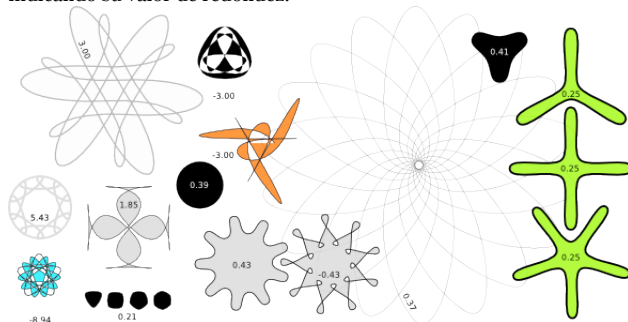
"Tangencialmente" significa en una dirección perpendicular a la dirección del centro. Si "rota" un manejador con Shift en sentido anti-horario alrededor del centro, obtendrá redondeado positivo; con rotación horaria, obtendrá redondeado negativo. (Observe más adelante los ejemplos de redondeado negativo).

Aquí podemos encontrar una comparación de un cuadrado redondeado (herramienta Rectángulo) con un polígono redondeado de 4-lados (herramienta Estrella):

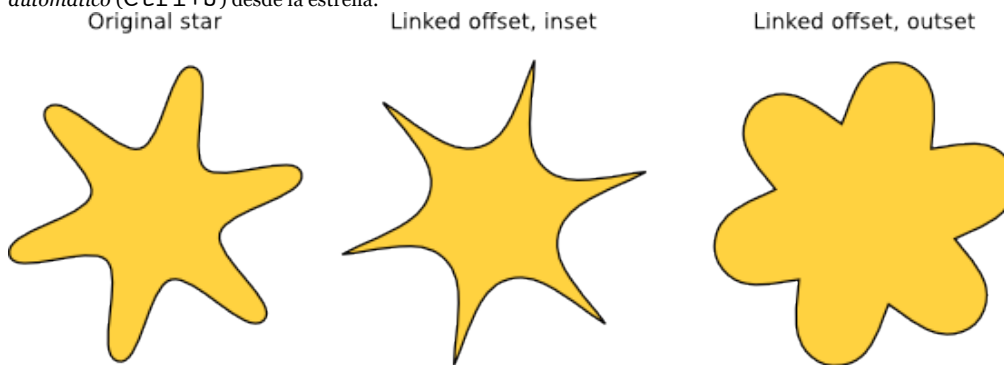


Como podemos observar, mientras un rectángulo redondeado posee segmentos de líneas rectas en sus lados, y redondeado circular (generalmente, elíptico), un polígono o estrella redondeada no posee líneas rectas; sus curvaturas varían suavemente desde el máximo (en las esquinas) al mínimo (en la mitad entre las estrellas). Inkscape lo hace simple mediante la adición colineal de tangentes Bezier para cada nodo de la forma (puede observarlo si convierte la forma en trazo y lo examina con la herramienta Nodo).

El parámetro Redondez el cual puede ajustar en la barra de Control, es el radio de la longitud de dichas tangentes para la longitud de los lados del polígono/estrella a los que son adyacentes. Este parámetro puede ser negativo, lo cual invierte la dirección de las tangentes. Los valores entre 0.2 a 0.4 dan un redondeado "normal" de la clase que usted espera; otros valores tienden a producir patrones hermosos, difíciles y totalmente impredecibles. Una estrella con valores de redondez muy grandes puede alcanzar una posición lejana más allá de la posición de sus manejadores. He aquí unos cuantos ejemplos, cada uno indicando su valor de redondez:



Si desea que las puntas de las estrellas sean afiladas pero concavas suavemente o viceversa, es fácil de hacer creando un *Desvío automático* (**Ctrl+J**) desde la estrella:



**Shift+arrastrar** en los manejadores de la estrella en Inkscape es una de las más finas búsquedas conocidas por el hombre. Pero aún pueden ser conseguidas mejor.

Para imitar más de cerca las formas del mundo real, Inkscape puede hacer *aleatorio* (i.e. distorsión aleatoria) en sus estrellas y polígonos. La aleatoriedad baja hace a la estrella menos regular, más humana, más divertida; aleatoriedad alta es una forma emocionante para obtener una variedad de alocadas formas impredecibles. Una estrella redondeada conservan redondeado suave cuando es aleatorizado. He aquí los atajos:

- **Alt+arrastrar** sobre un nodo, de forma tangencial para aleatorizar la estrella o polígono.
- **Alt+click** sobre un nodo remueve la aleatoriedad.

Como usted dibuja o edita a mano por arrastrado una estrella aleatorizada, esta puede "temblar" a causa de que cada posición única de los manejadores corresponde a su única aleatoriedad propia. Así, moviendo un manejador sin Alt re-aleatoriza la forma al mismo nivel de aleatoriedad. Aquí están las estrellas cuyos parámetros son exactamente los mismos, pero cada una es re-aleatorizada por movimientos muy suaves de sus manejadores (nivel de aleatoriedad es a través de 0.1):

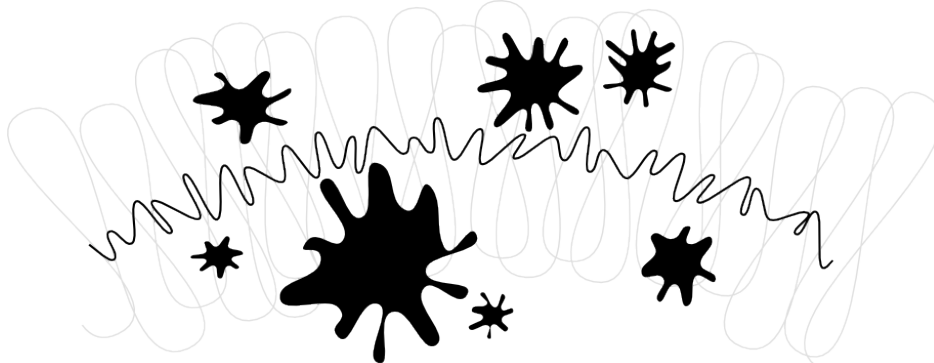


Y aquí está la estrella media desde la fila previa, con el nivel de aleatoriedad varia desde -0.2 hasta 0.2:



**Alt+arrastrar** sobre un manejador de la estrella media en su fila y observe como cambian en sus vecinos de la derecha y de la izquierda —.

Usted probablemente busque sus propias aplicaciones para aleatorizar estrellas, pero yo especialmente me encariñe con los broches en forma de amebas y grandes planetas ásperos con hermosos paisajes:



## Espirales

Las espirales de Inkscape son unas formas versátiles, aunque no tan envidiadas como las estrellas, pero en ocasiones es muy útil. Una espiral, como una estrella, se dibuja desde el centro; mientras es dibujada como puede ser editada,

- **Ctrl+arrastrar** para lograr una rotación de 15 grados.

Una vez dibujada, una espiral posee dos manejadores en su inicio y finalización interna y externa. Ambos manejadores, cuando son arrastrados, simplemente enrollan o desenrollan la espiral (i.e. "continue" cambiando el número de giros). Otros atajos:

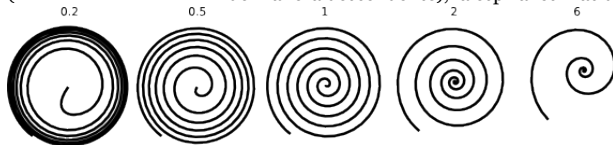
Manejador Externo:

- **Shift+arrastrar** para escalar/rotar alrededor del centro (no enrollar/desenrollar).
- **Alt+arrastrar** para bloquear el radio mientras enrollamos/desenrollamos.

Manejador interno:

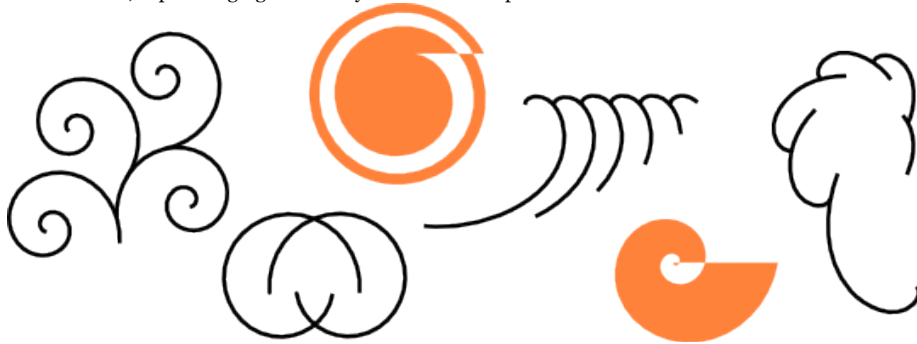
- **Alt+arrastrar** verticalmente para lograr convergencia/divergencia.
- **Alt+click** para formatear la divergencia.
- **Shift+click** para mover el manejador interno para el centro.

La *divergencia* de una espiral es la medida no lineal de sus giros. Cuando es igual a 1, la espiral es uniforme; cuando es menor a 1 (**Alt+arrastrar** de manera ascendente), la espiral es más densa sobre la periferia; cuando es mayor que 1 (**Alt+arrastrar** de manera descendente), la espiral es más densa a través del centro:

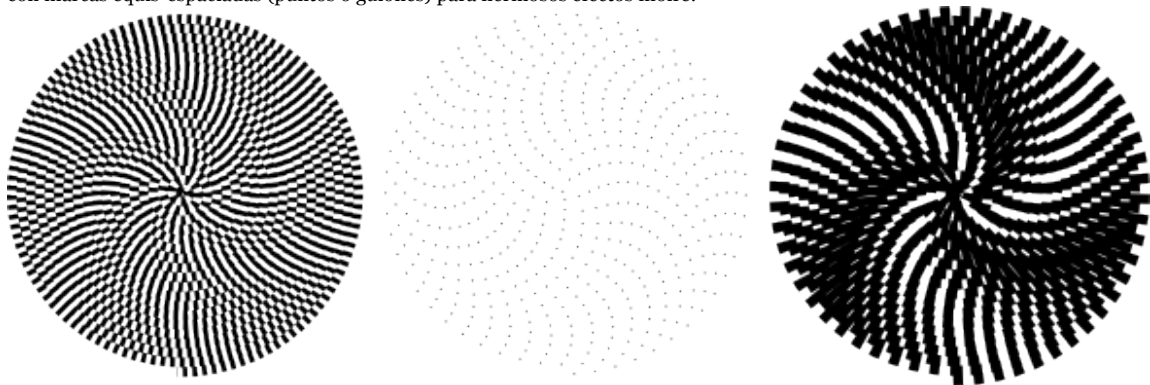


El número máximo de giros para la espiral es 1024.

Así como la herramienta Elipse es buena no sólo para elipses, sino también para arcos (líneas de curvatura constante), la herramienta Espiral es útil para hacer curvas con curvatura de *suavidad variable* curvature. Comparada con la curva plana Bezier, un arco o una espiral es mucho más conveniente a causa de que usted puede hacerlos más cortos o largo mediante el arrastrado de un manejador a lo largo de la curva sin afectar su forma. También, mientras una espiral es dibujada normalmente sin un relleno, le puede agregar relleno y remover borde para crear efectos interesantes.



Algo especialmente interesantes son las espirales con borde punteado — ya que combinan la suave concentración de la forma con marcas equis-espaciadas (puntos o guiones) para hermosos efectos moire:



#### 4. Caligrafía:

Una de las grandes herramientas disponibles en Inkscape es la herramienta de Caligrafía. Este tutorial le ayudará a conocer como trabaja la herramienta, o mejor aún demostrar alguna técnicas básicas del arte de la Caligrafía.

## Historia y estilos

Dirigiéndonos a la definición del diccionario, *caligrafía* significa "escritura hermosa" o "escritura elegante o vistosa".

Esencialmente, la caligrafía es el arte de hacer escritura a mano de manera hermosa o elegante. Esto puede sonar intimidante, pero con un poco de práctica, cualquiera puede ser un maestro en las bases de este arte.



Las primeras formas de caligrafía se remontan a los gráficos rupestres. Después del año 1440 D.C. y antes de la creación de la prensa de impresión, la caligrafía se encontraba en los libros y otras publicaciones que eran realizadas. Un escriba tenía que realizar a mano cada copia de cada libro o publicación. La escritura a mano era realizada con una pluma y tinta hechas sobre vitelas o pergaminos. Los estilos de letra usados a través de esos años incluían: Rústico, Carolingio, Letraoscura, etc. Hoy en día el uso más común de la caligrafía son las invitaciones a bodas.

Existen tres tipos principales de caligrafía:

- Occidental o Roman
- Arabiga
- China u Oriental

Este tutorial se enfoca fundamentalmente en la caligrafía Occidental, como los otros dos estilos tienden al uso de la brocha (En vez de un esfero con mina), lo cual no se relaciona al funcionamiento actual de nuestra herramienta de Caligrafía.

Una de las grandes ventajas que tenemos sobre los escribas del pasado, es el comando **Deshacer**: Si usted comete un error, no se daña toda la página. La herramienta Caligrafía de Inkscape permite algunas otras técnicas que no serían posibles con una pluma y tinta tradicional.

## Hardware

Obtendrá unos mejores resultados si usa una *tableta y lápiz* (eje. Wacom). Sin embargo, por medio del ratón usted puede hacer algunos trazos caligráficos iniciales, piense que tendrá dificultad para producir trazos rápidos.

Inkscape no usa aún *sensibilidad de presión* de un lápiz de tabla, pero esto no es un problema, por que una pluma de caligrafía tradicional (diferente a una brocha) también no es muy sensible a la presión. La pluma caligráfica de Inkscape puede ser sensible a la *velocidad del trazo* (Observe "Adelgazar" más adelante), entonces si usa el ratón, probablemente deseará en ver este parámetro.

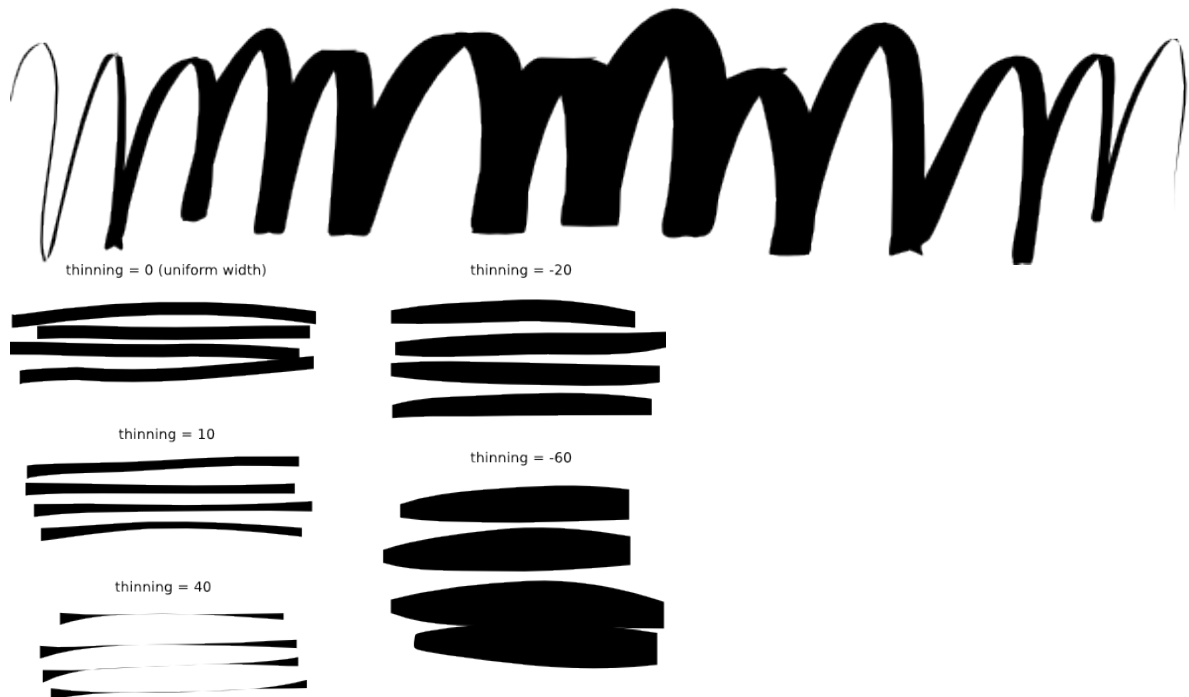
## Opciones de la Herramienta de Caligrafía

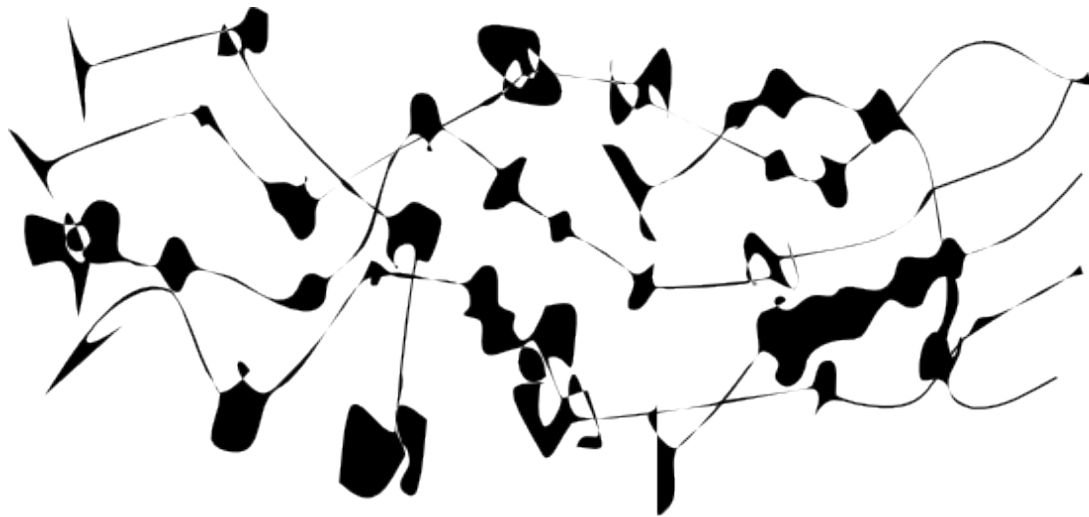
Desde que el ancho de la pluma sea cambiado a menudo, usted puede ajustarlo sin ir a la barra de herramientas, usando las teclas de flechas **izquierda** y **derecha**. Lo mejor de estas teclas es que trabajan de esta forma sólo mientras dibuja, así que puede cambiar el ancho de su pluma gradualmente en medio del trazo:

width=1, growing...

reaching 47, decreasing...

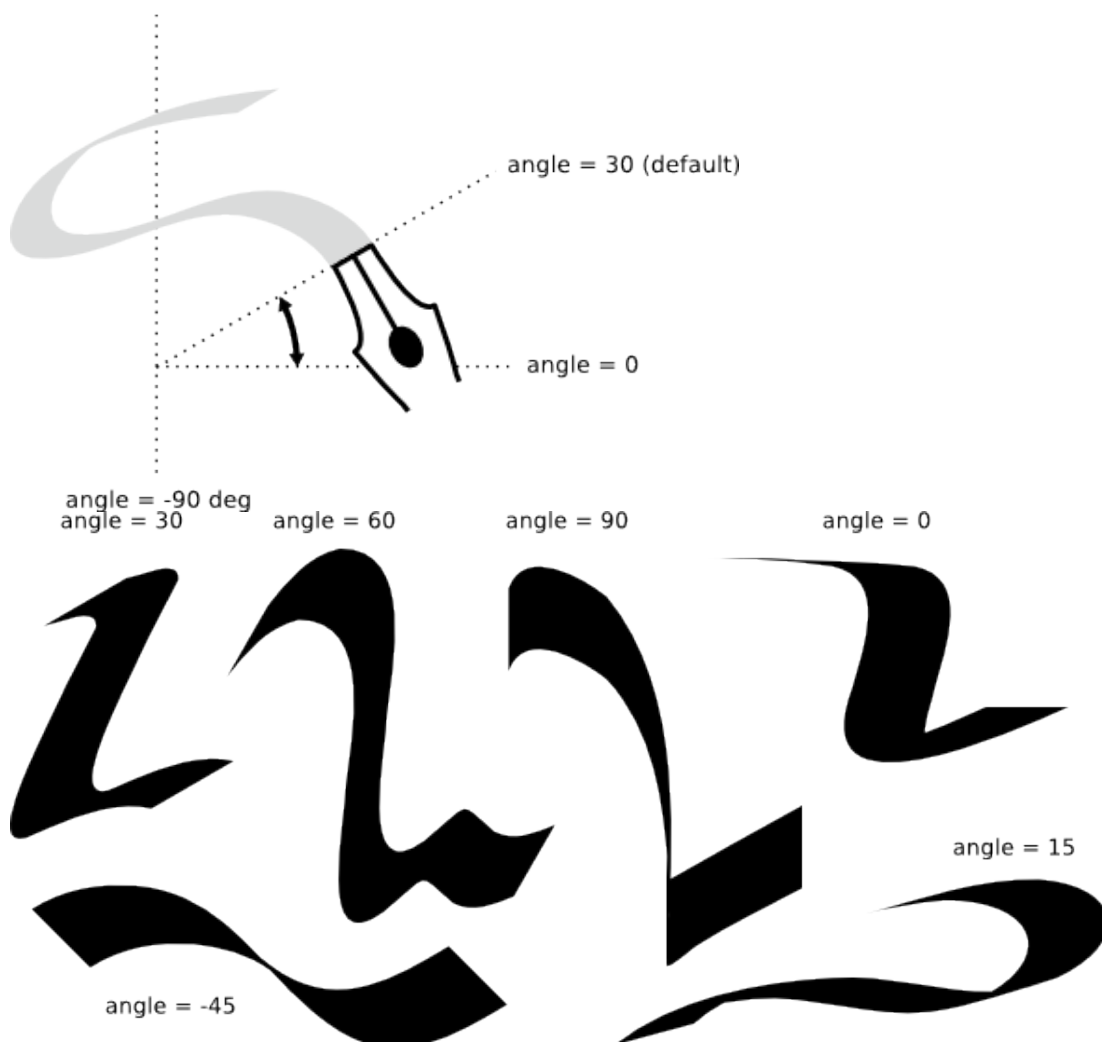
back to 0



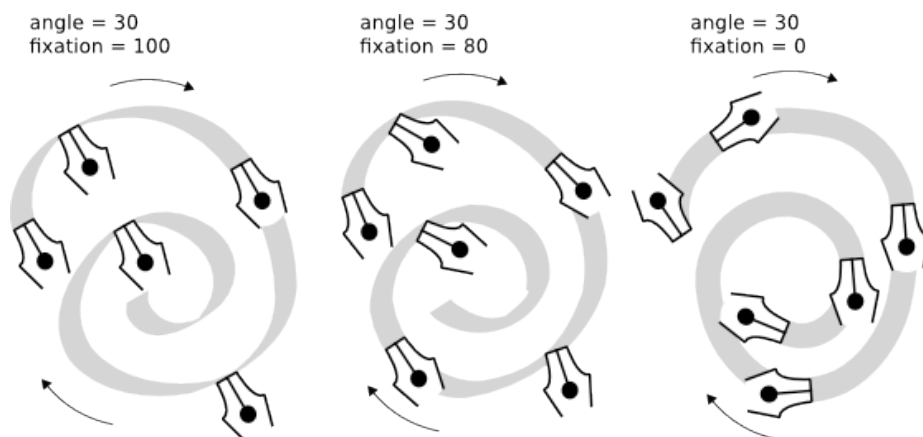


## ángulo & Fijación

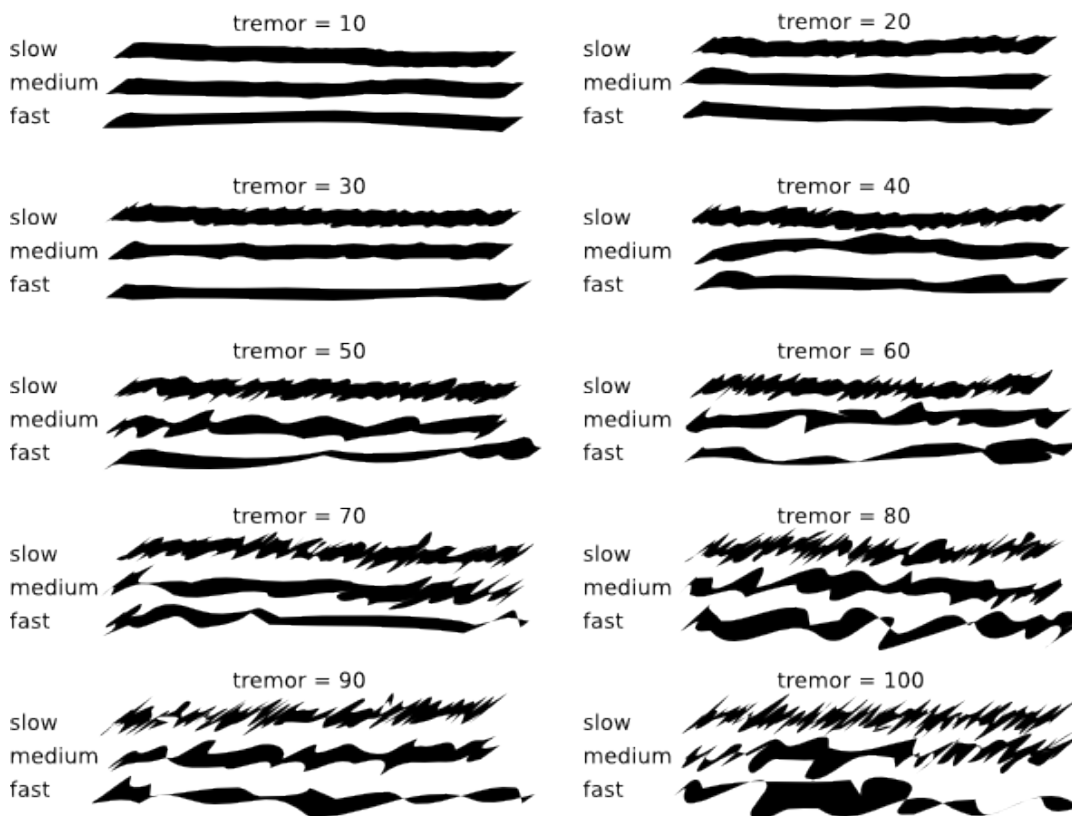
Después del Ancho, el *ángulo* es el parámetro caligráfico más importante. Este se refiere al ángulo de su pluma en grados, cambiando desde 0 (horizontal) hasta 90 (vertical en sentido anti-horario) o hasta -90 (vertical en sentido horario) :



Como podemos observar, el trazo es más delgado cuando es dibujado paralelo a su ángulo y es más amplio cuando se dibuja perpendicular a este. ángulos positivos son más naturales y tradicionales para caligrafía con dibujo hecho con mano derecha .



Hablando tipográficamente, la fijación máxima y por consiguiente el contraste del ancho máximo del trazo son las características (más adelante) de las fuentes antique serif, como las Times o Bodoni (por que estas fuentes son históricamente una imitación de la caligrafía de la pluma-arreglada). La fijación Cero y el ancho de contraste Cero (Arriba a la derecha), sobre la otra mano, sugiere la fuente actual Sans Serif, así como la Helvetica.  
tremor = 0



## Wiggle & Mass

Diferente al ancho y al ángulo, estos dos últimos parámetros definen como "siente" la herramienta, más allá de como afectan su salida visual. A razón de esto en esta sección no habrán ilustraciones; en vez de esto intente usted mismo para poder tener una mejor idea de lo que hacen estos parámetros.

## Ejemplos de caligrafía

Ahora que ya posee las capacidades básicas de la herramienta, puede intentar producir algunas caligrafías reales. Si es usted nuevo en este arte, adquiera un buen libro de caligrafía y estúdielo junto con el Inkscape. Esta sección le mostrará unos pocos ejemplos.

Primero que todo, para hacer letras, requiere crear un par de reglas para guiarse. Si usted va a escribir con estilo inclinado o cursiva, agregue algunas guías inclinadas a través de las dos reglas, por ejemplo:

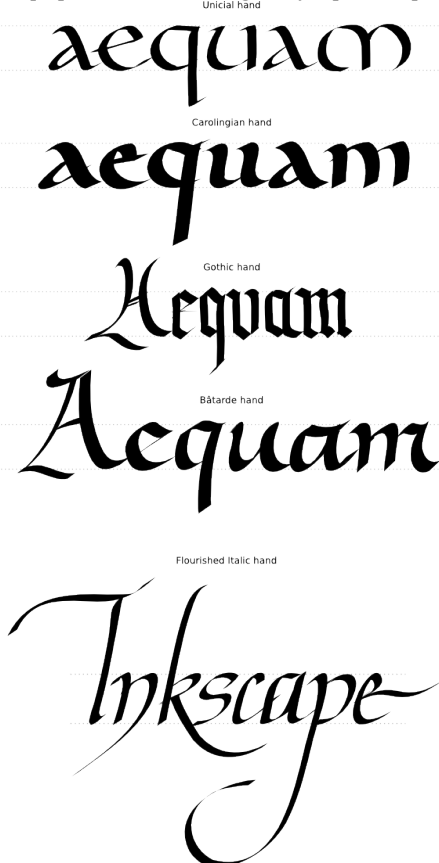
Entonces haga zoom de tal manera que la longitud entre las reglas corresponda al rango natural de su escritura, ajuste el ancho y el ángulo, y ¡aquí vamos!



Algunos trucos interesantes:

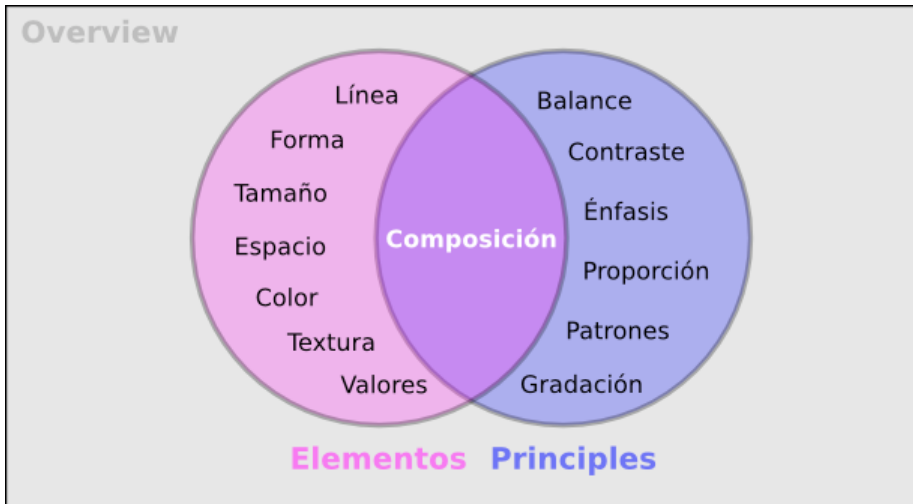
- Si siente comodidad sobre la tabla, no la mueva. En vez de eso, acomode la pizarra (**Ctrl+tecla de flecha**) con su mano izquierda después de finalizar cada letra.
- Si su último contorno no está bien, tan sólo deshágalo (**Ctrl+Z**). Sin embargo, si una forma es buena pero la posición o el tamaño no son correctos, es mejor utilizar temporalmente el Selector (**Barra Espacedora**) y perfile/escale/rote de ser necesario (usando el ratón o las teclas), luego presione **Barra Espacedora** de nuevo para retornar a la herramienta Caligrafía.
- Habiendo realizado una palabra, cambie al selector de nuevo para ajustar las barras y espaciado entre letras uniformemente. No exagere con esto, sin embargo; la buena caligrafía debe conservar un estilo similar. Resista la tentación de copiar letras y sus elementos; cada contorno debe ser original.

Y aquí podemos observar algunos ejemplos completos:



##### 5. Elementos:

*Este tutorial demostrará los principios y elementos del diseño, los cuales son impartidos a estudiantes principiantes de artes, esto para entender varias propiedades usadas en la creación de arte. Esta no es una lista exhaustiva, así que por favor agregue, sustriaga y combine para hacer este tutorial más completo.*

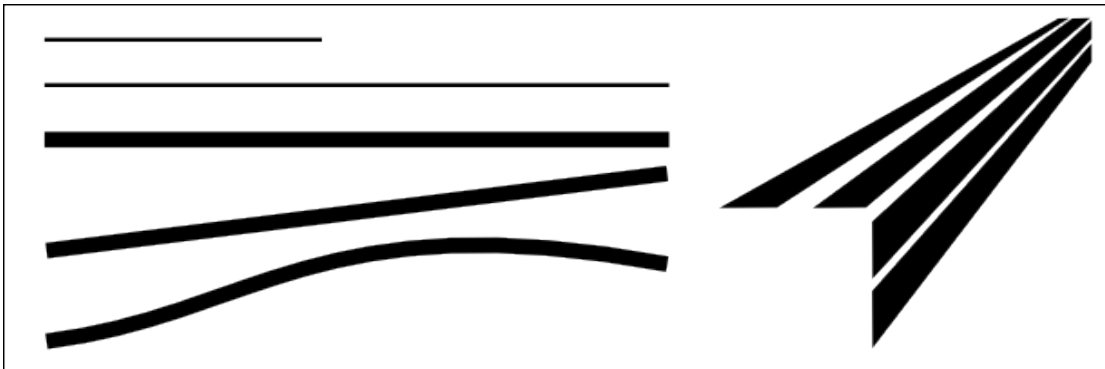


## Elementos del Diseño

Los siguientes elementos son las bases que construyen el Diseño.

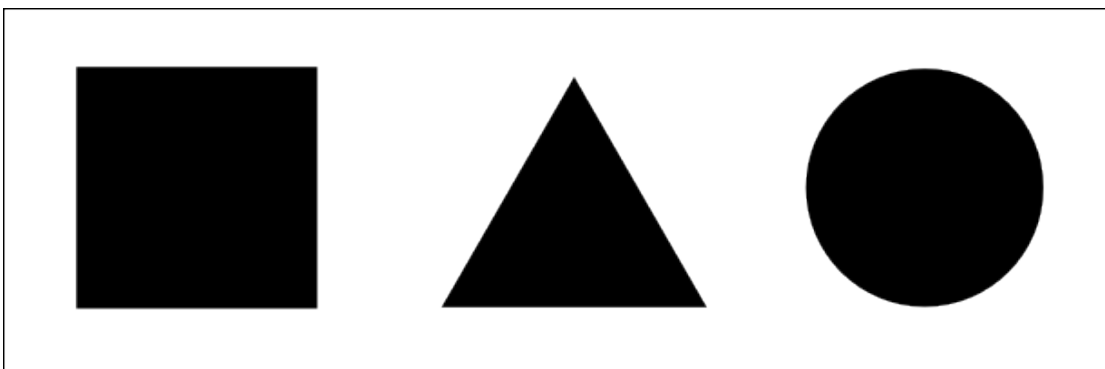
### Línea

Una línea es definida como una marca con longitud y dirección, creada mediante un punto que se mueve a lo largo de una superficie. Una línea puede variar en longitud, ancho, dirección, curvatura y color. La línea puede ser de dos dimensiones (una línea de lápiz sobre papel), o tres dimensiones implícitas.



### Forma

Un figura plana o una forma es creada cuando líneas actuales o implícitas se encuentran alrededor de un espacio. Un cambio en el color o el sombreado puede definir una forma. Las formas pueden ser clasificadas en varios tipos: geométricas (cuadrado, triángulo, círculo) y orgánicas (irregulares en contorno).



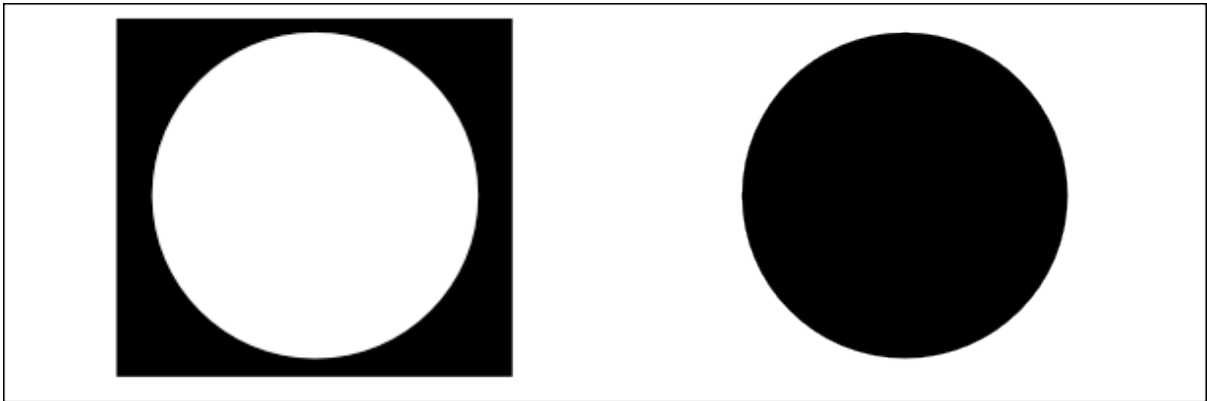
### Tamaño

Este se refiere a las variaciones de las proporciones de los objetos, líneas o formas. Hay una variación de tamaño en objetos ya sean reales o imaginarios.



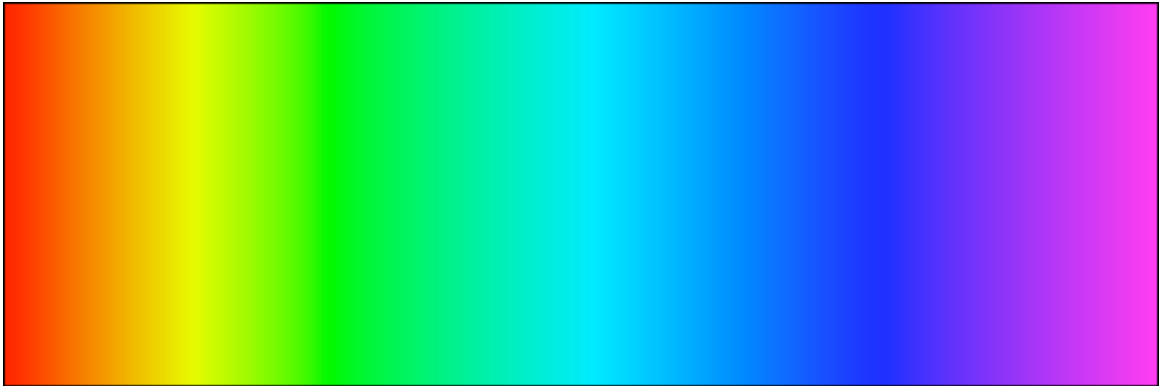
### ***Espacio***

Espacio es el área vacía o abierta entre, alrededor, arriba, debajo o entre objetos. Figuras y formas son realizadas en el espacio alrededor y entre él. El espacio también es llamado bidimensional o tridimensional. El espacio positivo es rellenado con formas o figuras. El espacio negativo rodea una forma o figura.



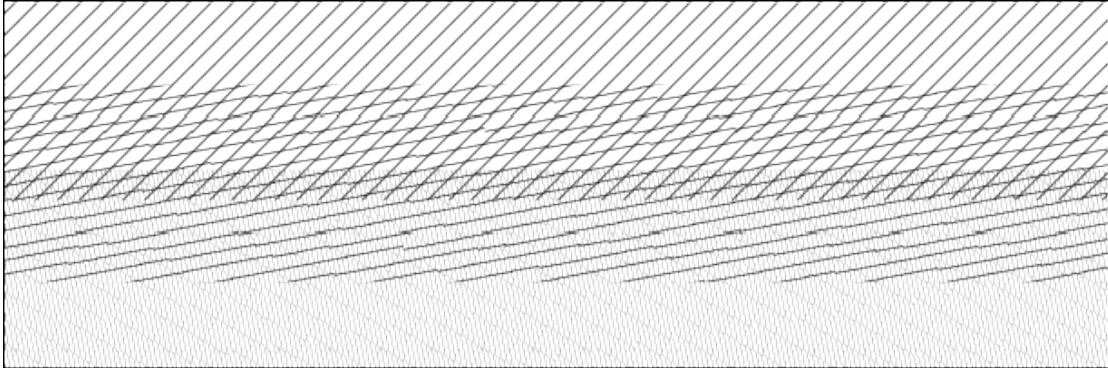
### ***Color***

El Color es el carácter percibido de una superficie de acuerdo con la longitud de onda o la luz reflejada desde esta. El Color posee tres dimensiones: TINTE (otra palabra para color, indicada por su nombre así como rojo o amarillo), VALOR (su luminosidad o oscuridad), INTENSIDAD (su brillo u opacidad).



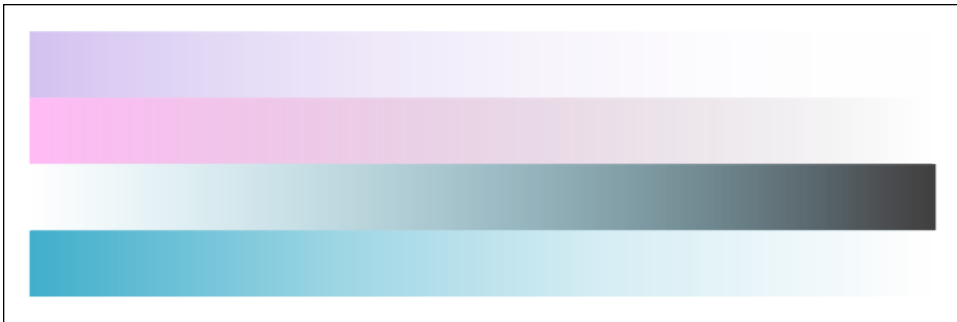
### ***Textura***

La Textura es la forma como se siente la superficie (textura actual) o como puede ser observada (textura implícita). Las Texturas son descritas con palabras como áspero, sedoso o rugoso.



### **Valores**

El Valor es que tan oscuro o claro se ve algo. Podemos alcanzar cambios de valores en el color por medio de la adición de blanco o negro a dicho color. Claroscuro usa valores en los dibujo mediante contrastes de claros y oscuros en una composición.

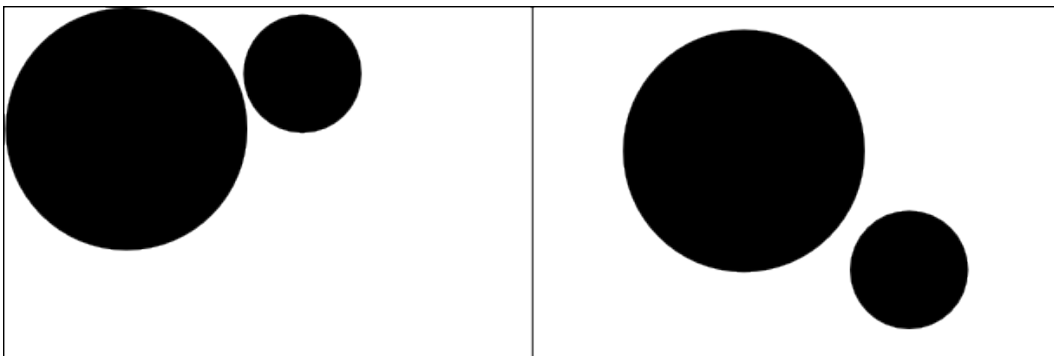


### **Principios de Diseño**

Los principios emplean elementos del diseño para crear composiciones.

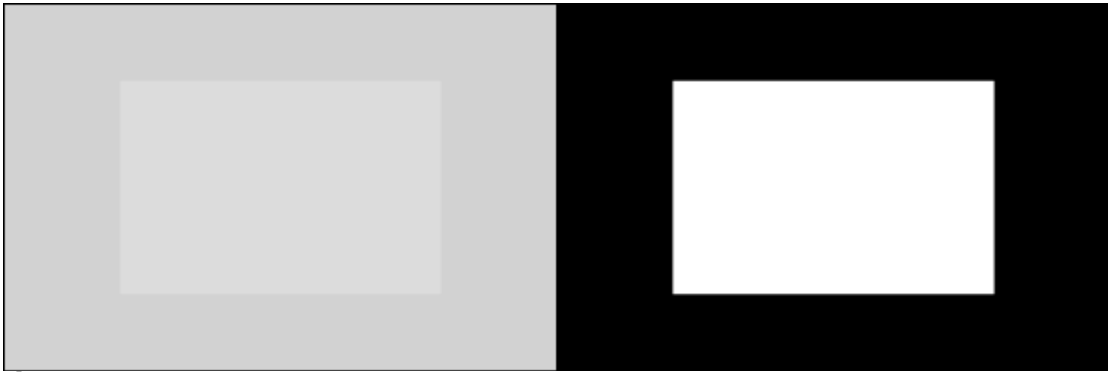
### **Balance**

El Balance es el sentido de equidad visual en una forma, figura, valor, calor, etc. El Balance puede balancear simétricamente o uniformemente Objetos, valores, colores, texturas, formas, etc., igualmente puede ser usada en la creación de balances en la composición.



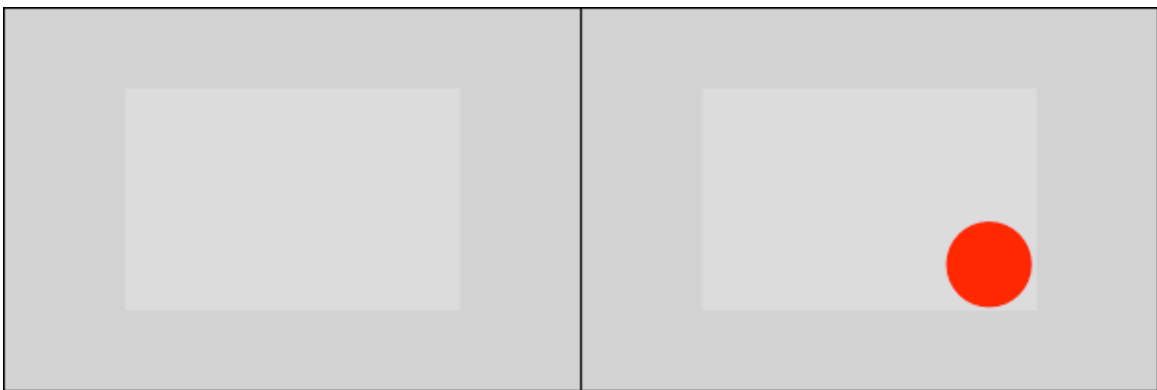
### **Contraste**

El contraste es la juxtaposición (fusión) de los elementos opuestos



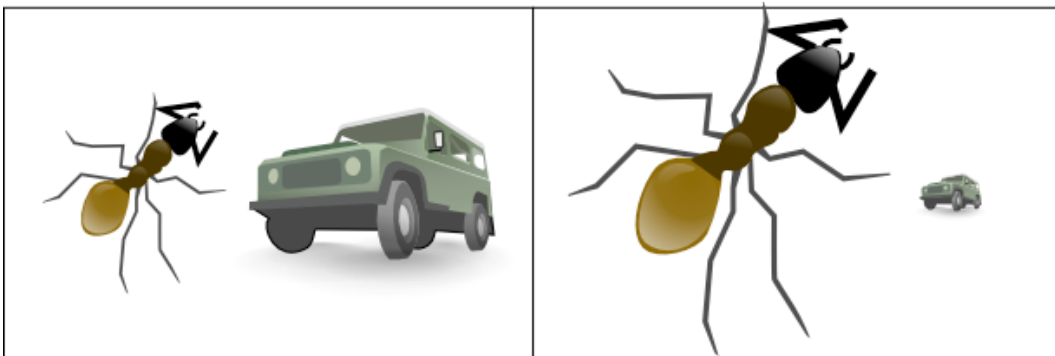
### **Énfasis**

El Énfasis es usado para crear ciertas partes de sus trabajos artísticos a través de llamado atención de manera especial. El centro de interés o punto foco es el lugar del dibujo que le invita a enfocar su mirada.



### **Proporción**

La Proporción describe el tamaño, ubicación o el monto de una cosa comparada con otra.



Random Ant & 4WD

### **Patrones**

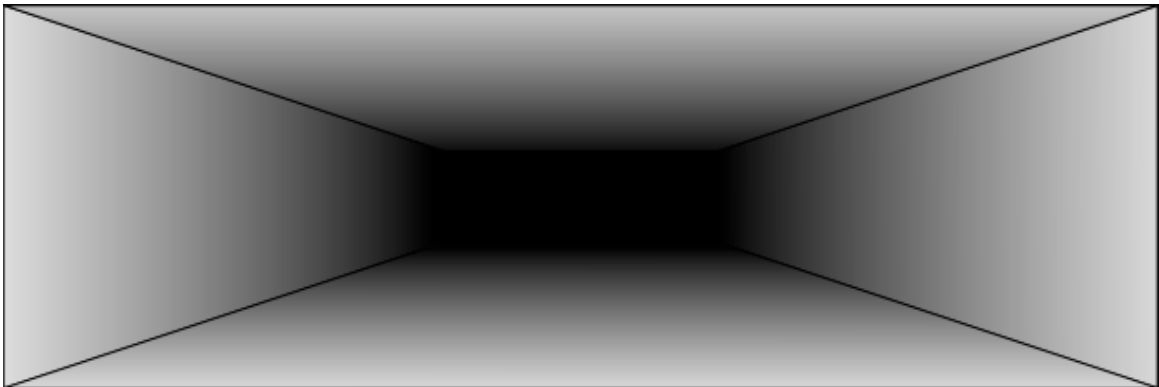
Los Patrones son creados mediante la repetición de un elemento (línea, forma o color) una y otra vez.





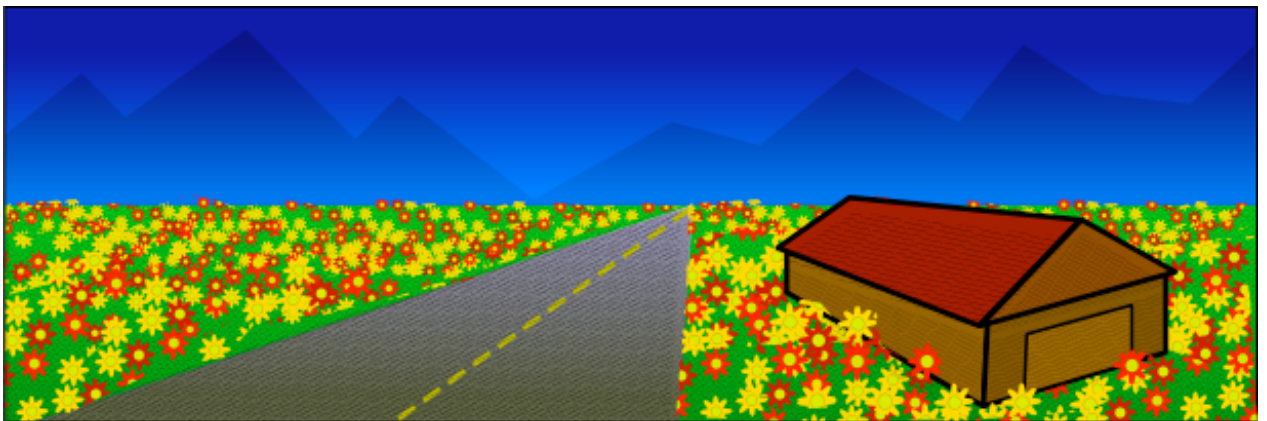
### **Gradación**

La Gradación es el tamaño y dirección producidas por una perspectiva lineal. La Gradación del color es desde gamas calidas a frías y por su parte los tonos oscuros a claros producen unas perspectiva aérea. La Gradación puede agregar interés y movimiento a una forma. Una Gradación desde oscuro a claro causará que la vistas se transporte a lo largo de la forma.



### **Composición**

La combinación de distintos elementos para formar un todo.



### **6. Vectorización:**

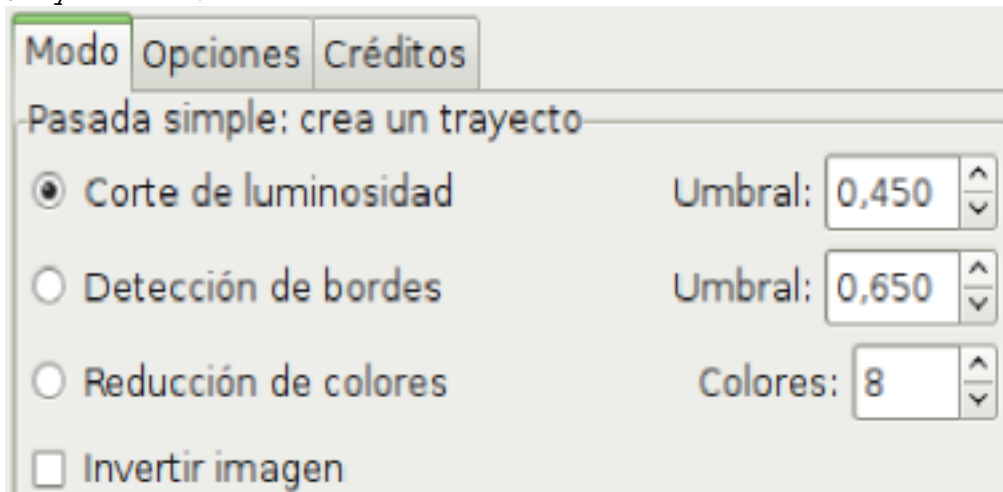
Una de las funciones de Inkscape es una herramienta para vectorizado de imágenes de mapas de bits en un <trazo> elemento para el dibujado de SVG. Estas cortas notas le ayudarán a conocer como trabaja esto. Actualmente Inkscape emplea el motor de vectorizado de mapa de bits Potrace ([potrace.sourceforge.net](http://potrace.sourceforge.net)) por Peter Selinger. En el futuro, esperamos que permita alternar programas de vectorizado; por ahora, sin embargo, esta fina herramienta es más que suficiente para lo que necesita.

Tenga en mente que el propósito del Vectorizar no es reproducir un duplicado exacto de la imagen original; o intentar producir un producto final. El autotrazado no hace eso. Lo que hace es darle un set de curvas las cuales usted puede emplear como una fuente de ayuda para sus dibujos.

Potrace interpreta mapas de bits blanco y negro y produce un set de curvas. Para Potrace, actualmente poseemos tres tipos de filtros de salida, para convertir desde imágenes brutas a algo que Potrace pueda usar.

Generalmente los píxeles más oscuros en un mapa de bit intermedio, es el mayor trazo que Potrace puede desarrollar. A mayor cantidad de trazos, más tiempo la CPU requerirá y el elemento <trazo> se convertirá en uno más grande. Se sugiere que los usuarios experimenten primero con imágenes intermedias clara, configurando gradualmente la opacidad para obtener la proporción y complejidad del trazo resultante.

Para usar el vectorizado, cargue o importe una imagen, selecciónela, y seleccione Trazo > Vectorizar un mapa de bits, o Mayus+Alt+B.



### Main options within the Trace dialog

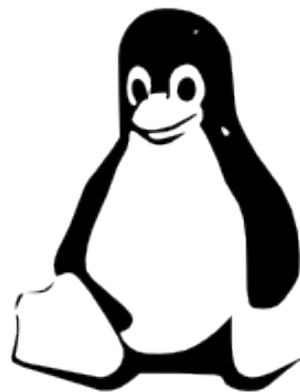
El usuario observará las tres opciones de filtro disponibles:

- Luminosidad de la imagen

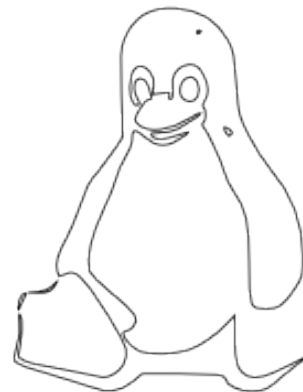
Esta usa realmente la suma del rojo, verde y azul (o escala de grises) de un píxel como un indicador de si este puede ser considerado blanco o negro. La luminosidad puede ser configurada desde 0.0 (negro) a 1.0 (blanco). La mayor configuración del umbral, el menor número de píxeles que serán considerados para ser 'white', y la imagen intermedia que se convertirá en oscura.



**Original Image**



**Luminosidad de la imagen  
Fill, no Stroke**



**Luminosidad de la imagen  
Stroke, no Fill**

- Detección de Bordes Óptima

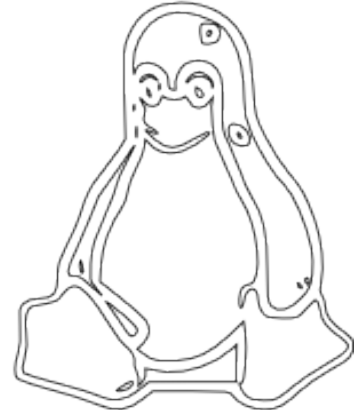
Este filtro usa el algoritmo de detección de bordes desarrollado por J. Canny, el cual es un modo de búsqueda rápida de isóclinas de contrastes similares. Esto producirá un mapa de bits intermedio que será visto un poco diferente a la imagen original que como lo hace la luminosidad de la imagen, pero provee la curva de información que de otra manera será ignorado. La configuración del umbral es (0.0 \u2013 1.0) ajustada por la luminosidad de la imagen si es un píxel adyacente al borde del contorneo que será incluido en el resultado. Esta configuración puede ajustar la opacidad o grosor del borde en el resultado.



**Original Image**



**Edge Detected  
Fill, no Stroke**



**Edge Detected  
Stroke, no Fill**

- Color Quantization

El resultado de este filtro producirá una imagen intermedia que es muy diferente de la otra segunda, pero es de hecho muy útil. En vez de mostrar las isóclinas o brillo o contraste, esta buscará los bordes donde los colores cambian, uniformemente igual a brillo y contraste. Las opciones de configuración aquí son: Número de colores, decide cuantos colores de salida pueden haber, si el mapa de bits intermedio era de color. Este entonces decide blanco/negro según si el color ha sido uniforme o posee un índice raro.



**Original Image**



**Quantization (12 colors)  
Fill, no Stroke**



**Quantization (12 colors)  
Stroke, no Fill**

El usuario puede intentar todos los tres filtros y observar los diferentes tipos de resultados para diferentes tipos de imágenes de entrada. Siempre habrá una imagen donde uno trabajará mejor que otro.

Después del trazo, también se sugiere al usuario intentar Trazo > Simplificar (Ctrl+L) sobre el trazo resultante, para reducir el número de nodos. Esto puede hacer el resultado del Potrace mucho más simple de editar. Por ejemplo, aquí podemos observar el típico trazo del Hombre Viejo Tocando Guitarra:



**Original Image**



**Traced Image / Output Path  
(1,551 nodes)**

Note la gran cantidad de nodos en el trazo. Después de realizar `Ctrl+L`, este es un resultado típico:



**Original Image**



**Traced Image / Output Path - Simplified  
(384 nodes)**

La representación es un poco más aproximada y áspera, pero el dibujo es mucho más simple y sencillo de editar. Mantenga en mente que lo que quiere no es una réplica exacta de la imagen, pero un set de de curvas es lo que puede usar en su dibujo.

## 7. Trucos y consejos

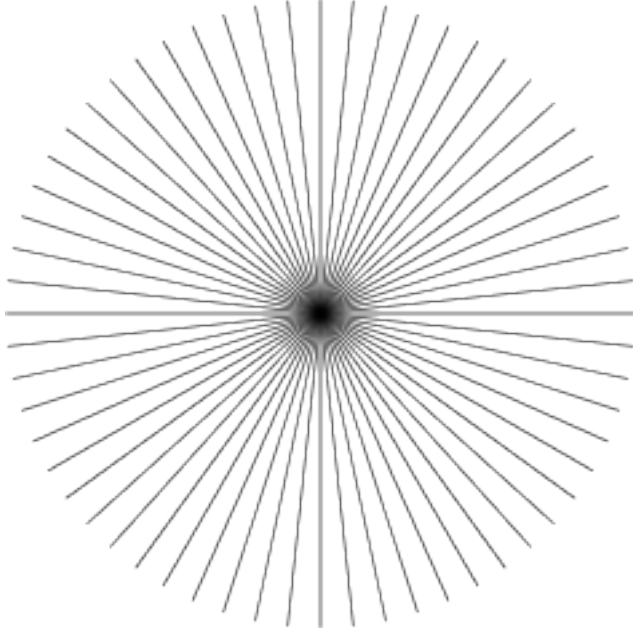
*Este tutorial mostrará varios trucos y consejos que los usuarios han aprendido a través del uso de Inkscape y algunas características y opciones "ocultas" que le ayudaran a aumentar la velocidad en la producción de sus trabajos.*

### **Colocación Radial con Colenes en Mosaico**

Es sencillo observar como usar el diálogo Clones en Mosaico para rejillas rectangulares y patrones. Pero que pasa si lo que necesita es colocación *radial*, donde comparten los objetos un centro de rotación común? Esto también es posible!

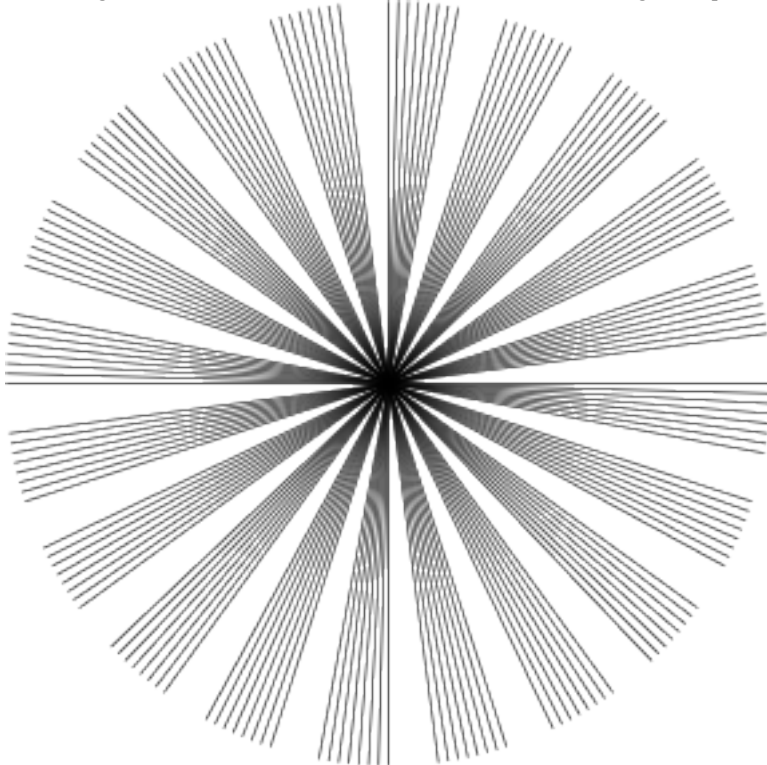
Si su patrón radial requiere tener sólo 3, 4, 6, 8 o 12 elementos, entonces usted puede intentar las simetrías  $P_3$ ,  $P_{3iM}$ ,  $P_{3M1}$ ,  $P_4$ ,  $P_{4M}$ ,  $P_6$ , o  $P_{6M}$ . Estas pueden funcionar perfecto para copos de nieve y similares. Un método más general es el siguiente.

Escoja la simetría P1 (traslación simple) y después *compensar* para que esa traslación vaya a la pestaña Desplazamiento y configure Por Fila/Y y Por columna/X ambos a -100%. Ahora todos los clones serán colocados en la parte superior del original. Todo lo que queda por hacer es ir a la pestaña Rotación y configurar con algún ángulo de rotación por columna, después cree el patrón con una fila con múltiples columnas. Por ejemplo, he aquí un patrón hecho a partir de una línea horizontal, con 30 columnas, cada columna rotada 6 grados:

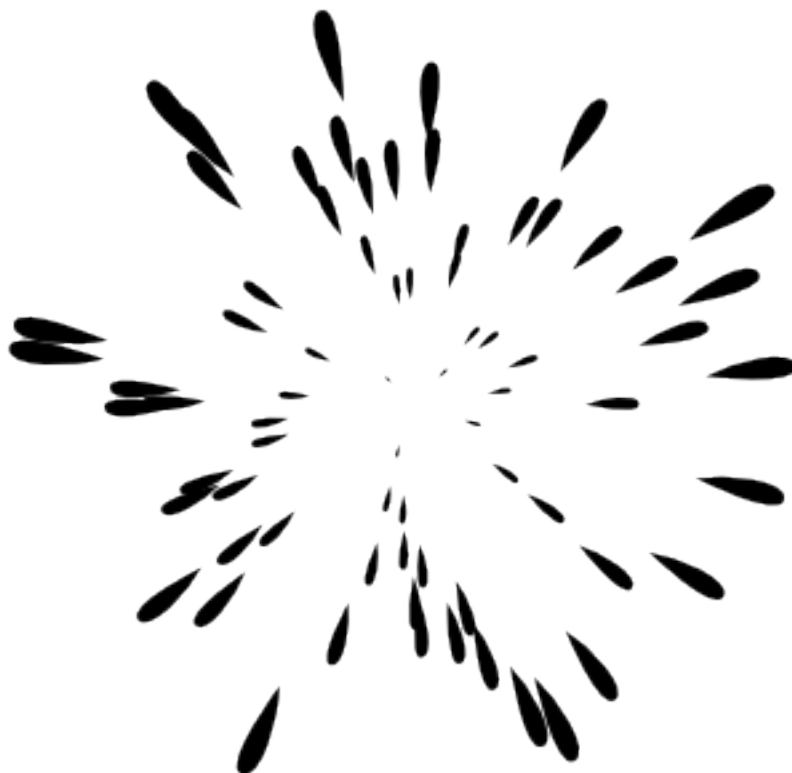


Para obtener un radio de reloj, todo lo que tiene que hacer es cortar o simplemente superponer la parte central mediante un círculo blanco (para hacer operaciones booleanas sobre clones, desconéctelos primero).

Efectos más interesantes pueden ser creados mediante el uso de ambas filas y columnas. Aquí hay un patrón con 10 columnas y 8 filas, con rotación de 2 grados por fila y 18 grados por columna. Aquí cada grupo de líneas es una "columna", así los grupos están a 18 grados del otro; en cada columna, líneas individuales están 2 grados aparte:



En los siguientes ejemplos, la línea fue rotada sobre su centro. Pero que pasa si usted desea que el centro este afuera de la forma? Sólo cree un rectángulo invisible (sin relleno, sin borde) el cual puede cubrir la forma y cuyo centro está en el punto que usted necesita, agrupe la forma y el rectángulo y después use Clones en Mosaico sobre ese grupo. Así es como puede hacer interesantes "explosiones" o "nebulosas" mediante la escala aleatoria, rotación y posiblemente opacidad:



## How to do slicing (multiple rectangular export areas)?

Create a new layer, in that layer create invisible rectangles covering parts of your image. Make sure your document uses the px unit (default), turn on grid and snap the rects to the grid so that each one spans a whole number of px units. Assign meaningful ids to the rects, and export each one to its own file (File > Export Bitmap (**Shift+Ctrl+E**)). Then the rects will remember their export filenames. After that, it's very easy to re-export some of the rects: switch to the export layer, use Tab to select the one you need (or use Find by id), and click Export in the dialog. Or, you can write a shell script or batch file to export all of your areas, with a command like:

```
inkscape -i area-id -t filename.svg
```

para cada área exportada. La opción -t le dice que use la pauta de nombre recordado, de otra manera usted puede proveer el nombre de archivo con la opción -e. Alternativamente, usted puede usar la utilidad [svgslice](#) la cual automatiza la exportación desde documentos SVG de Inkscape, usando o una capa rodaja o guías.

## Gradientes No-lineales

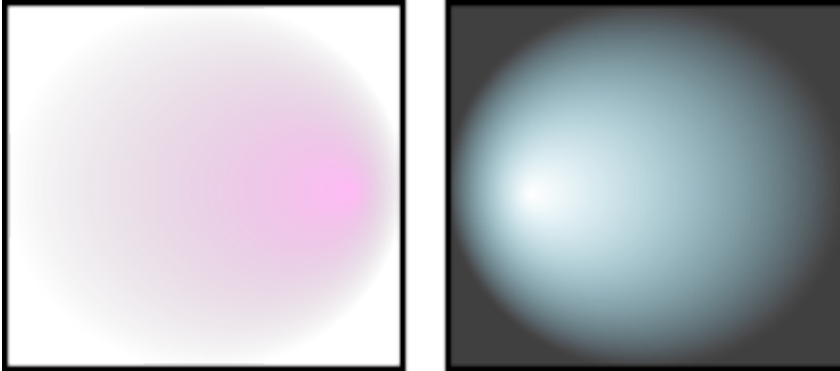
La versión 1.1 de SVG no soporta gradientes no-lineales (i.e. aquellos que poseen una traslación no-lineal entre colores). Usted puede, sin embargo, los emula mediante los gradientes *multiparada*.

Inicie con un simple gradiente dos-puntos. Abra el editor de Gradiente (e.g. mediante doble-click en cualquier manejador de gradiente en la herramienta Gradiente). Agregue un nuevo punto de gradiente en el medio; arrastrelo un poco. Entonces adicione dos puntos más antes y después del punto medio y arrastrelos también, así el gradiente es suave. A mayor número de puntos que sean agregados, más suave va a ser el gradiente resultante. Aquí podemos observar el gradiente inicial negro-blanco con dos puntos:

Y aquí hay varios gradientes "no-lineales" multi-punto (examinelos en el Editor de Gradientes):

## Gradientes Radiales Excentricos

Los gradientes radiales no tienen por que ser simétricos. En la herramienta Gradiente, arrastre el manejador central de un gradiente elíptico con **Mayus**. Esto moverá el *manejador de foco* del gradiente lejos de su centro. cuando usted no lo necesite, puede ajustar el foco a un estado anterior arrastrándolo cerca del centro.



## Alineando al centro de la página

To align something to the center or side of a page, select the object or group and then choose Page from the Relative to: list in the Align and Distribute dialog (**Ctrl+Shift+A**).

## Limpiar el documento

Algunos de gradientes-usados, patrones y marcas (más precisamente, aquella que ha editado manualmente) permanecen en la patetas correspondientes y pueden ser reusadas para nuevos objetos. Sin embargo si usted desea optimizar su documento, use el comando Eliminar Defs en el menú archivo. El podrá remover gradientes, patrones o marcas que no son usadas en el documento, haciendo el archivo más liviano.

## Características ocultas del editor de XML

The XML editor (**Shift+Ctrl+X**) allows you to change almost all aspects of the document without using an external text editor. Also, Inkscape usually supports more SVG features than are accessible from the GUI. The XML editor is one way to get access to these features (if you know SVG).

## Cambiando las unidades de medida de las reglas

En la plantilla por defecto, la unidad de medida usada por las reglas es el px ("unidad de usuario SVG", en Inkscape esto es igual a 0.8pt o 1/90 de pulgada). Esta también es la unidad empleada en el desplegado de coordenadas en la esquina inferior-izquierda y preseleccionada en todas los menús de unidades. (Usted siempre puede situar el ratón sobre la regla para observar el mensaje con la unidad que usa.) Para cambiar esto, abra las Preferencias de Documento y cambie las Unidades por defecto sobre la pestaña Página.

## Estampado

Para crear varias copias de un objeto, use *estampado*. Tan sólo arrastre un objeto (o escálelo o rótelos), y mientras lo mantiene presionado con el ratón, presione **Barra Espacedora**. Esto permite una "estampilla" del objeto o forma actual. Usted puede repetir tantas veces como lo desee.

## Trucos de la herramienta Pluma

En la herramienta Pluma (Bezier), usted puede obtener las siguientes opciones para finalizar la línea actual:

- Presione **Enter**
- Doble click con el botón izquierdo del ratón
- Seleccione la herramienta Pluma de nuevo
- Seleccione otra herramienta

Note que mientras el trazo no está finalizado (i.e. es mostrado verde, con el segmento actual de color rojo) este no existe aún como un objeto en el documento. Además, para cancelar esto, use **ESC** (cancela todo el trazo) o **Barra Espacedora** (remueve el último segmento del trazo sin finalizar) en vez del comando **Deshacer**.

Para agregar un nuevo subtrazo para un trazo existente, seleccione el trazo y inicie a dibujar con **Mayus** desde un punto arbitrario. Si, sin embargo, lo que quiere simplificar es, however, what you want is to simply *continue* an existing path, **Mayus** is not necessary; just start drawing from one of the end anchors of the selected path.

## Ingresando valores Unicode

While in the Text tool, pressing **Ctrl+U** toggles between Unicode and normal mode. In Unicode mode, each group of 4 hexadecimal digits you type becomes a single Unicode character, thus allowing you to enter arbitrary symbols (as long as you know their Unicode codepoints and the font supports them). To finish the Unicode input, press **Enter**. For example, **Ctrl+U 2 0 1 4 Enter** inserts an em-dash (—). To quit the Unicode mode without inserting anything press **ESC**.

## Usando la rejilla para dibujar íconos

Supongamos que desea crear íconos de 24x24 píxeles. Cree una pizarra de 24x24 píxeles (use **Preferencias de Documento**) y configure la pizarra a 0.5 px (48x48 líneas de rejilla). Ahora, si desea alinear objetos rellenos *hasta* las líneas de rejilla, y objetos bordeados a líneas de rejillas *impares* con el ancho del borde en px siendo un número costante, y exportelos al por defecto 90dpi (así que 1 px se convierta en 1 píxel de mapa de bits), usted puede obtener una imagen interesante sin necesidad de antialiasing.

## Rotación de Objetos

Estando con la herramienta Selección, haga **click** sobre un objeto para ver las flechas de escalado, entonces haga **click nuevamente** sobre el objeto para observar las flechas de rotación y cambio. Si las flechas en las esquinas son clickeadas y arrastradas, el objeto rotará alrededor del centro (mostrado con una marca de cruz). Si mantiene presionada la tecla **Mayus** mientras hace esto, la rotación será alrededor de la esquina opuesta. También puede arrastrar el centro de rotación a cualquier lugar.

O, puede rotar desde el teclado presionando **[ y ]** (por 15 grados) o **Ctrl+[ y Ctrl+ ]** (por 90 grados). Las mismas teclas **[ ]** junto con **Alt** desarrollan una lenta rotación a partir del tamaño de píxel.

## Mapa de bits arrojando sombras

Mientras Inkscape no soporta aún el filtro SVG para distorsión Gaussiana, usted puede crear fácilmente distorsiones arrojando sombras de objetos como mapas de bits, por medio del comando "Crear copia en Mapa de Bits" con un script de filtro. Observe [share/extensions/inkscape-shadow.README](#) para detalles y limitaciones de este método.

## Colocando texto sobre un trazo

Para colocar texto a lo largo de una curva, seleccione el texto y la curva y escoja **Poner en trayecto** desde el menú **Texto**. El texto iniciará en el principio del trazo. En general este es la mejor manera de crear un trazo explícito del cual desea que el texto este ajustado, mejor que esto, ajústelo a otros elementos de dibujo — esto le dará un mayor control sin tener que atornillarlo a su dibujo.

## Selecting the original

When you have a text on path, a linked offset, or a clone, their source object/path may be difficult to select because it may be directly underneath, or made invisible and/or locked. The magic key **Mayus+D** will help you; select the text, linked offset, or clone, and press **Mayus+D** to move selection to the corresponding path, offset source, or clone original.

## Recuperación de la salida de la ventana

Quando mueve documentos entre diferentes sistemas con diferentes resoluciones o número de pantallas, usted puede buscar que Inkscape haya guardado una posición de ventana que ubica la ventana de manera correcta en la pantalla. Simplemente amplie la ventana (lo cual recuperará la vista previa, para esto use la barra de tareas), guarde y recargue. Usted puede evitar esto, deseleccionando la opción global para mantener la geometría de la ventana (**Preferencias de Inkscape**, pestaña **Ventanas**).

## Exporte de Transparencias, gradientes y PostScript

Los formatos PostScript o EPS no admiten *transparencias*, así que usted nunca los emplea si los va a exportar a PS/EPS. En el caso de transparencias planas las cuales superpongan colores planos, es sencillo arreglar esto: seleccione uno de los objetos transparentes; cambie a la herramienta **Cuentagotas (F7)**; asegúrese que este está en el modo "escoger color visible sin alfa"; de click sobre ese mismo objeto. Este escogerá el color visible y lo asignará al objeto, pero esta vez sin transparencia. Repita para todos los objetos transparentes. Si sus colores transparentes superponen múltiples áreas de color, usted necesitará el quebrales en piezas respectivamente y aplicar este procedimiento a cada pieza.

Exportar *gradientes* a PS o EPS no funciona para texto (a menos que este convertido a texto) o para bordes pintados. También, desde que la transparencia este perdida en el PS o EPS exportado, no los puede usar ejemplo. un gradiente desde un azul *opaco* a un azul *transparente*; Reemplaze por un gradiente desde azul *opaco* a un color de fondo *opaco*.





# Gcodetools v6.1

(plug-in para inkscape)

## manual de usuario

por

Iñigo Zuluaga

[txapuzas.  
blogspot.com](http://txapuzas.blogspot.com)

# Gcodetools

**Gcodetools** es un plug-in para Inkscape. Prepara y convierte trayectos desde Inkscape a Gcode, usando interpolation biarco.

<b>Tipo</b>	Plug-in del editor vectorial Inkscape
<b>Desarrollador</b>	Grupo de Desarrollo (Nick Drobchenko, Vladimir Kalyaev, John Brooker, Henry Nicolas)
<b>Escrito en</b>	Python
<b>OS</b>	Varias plataformas (Windows, Linux, MacOS)
<b>Versión</b>	1.6.03
<b>Licencia</b>	GNU GPL
<b>Descargas</b>	5500+
<b>Web</b>	<a href="http://cnc-club.ru/forum/viewtopic.php?t=35">http://cnc-club.ru/forum/viewtopic.php?t=35</a>

## Características

### Exportar a Gcode

- Exporta trayectos a Gcode
- Utiliza interpolación circular (mediante aproximación biarco) o lineal
- Subdivisión automática del trayecto para llegar a la tolerancia definida
- Procesamiento de múltiples herramientas
- Exportación de Gcode en forma paramétrica y de forma plana
- Personalización de encabezados y pies de página automáticos
- Selección de las unidades
- Procesamiento Multi-paso
- Sufijo numerado automático en los archivos generados para evitar la sobre escritura

### Torno

- Cálculo de trayectorias para torno
- Pasadas de acabado
- Definición de la profundidad de pasadas de acabado
- Definición de pasadas de acabado
- Dos funciones de cálculo diferente para pasadas finas
- Reasignación de los ejes estandard

### Procesado de Zonas

- Generación de trayectos de zona
- Los trayectos de la zona se pueden modificar

### Grabado

- Generación de la trayectoria en función de la forma de la fresa
- Definición de diferentes formas de fresa

### Biblioteca de herramientas

- Definición de parámetros de la herramienta (diámetro, feed-avance, el paso de profundidad, avance de penetración, Gcode modificable antes y después de cada trayecto, forma de las fresas,...)
- Las herramientas pueden ser gestionadas mediante procedimientos estándar de Inkscape (copiar, eliminar, asignar a una capa diferente)
- Procesado para múltiples herramientas

## Orientación del sistema

- Escala a lo largo de cualquiera de los ejes
- Giro en el plano XY
- Desplazamiento a lo largo de cualquiera de los ejes
- Transformación de acuerdo a puntos arbitrarios

## Post-procesador

- Puede crear post-procesadores escribiendo los comandos o seleccionar alguno definido de la lista de post-procesadores por defecto
- Escalado y desplazamiento del Gcode
- Comandos de reasignación Gcode
- Parametrización Gcode
- Redondeo de los valores de coma flotante a la precisión especificada

## Verificación de herramientas

- Selección y eliminación de pequeños trayectos (Útiles de zona)
- Verificación de la alineación de la herramienta
- Verificación del sentido de corte

## Plotter de corte

- Exportación a Gcode para plotter con cuchilla tangencial. El cuarto eje de rotación es la cuchilla de corte.

# Instalación

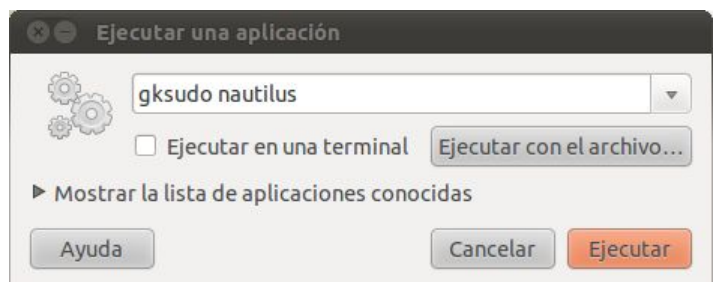
## Windows

Es necesario descomprimir y copiar todos los archivos en el directorio:  
Archivos de programa\Inkscape\share\extensions\  
y después reiniciar inkscape

## Linux

Es necesario descomprimir y copiar todos los archivos en el directorio  
usr/share/inkscape/extensions/  
y después reiniciar inkscape

Para copiar los archivos son necesarios permisos de administrador:  
Al pulsar Alt+F2 y aparecerá la pantalla de la derecha, donde hay que teclear **gksudo nautilus**. Esto abrirá Nautilus con permisos de administrador (siempre que introduzcas la contraseña claro!) y ya puedes copiar y pegar los archivos.



Al reiniciar inkscape te aparecerá un nuevo item en Menú/Extensiones/Gcodetools

Puedes acceder a "Todo en uno" con todas las opciones en una ventana, o a cada opción individual. Normalmente tendremos una lengüeta activa (que reacciona al botón situado en la parte inferior izquierda) que será la primera, y otras lengüetas auxiliares, normalmente de definición de parámetros, que variarán en función de las necesidades.

# Descripción

Veamos cada una de las lengüetas, primeramente las comunes:

## Opciones

### Escala del Eje Z y Desplazamiento del eje Z

Hacen que el gcode del programa tenga modificado respectivamente la escala del eje Z y /o un desplazado el origen del eje Z. Es decir, podemos por ejemplo, generar varios programas Gcode , modificando el Desplazamiento del Eje Z para ir mecanizando diferentes capas.

El **Radio mínimo de arco** es el valor mínimo a partir del cual el programa considerará el arco como una línea. EMC2 genera un error si el radio del arco es menor a 0,2mm, por lo que este valor ha de ser mayor (Si las unidades están en milímetros)



## Preferencias

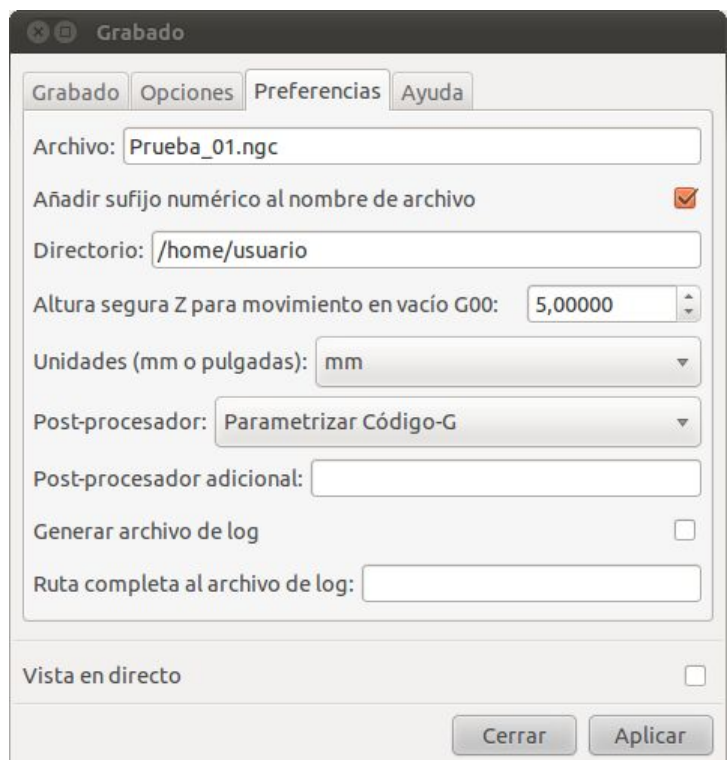
En el campo **Archivo** introduciremos el nombre que queremos que tenga el archivo de Gcode que se generará.

Si marcamos **Añadir sufijo numérico al nombre de archivo**, el programa irá añadiendo un número consecutivo al final del nombre para evitar sobrescrituras. Debemos asegurarnos que el **Directorio** que elijamos exista, y que además tengamos permiso de escritura en él. Con el valor que introducimos en **Altura segura Z para movimiento en vacío G00**, definimos la altura del plano en el que se moverá la fresa cuando no esté mecanizando.

En **Unidades** especificamos las unidades en las que se generará el Gcode en milímetros o pulgadas.

En el cuadro desplegable de **Post-procesador** podemos elegir entre diversas opciones:

- **Ninguno**
- **Parametrizar códigoG**: Si elegimos



esta opción obtendremos código similar a esto:

```
G03 X[428*#5+#8] Y[-590*#5+#9] Z[-20*#7+#10] I[0*#5] J[45*#5]
```

Y en el encabezamiento tendremos algo similar a:

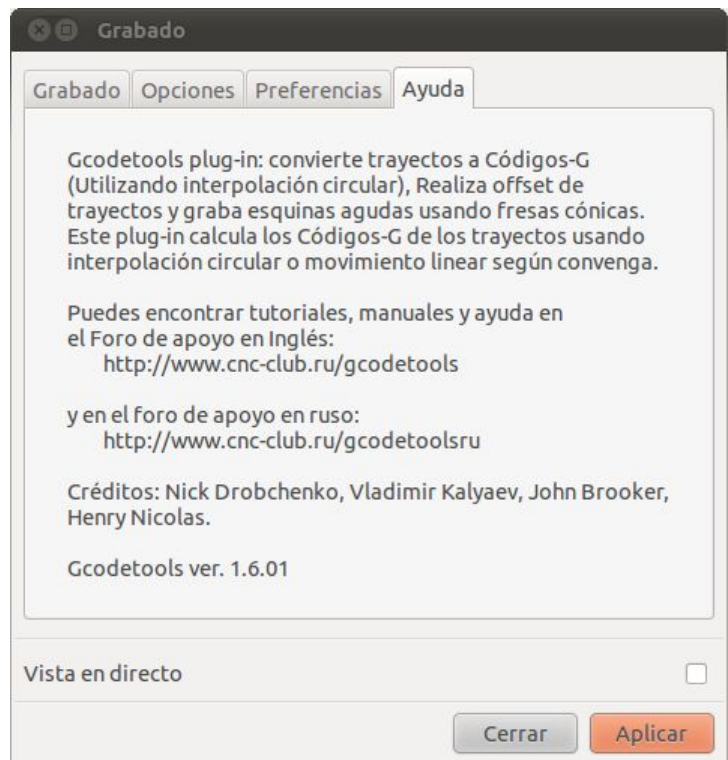
```
#4 = 700.000000 (Feed)
#5 = 1.000000 (Scale xy)
#7 = 1.000000 (Scale z)
#8 = -300.000000 (Offset x)
#9 = 300.000000 (Offset y)
#10 = 0.000000 (Offset z)
#11 = 10.000000 (Safe distance)
```

De forma que si modificamos estos parámetros, podemos modificar el programa Gcode fácilmente.

- **Invertir Eje Y y Parametrizar código**, realiza lo explicando en el punto anterior, y además genera el código de forma que realiza la simetría con respecto al eje Y.
- **Redondear todos los valores a 4 dígitos**.

## Ayuda

Simplemente muestra un texto informativo del programa y los enlaces de los foros de ayuda y descarga.



Veremos ahora una descripción de las lengüetas "Activas"

## Puntos de Orientación

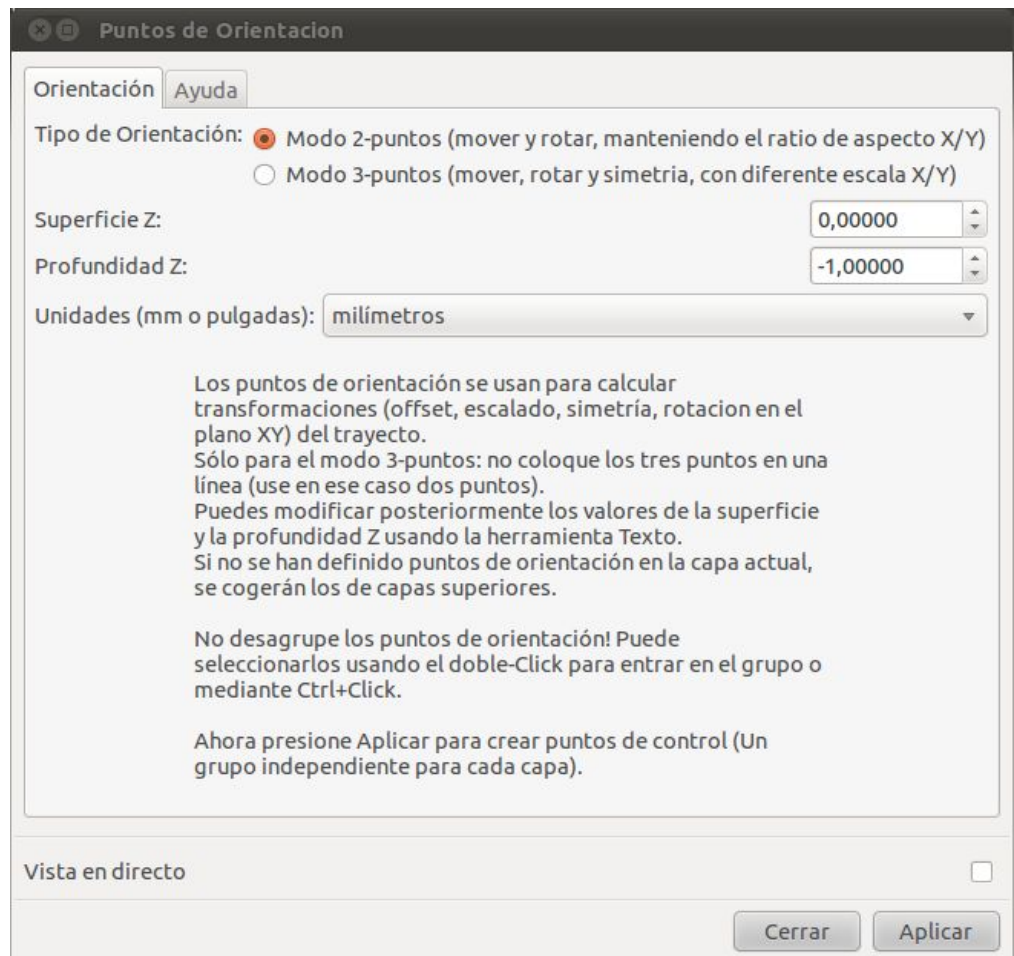
**Gcodetools** necesita para sus cálculos definir por lo menos dos puntos como referencia.

Al apretar el botón de **Aplicar**, creará en el documento inkscape dos puntos situados en la parte inferior de la hoja.

El vértice de la hoja será el origen de coordenadas para el programa Gcode.

Puedes leer las recomendaciones contenidas en la propia lengüeta.

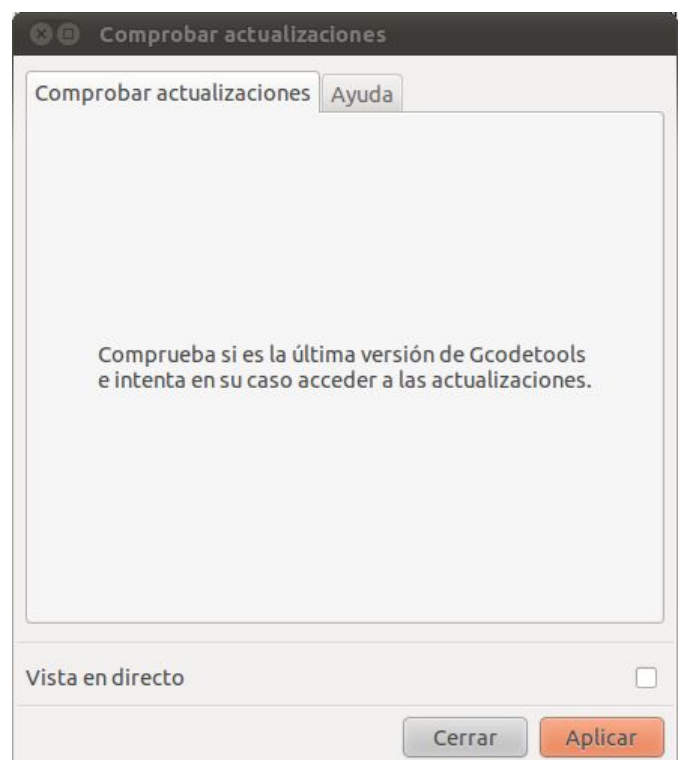
**NOTA:** Si intentamos realizar alguna operación con Gcodetools sin haber definido previamente unos puntos de Orientación, el programa intentará crearlos.



## Comprobar actualizaciones

**Gcodetools** puede comprobar si estás utilizando la última versión del programa.


Al apretar el botón **Aplicar** buscará en la web de descargas si existe una versión más actualizada del programa.



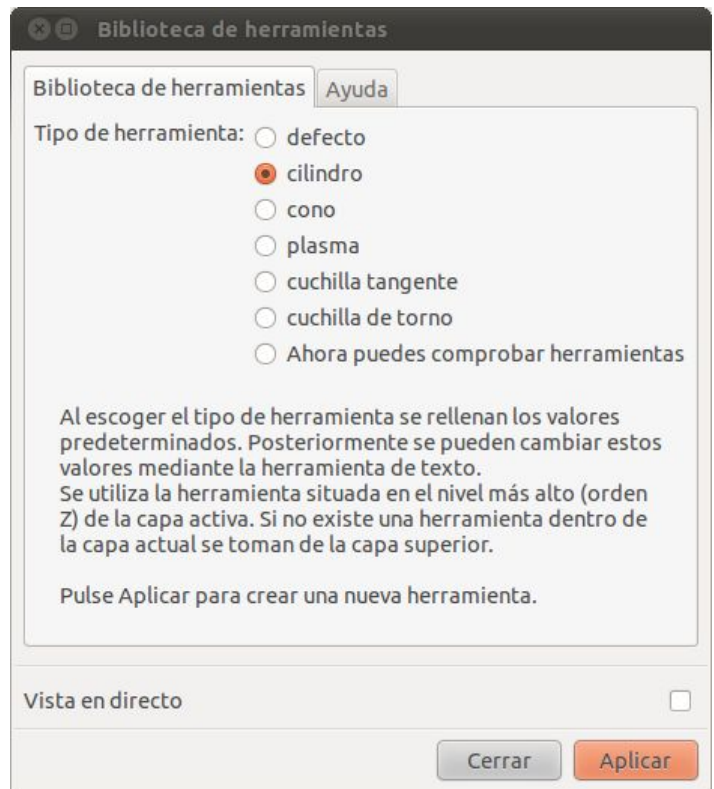
## Biblioteca de Herramientas

Mediante esta función asociaremos una herramienta a nuestro mecanizado.

Al apretar sobre el botón **Aplicar**, el programa creará una herramienta, en la capa activa de nuestro documento inkscape, con los valores por defecto.

Con la herramienta de texto  de inkscape podemos modificar los valores (La descripción no) de diámetro, Velocidad de avance, ángulo de penetración, velocidad de penetración, ...

name	Cylindrical cutter
id	Cylindrical cutter 0001
diameter	10
feed	400
penetration angle	90
penetration feed	100
depth step	1
tool change gcode	



Estos valores son los que tomará el programa cuando generemos el archivo de Gcode.

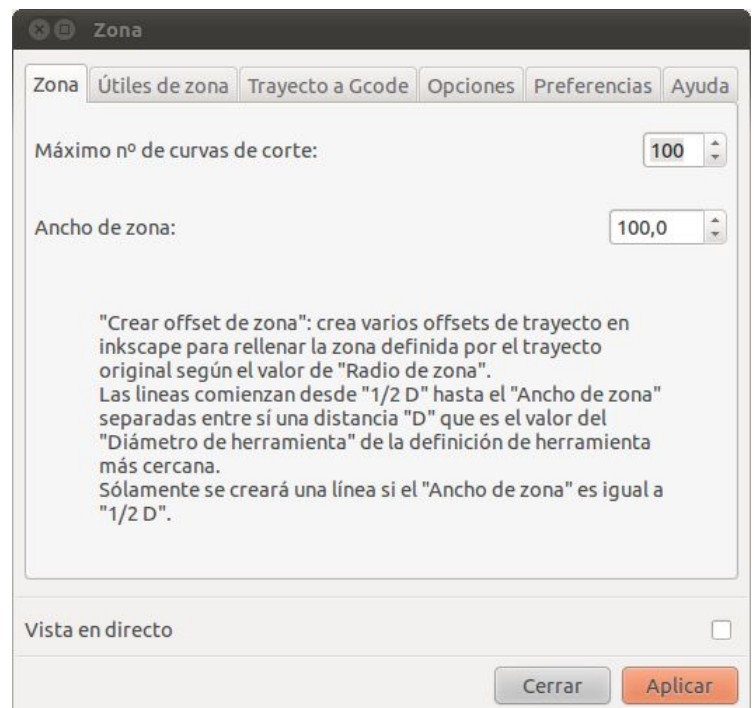
**NOTA:** Si ordenamos ejecutar a Gcodetools algún comando que necesite una herramienta, y todavía no la hemos definido, el programa creará una por defecto automáticamente.

## Zona

El valor que se introduzca en Máximo número de curvas de corte, nos definirá la cantidad de curvas de corte que se crearán. Este límite es para evitar que el programa entre en un bucle infinito.

El Ancho de zona es la distancia máxima que tendrá la zona a mecanizar. Si es negativo considerará la zona exterior. Existen varios métodos para saber el valor de esta variable:

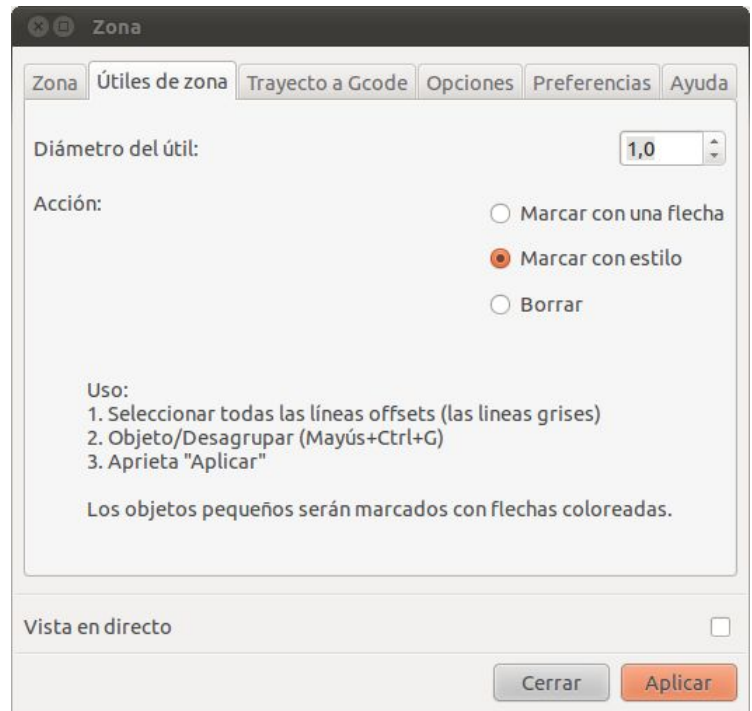
- La forma más fácil es: encontrar la parte más ancha de la trayectoria y medirla a ojo ;-)
- La segunda forma es: encontrar la parte más ancha de la trayectoria y medirla con la herramienta Bizier. Al dibujar una línea con la herramienta Bezier, en la barra de estado veremos su longitud.
- Y por último, la manera más dura es: convertir el trayecto en Desvío Dinámico (Ctrl + J), a



continuación, presione F2 y mover el punto de control para disminuir al máximo el trayecto. A continuación, pulse Ctrl+SHIFT+X para abrir el editor de XML y buscar el parámetro `inkscape:radius`, este valor es el valor exacto que necesitaremos.

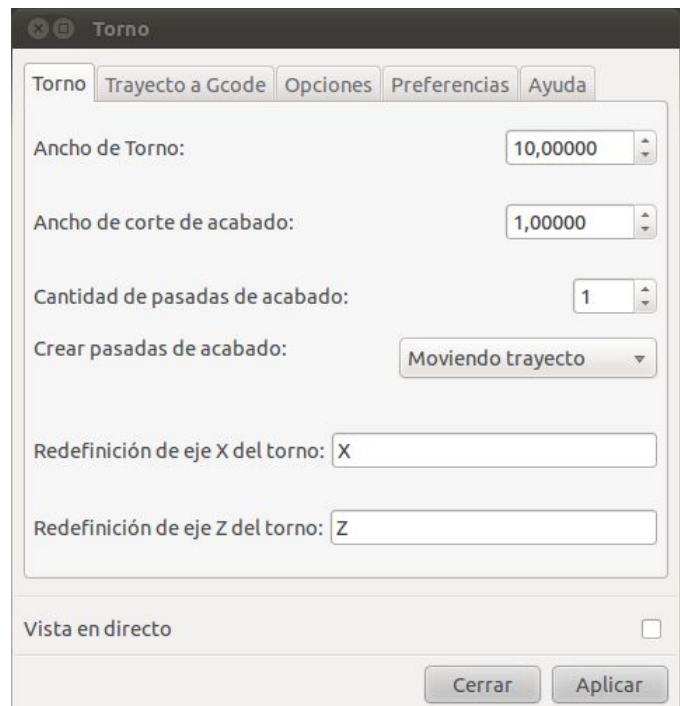
Como esta herramienta genera curvas defectuosas, tenemos otra lengüeta, la de útiles de Zona, que nos ayudará a descubrir las pequeñas líneas creadas por error (Al menos eso creo, ya que no he conseguido que me funcionara)

Al apretar el botón **Aplicar**, el programa creará en inkscape los trayectos desplazados, para que luego los exportemos con **"Trayecto a Gcode"**



## Torno

No sé que hace esta lengüeta.  
No tengo torno :-)

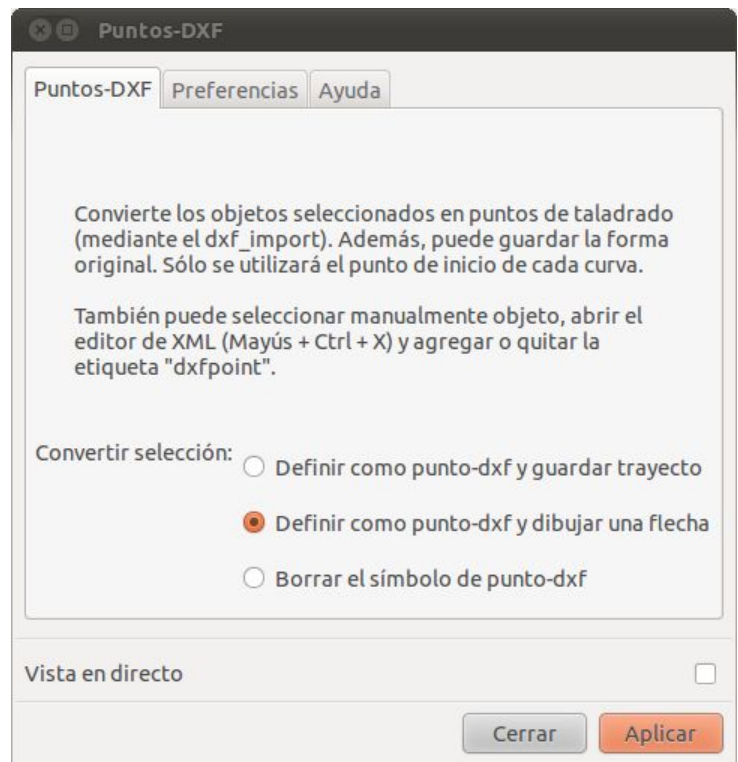
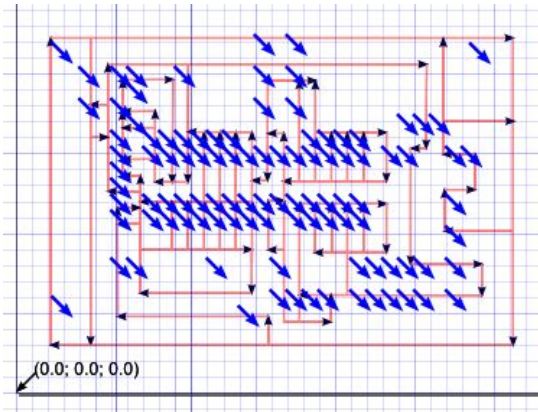




## Puntos-DXF

Cómo se indica en la lengüeta, al apretar el botón **Aplicar**, asociaremos a los objetos seleccionados una etiqueta "dxfpoint" (si seleccionamos alguno de los dos primeros items).

Si seleccionamos la segunda opción , en inkscape veremos los puntos con una flecha.



En el ejemplo vemos un detalle del archivo inkscape del mecanizado de una placa PCB para paperduino (con trayectos en rojo y puntos de taladrado en azul).

**NOTA:** Una vez creado un Punto-DXF puedes en inkscape copiarlo y pegarlo cada vez que quieras un taladrado.

Posteriormente , cuando generemos el Gcode, el programa generará un proceso de taladrado en cada punto-DXF.

```
...
(drilling dxfpoint)
G00 Z5.000000           (sube a la cota de seguridad)
G00 X75.440241 Y52.539318 (se mueve al próximo agujero)
G01 Z-1.000000 F100.000000 (taladra a velocidad 100)
G04 P0.200000          (espera un poco)
G00 Z5.000000           (sube a la cota de seguridad)
(drilling dxfpoint)
G00 Z5.000000
G00 X74.094210 Y36.072453
G01 Z-1.000000 F100.000000
G04 P0.200000
G00 Z5.000000
...
```

## Grabado

Mediante esta función podemos mecanizar (grabar) aprovechando la forma de herramienta, es decir si utilizamos una fresa cónica como en la imagen de la derecha, podemos modificar la anchura de mecanizado controlando la altura Z de mecanizado. De esta forma podemos mecanizar ángulos agudos.

El programa **Codetools** lo que hace es modificar la trayectoria de mecanizado para compensar las diferencias de corte al modificar la altura. Un ejemplo lo puedes ver en la imagen de la derecha donde comparamos los diferentes trayectos del proceso de grabado y el del proceso de exportación a Gcode.

Utilizando este sistema, podemos realizar mecanizados similares al siguiente:



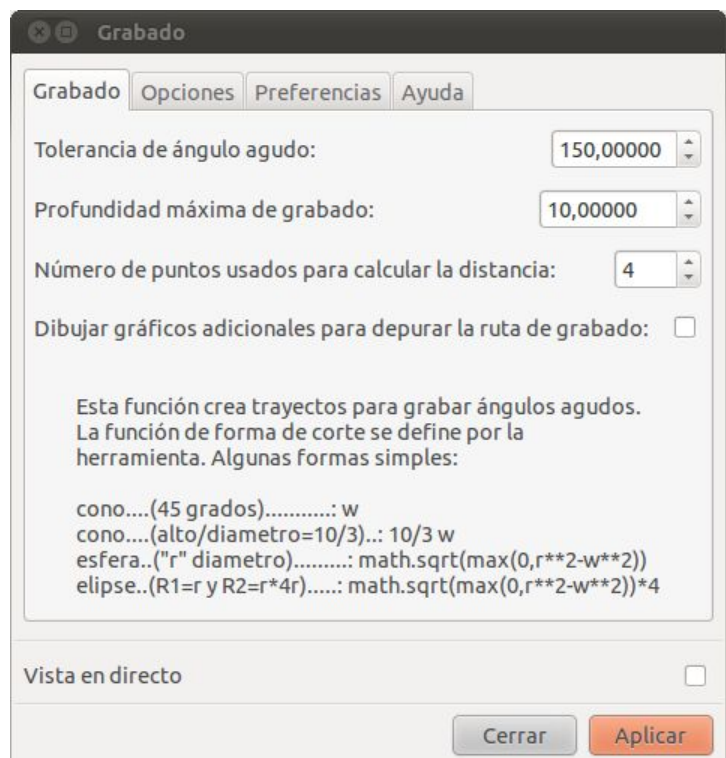
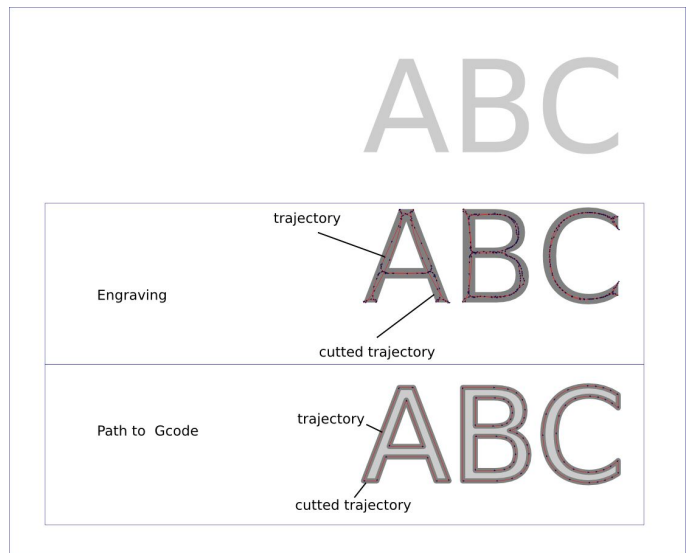
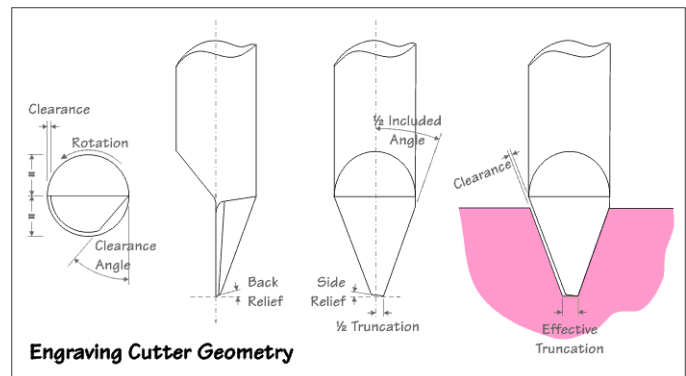
El valor de la **Tolerancia de ángulo agudo** indica el valor en grados a partir del cual el programa lo considerará como vértice agudo.

Si el ángulo del vértice es muy agudo, la trayectoria de corte llegará a tocar el vértice.

Si el desplazamiento en Z de la trayectoria supera la **Profundidad máxima de grabado**, este trayecto no será utilizado para el corte. Este valor debe ser igual al diámetro de la fresa cilíndrica (que se utiliza para cortar la zona interior) o debe ser grande si se desea cortar camino con una fresa cónica.

El **Número de puntos usados para calcular la distancia** define el número de puntos de referencia usados para el cálculo del desplazamiento de la trayectoria. El tiempo de cálculo depende directamente de este parámetro. Debería ser entre 4 y 10.

Si activamos **Dibujar gráficos adicionales para depurar la ruta del grabado**, el programa dibujará



graficos auxiliares (normales, puntos de desplazamiento, circulos, ...) que nos pueden ayudar a encontrar errores, o al menos no ayudará a encontrar una manera de cambiar la ruta de mecanizado para eliminar los errores.

Hay que tener en cuenta que el tiempo de cálculo depende del cuadrado del número de los puntos de control de ruta. Si se va a utilizar esta función en un trayecto con 200 puntos de control o más, tardará bastante en hacer todo el trabajo. Si los caminos no se cruzan, es mejor separarlos. Un usuario (Lirón) a comentado que cuando trató de calcular la ruta de 2.000 puntos el programa tardó 15 minutos para hacer los cálculos.

## Trayecto a Gcode

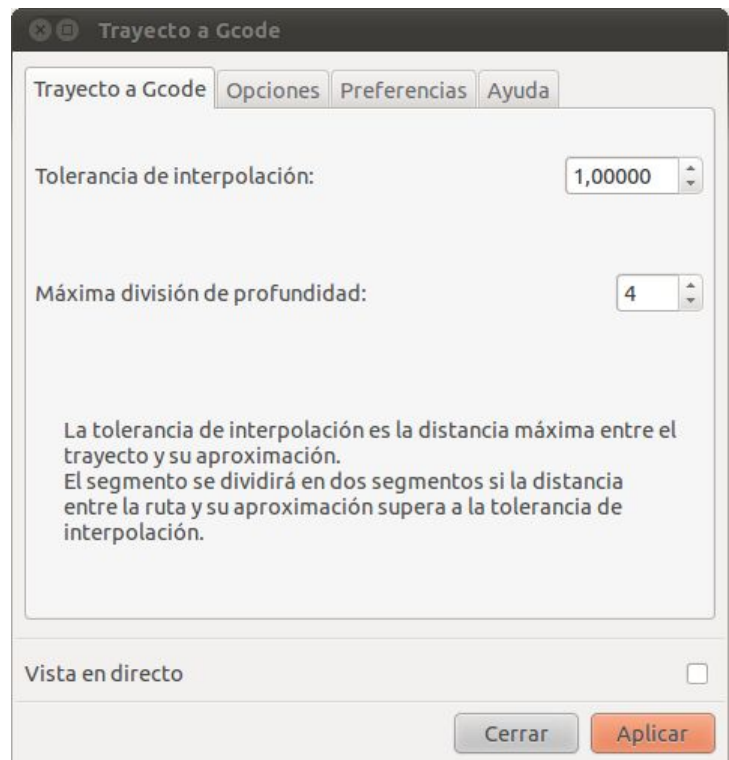
Como se indica en la lengüeta, la **Tolerancia de interpolación** es la distancia máxima entre el trayecto y su aproximación. Es decir el error máximo que admitimos. Cada vez que se aproxima el segmento de trayecto, se calcula esta distancia, se dicha distancia es superior, el segmento se divide en dos segmentos, y cada uno de ellos se aproxima por separado.

La **Máxima división de profundidad** define cuantas veces puede ser dividido un segmento.

Al pulsar el botón **Aplicar** generaremos el programa Gcode de los trayectos que tengamos seleccionado.

**Nota:** es importante repasar los valores de las lengüetas Opciones y preferencias sobre todo el campo directorio en el que seleccionaremos el directorio donde queremos guardar el archivo de Gcode que se generará, ya que por defecto el directorio es inválido:

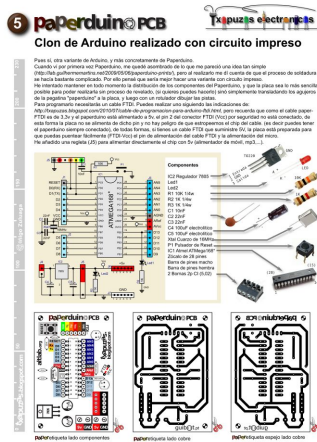
El Linux `/home/` => `/home/[TU_NOMBRE_DE_USUARIO]...`  
En Windows `/home/` => `c:\...`



# Ejemplo de uso: Realización de paperduino-PCB (txapuzas.blogspot.com)

Primeramente descargamos el archivo de la página web de txapuzas:

<http://txapuzas.blogspot.com/2010/07/paperduino-pcb.html>



1 Lo descomprimos y abrimos el documento Paperduino-PCB\_01.svg en inkscape

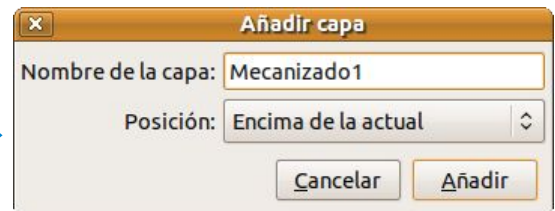
2 Borramos todo salvo la parte de circuito impreso, y lo aproximamos a la parte inferior izquierda de la hoja (origen de coordenadas por defecto).



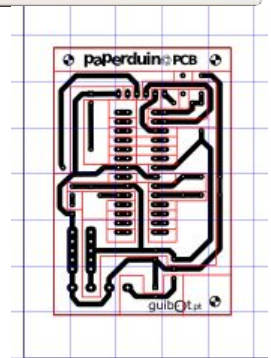
3 Ahora bloqueamos esta capa para no modificarla accidentalmente



4 Creamos una capa nueva con Capa/Añadir Capa ó (Mayús+Ctrl+N) y le damos el nombre de Mecanizado1

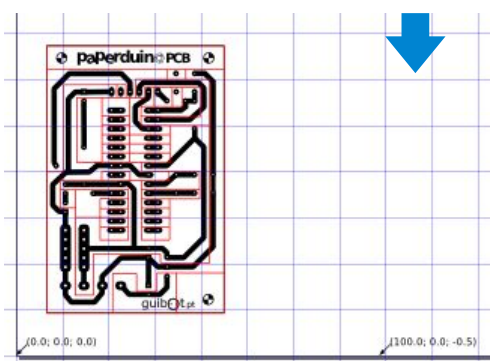


5 En esta nueva capa, con la herramienta de Bezier (curva) vamos dibujando las líneas de separación de pistas (yo he dibujado todo con líneas rectas por sencillez)



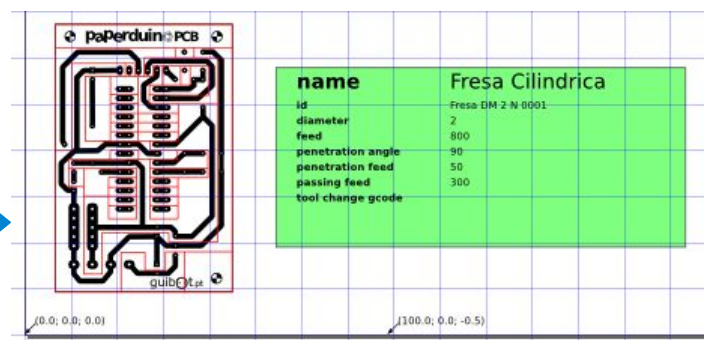
6 Seleccionamos **Extensiones/Gcodetools/Puntos de Orientación**.

En el cuadro de diálogo definimos a que altura está la cara superior de la pieza (normalmente a 0mm), y cuánto queremos que profundice el mecanizado (entre -0,5 y -1 mm), y Gcodetools nos definirá los puntos de control.



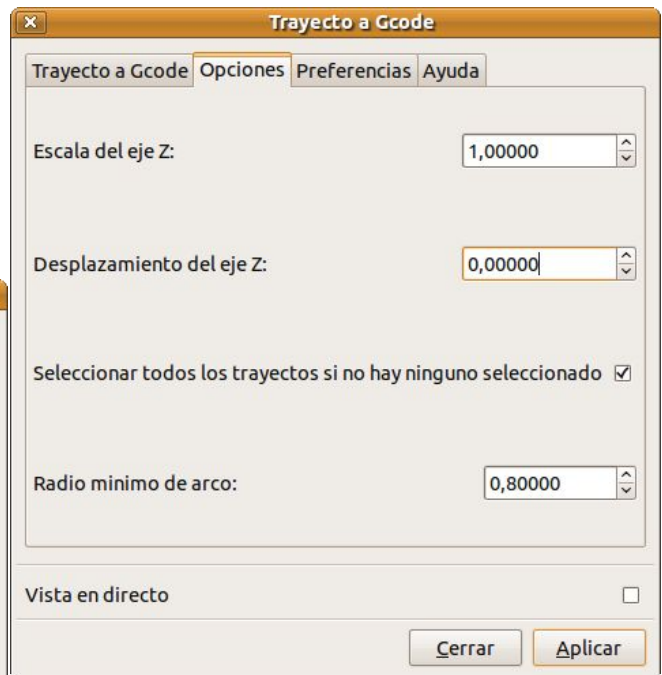
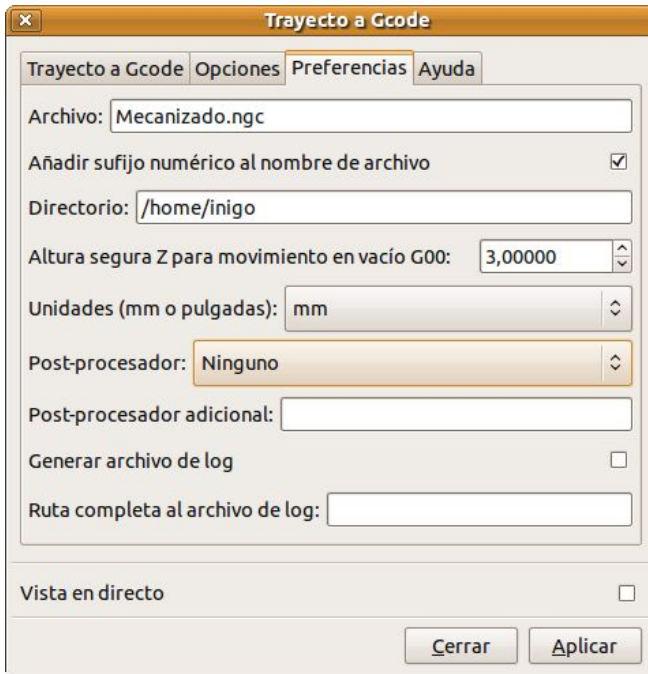
7 Seleccionamos **Extensiones /Gcodetools/Biblioteca de Herramientas**. Seleccionamos la forma de nuestra fresa, y al apretar el botón de aplicar, nos creará un cuadro con los valores por defecto de la herramienta.

Con la herramienta de texto modificaremos los campos de Diámetro de fresa, Velocidad en vacío, Ángulo de penetración, Avance ... de acuerdo a la fresa que utilizemos, el material a mecanizar, es decir, lo adecuamos a nuestras necesidades.



8 Seleccionamos los trayectos que queremos mecanizar y apretamos en el menú **Extensiones/Gcodetools/Trayecto a Gcode**

9 Comprobamos que los valores de la lengüeta **Opciones** son correctos.



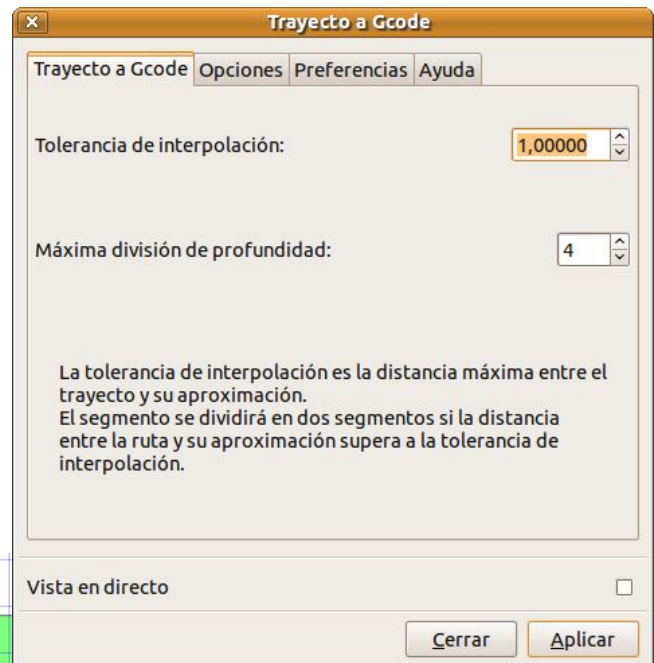
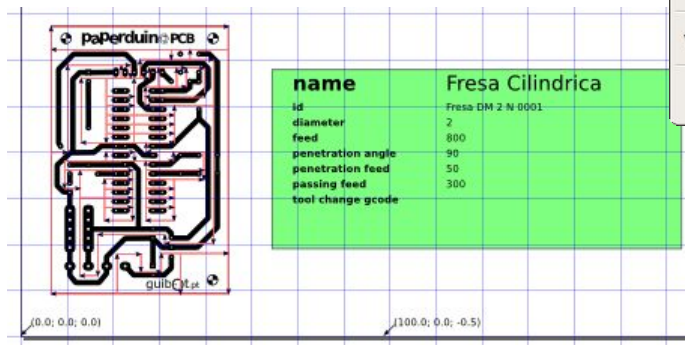
10 Comprobamos también que los valores de la lengüeta **Preferencias** son correctos.

11 Y por fin vamos a la lengüeta **Trayecto a Gcode**. Comprobamos también los valores

(En la imagen, El valor de la tolerancia de interpolación es "un poco grande")

Al apretar el botón **Aplicar**, veremos que nos representa en el archivo inkscape la ruta de mecanizado indicando el sentido de movimiento en cada trayecto.

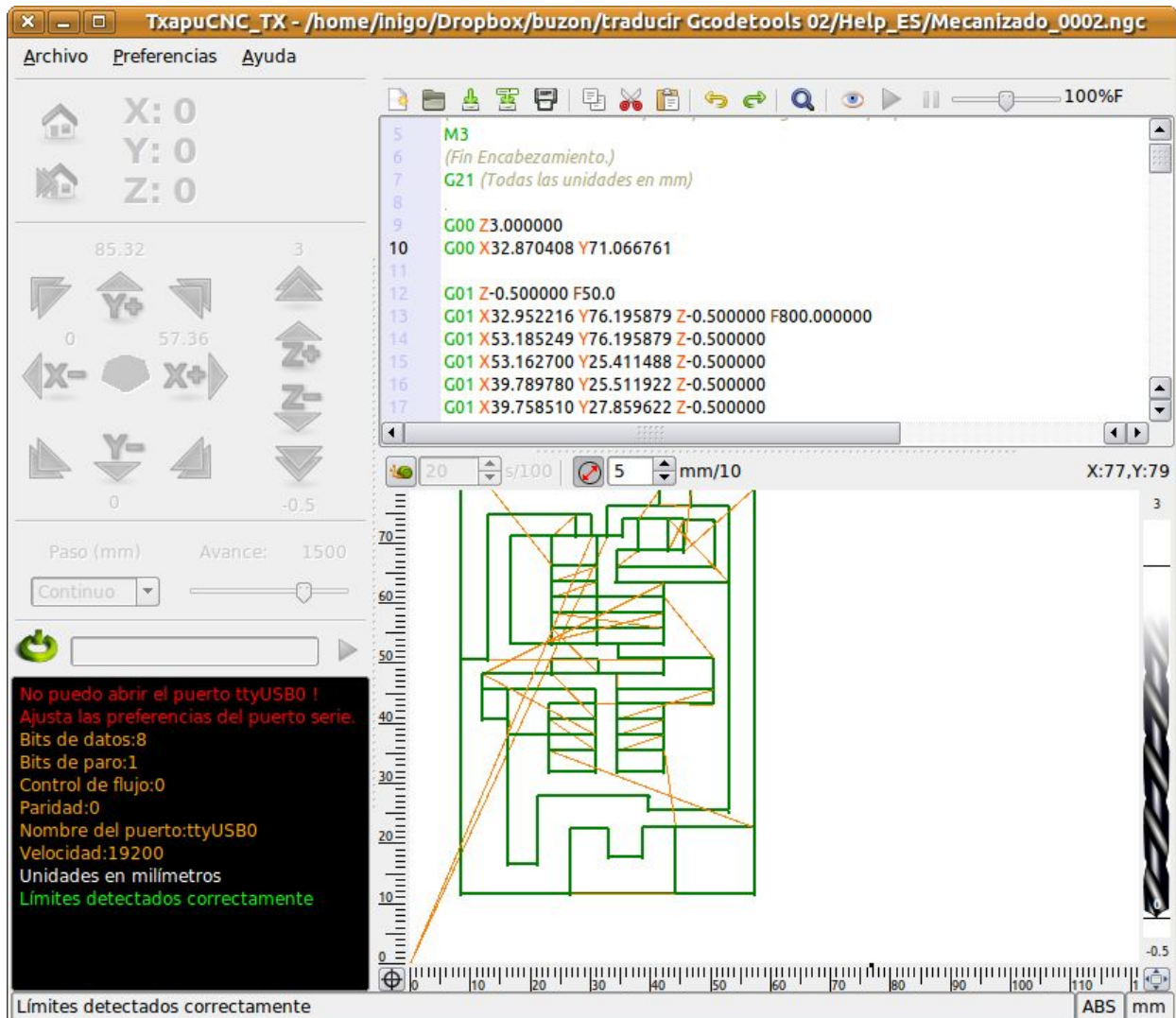
Pero lo más importante es que nos ha generado



en el directorio que le hemos indicado el archivo con el Gcode listo para mecanizar.

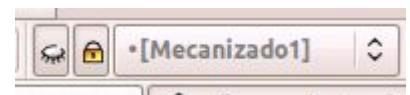
El archivo generado lo podemos abrir con txapuCNC\_TX.gambas (lo puedes descargar en <http://txapuzas.blogspot.com/2009/12/txapu-cnc-software.html>)

y ahí comprobarlo y editarlo



Ahora vamos a hacer las operaciones de taladrado.

**12** Como antes, en inkscape primero **bloqueamos la capa anterior** (Mecanizado 1) para no modificarla por error. (apretando el candado del panel inferior) y también podemos ocultar esta capa para no moleste.



**13 Creamos una capa nueva** que denominaremos Taladrado1

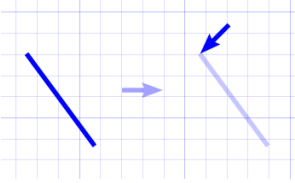
Apertando Capa/Añadir Capa ó (Mayús+Ctrl+N)



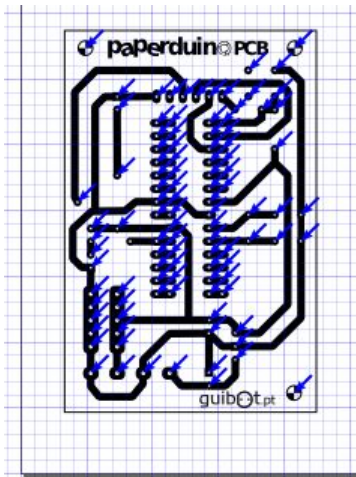
14 Dibujamos una línea, **la seleccionamos** y apretamos **Extensiones/Gcodetools/Puntos-DXF** y seleccionamos la lengüeta **Puntos-DXF**.

Elegimos la segunda opción (**Definir como punto-dxf y dibujar una flecha**) y apretamos el botón **Aplicar**.

Y entonces mágicamente la línea desaparece y en el punto inicial de la línea aparece una flecha, éste es el símbolo de punto-DXF (internamente en la descripción del objeto tiene la etiqueta dxfpoint).

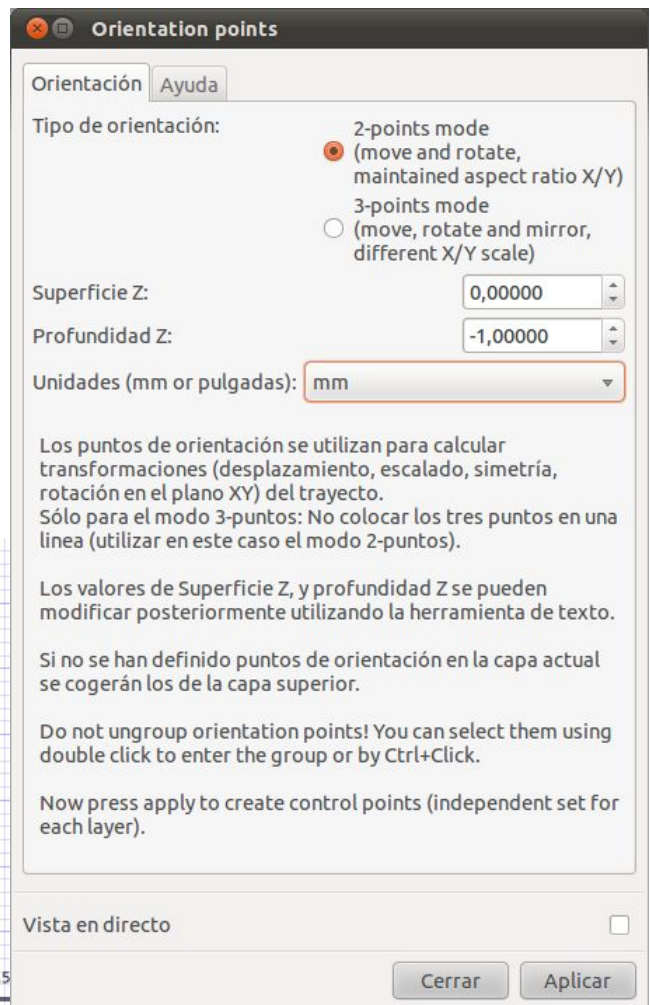
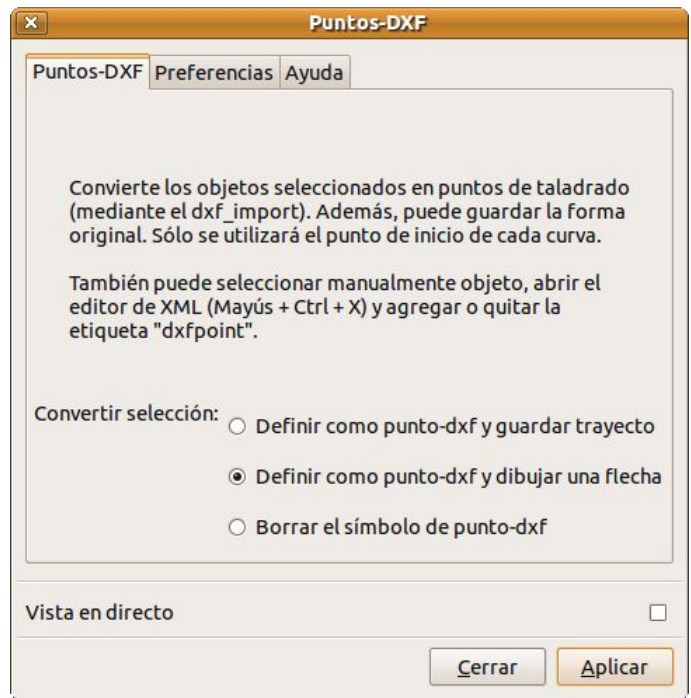
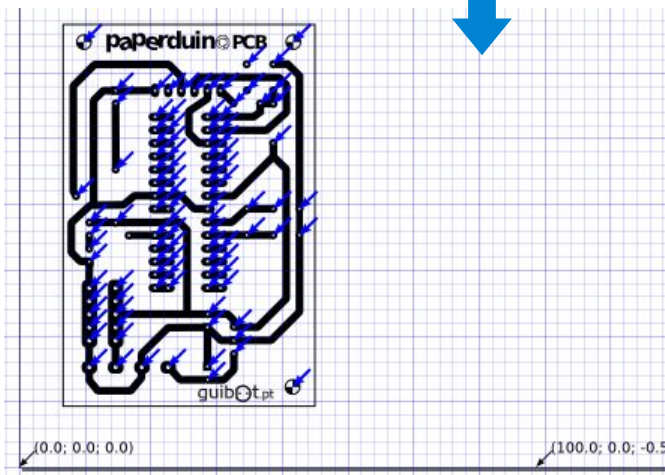



15 Esta flecha la movemos hasta la posición donde queremos hacer un agujero, la **copiamos** (Ctrl+C) y **pegamos** (Ctrl+V) tantas veces como agujeros deseemos.



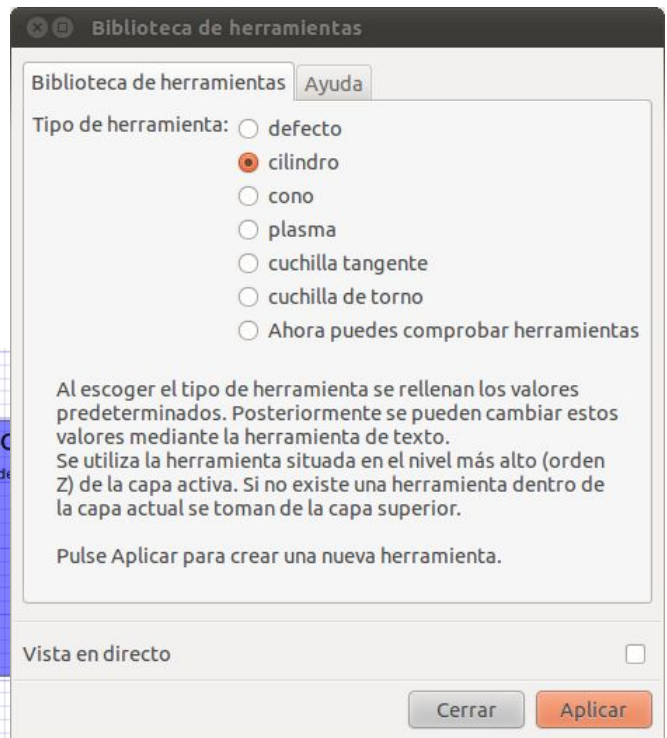
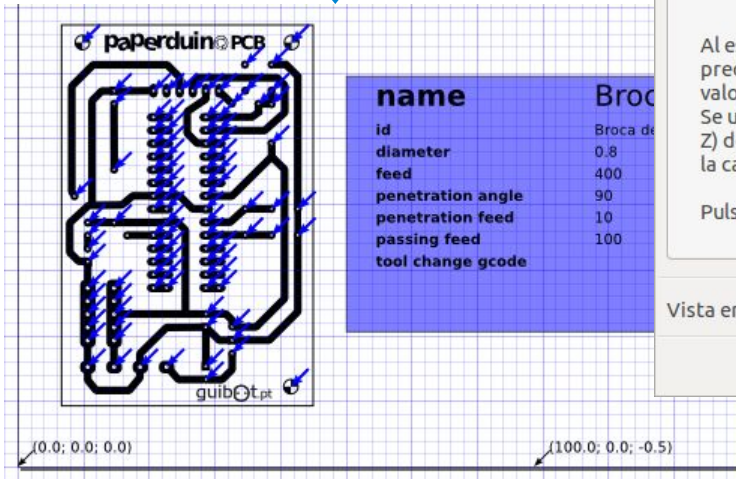
16 Definimos los **Puntos de Orientación** seleccionando en el menú de Inkscape **Extensiones/Gcodetools/Puntos de Orientación**.

Apretamos el botón de **Aplicar** y nos creará los puntos en el documento inkscape:




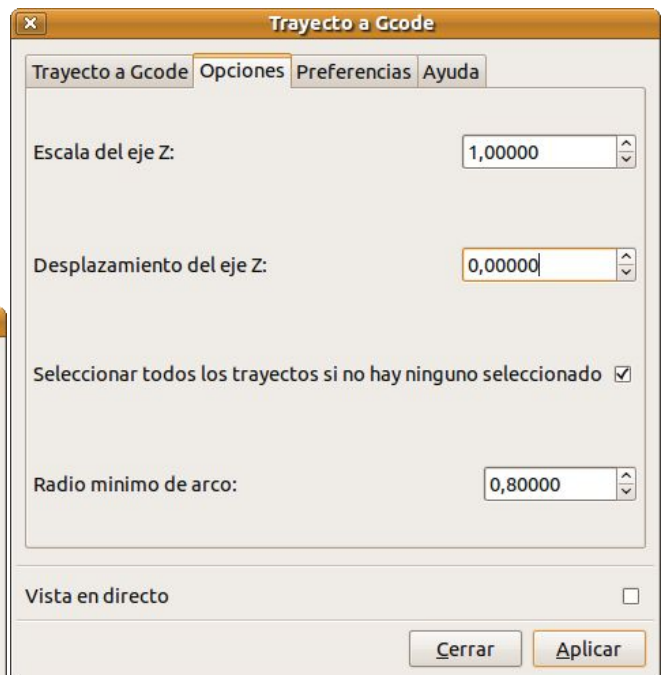
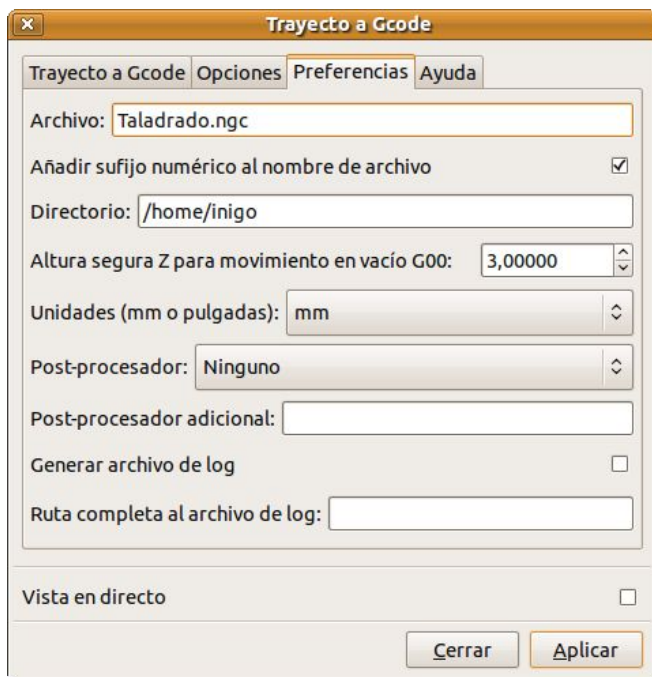
17 Aplicamos una herramienta a la capa activa seleccionando en el menú: **Extensiones/Gcodetools/Biblioteca de Herramientas**. Nos aparecerá un diálogo donde elegiremos la forma de nuestra fresa. 


Al apretar el botón de **Aplicar**, nos creará un cuadro con los valores por defecto de la herramienta.



18 Seleccionamos todas las flechas y apretamos en el menú **Extensiones/Gcodetools/Trayecto a Gcode**

9 Comprobamos que los valores de la lengüeta **Opciones** son correctos. 



10 Comprobamos también que los valores de la lengüeta **Preferencias** son correctos. (sobre todo el nombre del archivo) 



## 11 Seleccionamos la lengüeta **Trayecto a Gcode**

y apretamos el botón **Aplicar**.

En ese momento, si todo ha salido bien ;-)) el programa nos generará un Archivo con código G con las instrucciones de taladrado.

## 12 El archivo generado lo podemos abrir con **txapuCNC\_TX** (lo puedes descargar [aquí](#))

Donde podemos editarlo y modificarlo según nuestras necesidades

