

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **Diseño e implementación de automatismo mecatrónico para mecanizado industrial por control numérico.**

Edgar Leandro Saldarriaga García

José Canola

Luis Orlando Patiño

Ingeniería Electromecánica

Luis Alfonso Loaiza Upegui

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**  
**14 de Diciembre de 2017**

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo es diseñar y fabricar una máquina, para realizar contornos en operaciones de Fresado 2.5D, utilizando la técnica de Control Numérico Computarizado, con el propósito de reducir los altos costos que representa la adquisición de una Máquina de Control Numérico Computarizado. Inicialmente se realiza una búsqueda de información en internet, revistas y libros acerca de las máquinas CNC. Para la implementación de tecnología CAD-CAM de este trabajo, se tuvieron en cuenta trabajos realizados con respecto al diagrama de flujo que se debe seguir para realizar la configuración de los diferentes parámetros y las instrucciones necesarias para programar la interfaz PC-maquina. Luego se realizó el diseño mecánico de la máquina iniciando con el modelado 3D en Autodesk Inventor y siguiendo con la selección de materiales de fácil consecución y bajo costo, y de los procesos necesarios para la manufactura. Para la fabricación de la máquina se utilizó madera triplex de 15 mm de espesor. Se utilizaron motores paso a paso de 1.8°, el costo aproximado de la fabricación de la máquina es \$1'650.000,00.

*Palabras claves: Control Numérico Computarizado (CNC), Diseño Asistido por Computador (CAD), Manufactura Asistida por Computador (CAM), Análisis de elementos Finitos (FEA).*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Primeramente nos gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado, al INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales. A nuestro asesor de trabajo de grado LUIS ALFONSO LOAIZA UPEGUI por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en nosotros que podamos terminar nuestros estudios con éxito. También nos gustaría agradecer a nuestros profesores durante toda nuestra carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a nuestra formación, por sus consejos, sus enseñanzas y más que todo por su amistad. Y por último agradecer a nuestras familias, las cuales nos han motivado durante nuestra formación profesional. Son muchas las personas que han formado parte de nuestra vida profesional a las que nos encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de nuestras vidas. Algunas están aquí con nosotros y otras en nuestros recuerdos y corazones, sin importar en donde estén queremos darles las gracias por formar parte de nosotros, por todo lo que nos han brindado y por todas sus bendiciones. Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# ACRÓNIMOS

---

*CNC* Control Numérico Computarizado

*CN* Control Numérico

*PC* Computador Personal

*P.A.P* Paso a Paso

*FMS* Flexible Manufacturing System

*CIM* *Computer Integrated Manufacturing*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
RECONOCIMIENTOS.....	3
ACRÓNIMOS.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Generalidades.....	9
1.2 Objetivos.....	11
1.2.1 General .....	11
1.2.2 Específicos.....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Mecánica.....	12
2.1.1 Máquinas de base móvil .....	13
2.1.2 Máquinas de brazo móvil.....	14
2.1.3 Sistema de movimiento .....	14
2.1.4 Sistema de transmisión.....	16
2.1.7 Motores .....	23
2.2 Electrónica .....	24
2.2.1 Arduino .....	25
2.2.2 Shields.....	26
2.2.3 Drivers.....	27
2.3 El control numérico en la ingeniería.....	28
2.3.1 Clasificación de los sistemas de control numérico .....	28
2.3.2 Arquitectura del control numérico .....	29
3. METODOLOGÍA .....	30
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
4.1 Diseño .....	31
4.1.1 Análisis de torque y fuerza en un tornillo de potencia.....	32
4.1.1.1 Carro del eje X.....	33
4.1.1.2 Carro del eje Y.....	35
4.1.1.3 Carro del eje Z.....	37

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2	Selección de rodamientos .....	43
4.3	Análisis de tensión .....	44
	Informe de análisis de tensión fuerza aplicada en carro .....	44
	Información de proyecto (iProperties) .....	44
	Simulación: 1.....	45
	Material(es) .....	46
	Condiciones de funcionamiento .....	47
	Simulación: 2.....	58
	Condiciones de funcionamiento .....	58
	Resultados.....	60
4.4	Especificaciones técnicas de la máquina. ....	67
4.5	Selección de motores y drivers.....	68
4.6	Interfaz operario – maquina .....	73
5	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	78
6	REFERENCIAS.....	79
7	ANEXOS .....	81
7.1	Planos estructurales y electrónicos de la maquina .....	81
7.2	Piezas de la maquina .....	86

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 1. Ejes de movimiento máquina CNC .....	12
Figura 2. CNC base móvil.....	13
Figura 3. CNC brazo móvil. ....	14
Figura 4. Rodamiento lineal. ....	15
Figura 5. Rodamiento axial.....	15
Figura 6. Varilla roscada y acople.....	16
Figura 7. Perfil de cuerda UNS y ISO. ....	17
Figura 8. Husillos .....	19
Figura 9. Tipos de roscas o cuerda de los tornillos de potencia. ....	20
Figura 10. Análisis de fuerzas en un tornillo de potencia. ....	21
Figura 11. Correa y polea dentada. ....	21
Figura 12. Efecto backlash.....	22
Figura 13. Método para evitar backlash.....	23
Figura 14. Esquema motor P.A.P.....	24
Figura 15. Esquema de control.....	25
Figura 16. Tarjeta Arduino.....	26
Figura 17. Shield drivers .....	26
Figura 18. Driver A4988 pololu.....	27
Figura 19. Sistema de tornillo – motor paso a paso.....	32
Figura 20. Motor paso a paso para eje X – eje Y .....	69
Figura 21. Motor P.A.P para eje Z (5,6Kg.cm) .....	70
Figura 22. Driver motor eje X y eje Y.....	72
Figura 23. GRBL CONTROLLER.....	74
Figura 24. Interface operario – maquina.....	75
Figura 25. Parámetros del software .....	76
Ilustración 1. CNC carga aplicada gravedad. ....	48
Ilustración 2. Carga aplicada en carro para un peso de 5 kg, 50N.....	49
Ilustración 3. Tensión de Von Mises.....	51
Ilustración 4. Desplazamiento de la estructura de la maquina al aplicar carga.....	52
Ilustración 5. Coeficiente de seguridad en puntos críticos del sistema.....	53
Ilustración 6. Desplazamiento en plano X al aplicar carga.....	54
Ilustración 7. Desplazamiento en plano Y al aplicar carga.....	55
Ilustración 8. Desplazamiento en plano Z al aplicar carga .....	56
Ilustración 9. Deformación equivalente del sistema.....	57
Ilustración 10. Gravedad aplicada.....	58
Ilustración 11. Carga aplicada para un peso de 7Kg, 70N .....	59

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ilustración 12. Tensión Von Mises. ....	61
Ilustración 13. Desplazamiento al aplicar carga en área de trabajo .....	62
Ilustración 14. Coeficiente de seguridad en puntos críticos del sistema.....	63
Ilustración 15. Desplazamiento en plano X al aplicar carga de 70N en área de trabajo.....	64
Ilustración 16. Desplazamiento en plano Y al aplicar carga de 70N. ....	65
Ilustración 17. Desplazamiento en plano Z al aplicar carga de 70N. ....	66
Ilustración 18. Deformación equivalente.....	67
Ilustración 20. Componentes de control.....	86
Ilustración 21. Componentes eje Z.....	87
Ilustración 22. Componentes eje X .....	88
Ilustración 23. Conexión control y pruebas. ....	89
Ilustración 24. Montaje Final. ....	90
Tabla 1. Características del tornillo según su paso .....	18
Tabla 2. Factores de barrido por cortante. ....	19
Tabla 3. Velocidades y avances para diferentes materiales. ....	40
Tabla 4. Profundidad de corte.....	41
Tabla 5. Volumen cortado por minuto.....	42
Tabla 6. Rodamientos.....	43
Tabla 7. Propiedades de la estructura de la maquina CNC. ....	45
Tabla 8. Propiedades de materiales de la estructura de la maquina CNC. ....	46
Tabla 9. Fuerza y pares de reacción en restricciones.....	50
Tabla 10. Tabla de resultados. ....	50
Tabla 11. Fuerzas de pares de reacción en restricciones de la segunda simulación. ....	60
Tabla 12. Resumen de resultados. ....	60
Tabla 13. Datos técnicos de motor para eje X – eje Y.....	68
Tabla 14. Datos técnicos de motor eje Z.....	69
Tabla 15. Datos técnicos de driver seleccionado para motores del eje X y eje Y. ....	70
Tabla 16. Datos técnicos de driver seleccionado para eje Z .....	72
Tabla 17. Cotización del costo real de la maquina.....	91
Tabla 18. Cotización maquina aluminio .....	91

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Generalidades

La máquina de control numérico computarizado (CNC), ha jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo. Si para la mecanización de un número de piezas fuera necesario realizar las operaciones de fresado, mandrinado y perforado, se alcanzaría una mayor eficiencia si este grupo de operaciones se realizaran en una misma máquina. Esta necesidad, sumada también a la necesidad de fabricar piezas complejas, producciones en serie genero la necesidad de fabricar las máquinas de control numérico. Este tipo de máquinas mediante un programa de código numérico, se programan las rutas de maquinado en forma automática, los recorridos son generados por el programa de CNC, además se tiene la ventaja de seleccionar cualquier avance y velocidad de giro que este dentro del rango de la maquina a diferencia de las maquinas convencionales que solo se pueden utilizar unos valores establecidos. Las máquinas de CNC permiten controlar las rutas de maquinado y la precisión de los desplazamientos. Con la creciente demanda de producción, el crecimiento de las pequeñas y medianas empresas ha sido acelerado y ha exigido cada vez mayores capacidades de producción. Por lo tanto es necesario implementar manufactura avanzada con procesos rápidos y de precisión que puedan brindar la infraestructura necesaria y adecuada para suplir las necesidades de los clientes. El crecimiento evidenciado en el sector industrial ha obligado a las empresas a adquirir este tipo de tecnología, es decir comprar máquinas de control numérico computarizado (CNC), Las máquinas-herramienta hacen el trabajo industrial más sencillo, práctico y económico para la organización que las emplea; Es una forma de hacer un trabajo eficaz, eficiente y efectivo. Las maquinas CNC son equipos costosos tanto en su adquisición como en su mantenimiento, por ende muchas empresas de nuestra industria opta por tener procesos empíricos que se ve reflejado en su producto final. En este trabajo de grado se va a diseñar y fabricar una máquina de CNC, a muy bajo costo en comparación con las máquinas existentes en el mercado, beneficiando de esta manera a los pequeños y medianos empresarios que quieren competir con productos de mayor calidad, eficiencia y aun menor costo de producción. Otra de las ventajas de esta máquina es que permite un fácil mantenimiento y un mejor soporte técnico.

### **Capítulo 1 – introducción.**

En este capítulo se realiza un preámbulo de la implementación de máquinas CNC en procesos de manufactura, resaltando aspectos importantes en dicha implementación como lo son la rapidez y la precisión. Se plantean el objetivo general y los objetivos específicos.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

***Capítulo 2 – Marco teórico.***

En este capítulo se dan a conocer los aspectos teóricos que se utilizan en el presente trabajo para una mayor comprensión del lector.

***Capítulo 3 – Metodología.***

En este capítulo se realiza una descripción del proceso de diseño, selección e implementación de una máquina de mecanizado por control numérico.

***Capítulo 4 – Resultados y análisis de resultados.***

En el cuarto capítulo, se cumple con los tres objetivos específicos de este trabajo. Para lograrlo se aplica la Metodología propuesta en el tercer capítulo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 General

Fabricar una maquina CNC para realizar contornos en operaciones de fresado 2.5D, evitando los altos costos que representa la adquisición de una maquina comercial.

### 1.2.2 Específicos

- Diseñar los sistemas mecánicos, electrónicos y de control para una maquina CNC.
- Construir el sistema mecánicos, electrónico y de control para la maquina CNC.
- Evaluar el funcionamiento de los sistemas mecánico, electrónico y de control para la puesta a punto de la máquina CNC.

## 2. MARCO TEÓRICO

Una máquina CNC tiene como función mover una herramienta a través de una superficie, esta superficie en la máquina CNC es una mesa de trabajo, donde se establecen dos ejes el eje X que corresponde con la parte horizontal de la mesa y el eje Y que corresponde a la parte vertical de la mesa. Hay casos en los que además la herramienta también puede realizar otro movimiento subiendo la herramienta sobre la mesa o bajando la herramienta.

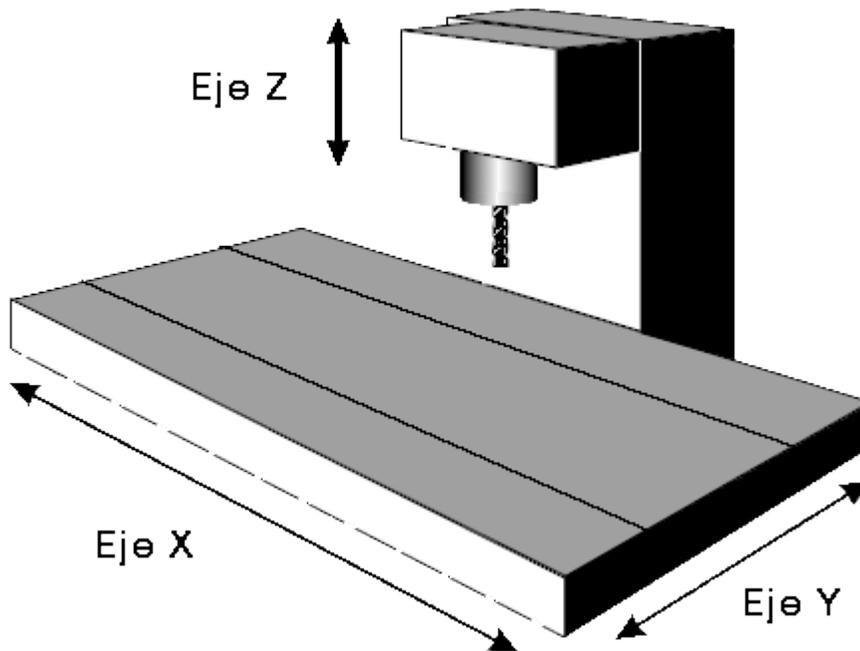


Figura 1. Ejes de movimiento máquina CNC

Fuente: (NORTON, 2011).

### 2.1 Mecánica

Es la parte que se encarga del diseño y construcción del chasis y de las partes móviles de la máquina, integrándolos en una estructura que permita el fácil movimiento de la herramienta a través de todos sus ejes. En máquinas de aficionado es importante que tanto el diseño como la construcción de la máquina estén pensados para trabajar con

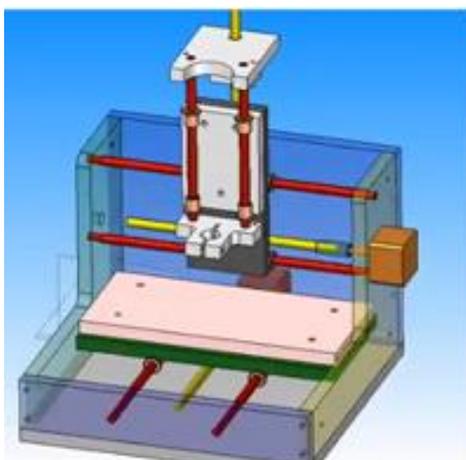
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

herramientas comunes. La primera decisión que tenemos que tomar a la hora de diseñar y montar una máquina CNC es la estructura que tendrá. Hay dos posibilidades dependiendo de cómo este diseñado el eje Y de la máquina, seleccionaremos un diseño u otro dependiendo del espacio que deseemos que ocupe la máquina, de la robustez o de la facilidad de montaje. Por un lado tenemos las máquinas en las que el eje Y está implementado en la base de la máquina y es esta base la que se desplaza que es el caso de este proyecto, ya que se tuvo en cuenta que para la máquina es mejor que todos sus ejes de desplacen libres sin ningún peso adicional, y por otro lado tenemos las máquinas en las que el eje Y está implementado en un brazo que se desplaza por encima de la base de la máquina.

### 2.1.1 Máquinas de base móvil

Este diseño de máquina se caracteriza por tener todas sus partes fijas excepto la base de la máquina que es la que se desplaza a lo largo del eje Y. Al tener todas sus partes fijas la estructura es muy robusta con un diseño sencillo de fabricar y montar, tanto para grandes máquinas como para las más pequeñas, el inconveniente de tener la base móvil es que al tenerse que desplazar la base, la estructura de la máquina en el eje Y tiene que ser el doble de grande que la propia base, y por consiguiente este tipo de máquinas tienen una estructura más grande en el eje Y de lo que son capaces de trabajar. Este tipo de diseño con ligeras variaciones es muy utilizado en las impresoras 3D.

Dentro de este tipo de diseño hay una variante en la que la base se puede mover tanto en el eje X como en el eje Y, aunque este diseño no es muy común dentro de las máquinas de aficionado, se suele utilizar para añadir funciones CNC a máquinas existentes



*Figura 2. CNC base móvil.*

*Díaz, A. (2013). CNC Control Copyright*

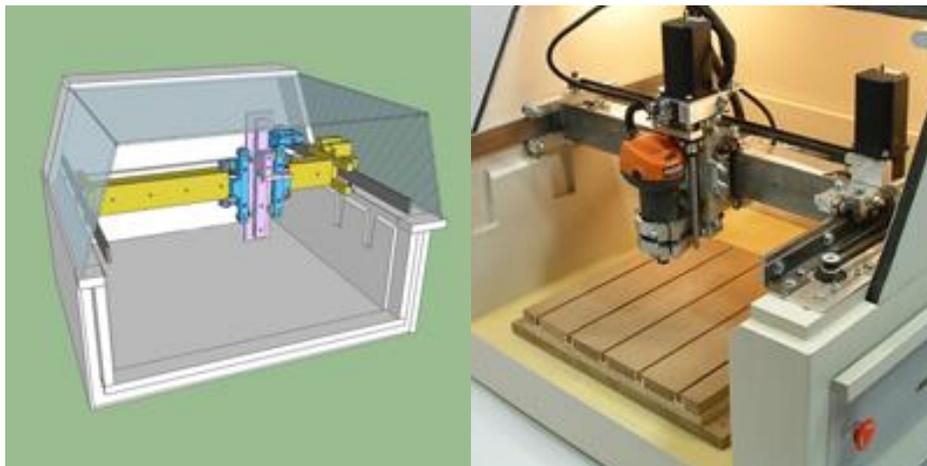
*Recuperado de <http://www.cnccontrol.byethost13.com/mecanica.html?i=1#>*

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.1.2 Máquinas de brazo móvil

Este diseño de máquina se caracteriza por tener la base fija a la estructura y tener el brazo del eje X móvil a lo largo de la estructura.

Al tener el brazo móvil la estructura de la base es muy robusta pero tanto el diseño como el montaje del eje X es más complejo para tener una buena robustez, estas máquinas suelen tener dos motores para el movimiento del brazo y evitar una posible desalineación del mismo. Este tipo de máquinas tienen un tamaño más próximo a las dimensiones de trabajo (figura 2). Existen muchas variaciones dentro de este tipo de diseño, a continuación podemos ver algunos de ellos.



*Figura 3. CNC brazo móvil.*

*Díaz, A. (2013). CNC Control Copyright*

*Recuperado de <http://www.cnccontrol.byethost13.com/mecanica.html?i=1#>*

## 2.1.3 Sistema de movimiento

Las máquinas CNC necesitan mover una herramienta a través de sus ejes, este movimiento se tiene que producir de una forma suave y precisa para no influir en el acabado del trabajo que estamos realizando, Para ello necesitamos un mecanismo que sea capaz de desplazarse lo más suave posible, y que no genere holguras en dichos desplazamientos. Existe un elemento con el que podemos realizar esta tarea, este elemento es el rodamiento, y puede presentarse en dos formas distintas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.1.3.1 Rodamiento lineal

Este rodamiento se desplaza por una barra, el ajuste es perfecto con lo que no tiene ninguna holgura, y el movimiento es muy suave gracias a las bolas de su interior, pueden tener distintas formas y tamaños y ser abiertos o cerrados (figura 3). Estos rodamientos tienen un precio elevado y una vez montados su sustitución suele ser costosa.



*Figura 4. Rodamiento lineal.*

*Dawson, N. (2014). Festo AG & Co. KG*

*Recuperado de*

*[https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/368347/White\\_Paper\\_Bearing\\_Technology\\_es.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/368347/White_Paper_Bearing_Technology_es.pdf)*

### 2.1.3.2 Rodamiento axial

Este rodamiento se desplaza sobre una superficie, al estar sobre una superficie es necesario ajustarlos para que queden siempre en contacto con la superficie y no haya holguras (figura 4), al igual que los rodamientos lineales el movimiento se realiza con mucha suavidad, tienen un bajo coste y su sustitución suele ser fácil.



*Figura 5. Rodamiento axial.*

*Dawson, N. (2014). Festo AG & Co. KG*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

*Recuperado de*

[https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/368347/White\\_Paper\\_Bearing\\_Technology\\_es.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/368347/White_Paper_Bearing_Technology_es.pdf)

## 2.1.4 Sistema de transmisión

Para que la herramienta se pueda desplazar a través de los ejes de la máquina de forma automática necesita unos motores, pero los motores por si solos no son suficiente para realizar este movimiento ya que necesitan un sistema que convierta el movimiento de giro del motor en un movimiento lineal. En máquina de aficionado este mecanismo se puede realizar de tres formas, mediante varillas roscadas, husillos o correa dentada.

### 2.1.4.1 Varillas roscadas

Este sistema de transmisión es el más barato que hay, consiste en conectar una varilla roscada de la métrica que deseemos (normalmente M8 o M10) al eje del motor PAP, esta conexión se puede realizar con un macarrón o con una acoplador (figura 6), además debemos conectar también la varilla roscada al eje que queremos mover, esta conexión se puede realizar con una o más tuercas de la misma métrica que la varilla. Dado que el paso de este tipo de varilla no es muy elevado es una transmisión lenta.



*Figura 6. Varilla roscada y acople*

*Recuperado de <https://www.rodavigo.net>*

#### 2.1.4.1.1 Tornillos y sujetadores

Los tornillos o sujetadores son una de las piezas más importantes en la realización de un diseño (figura 5), aunque usted no lo crea estos elementos pueden hacer que una máquina que se le realizaron todos los cálculos debidos falle, en la actualidad existen dos sistemas de identificación; uno internacional UNS (estándar nacional unificado) que utiliza como unidades las pulgadas y el Europeo ISO que tiene el mismo perfil de sección transversal pero en milímetros por lo que los hace no intercambiables (NORTON, 2011), a continuación se pueden ver sus variables más importantes

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

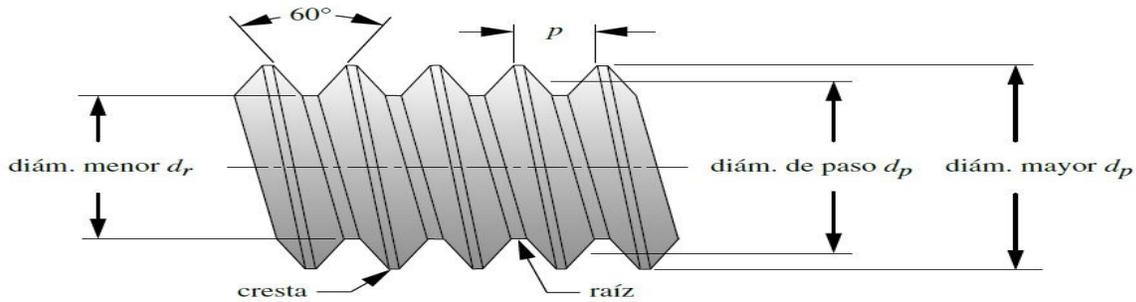


Figura 7. Perfil de cuerda UNS y ISO.

Fuente: (NORTON, 2011).

### 2.1.4.1.2 Área de esfuerzo en tornillos

Común mente la fuerza en los tornillos es axial lo cual los somete a esfuerzos de tensión normales:

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{d_p + d_r}{2} \right]^2 \quad (1)$$

De donde para rocas o cuerdas UNS:

$$d_p = d - \frac{0,649519}{N} \quad (2)$$

$$d_p = d - \frac{1.299038}{N}$$

Y para ISO:

$$d_p = d - 0,649519P \quad (3)$$

$$d_p = d - 1.299038P \quad (4)$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 1. Características del tornillo según su paso

Tabla 11-2 Dimensiones principales de cuerdas de tornillos del estándar métrico ISO Datos calculados con las ecuaciones 11.1; véase la referencia 4 para mayor información						
Diámetro mayor $d$ (mm)	Cuerdas gruesas			Cuerdas finas		
	Paso $p$ mm	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (mm <sup>2</sup> )	Paso $p$ mm	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (mm <sup>2</sup> )
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.40	1.50	20.16	333.06
24.0	3.00	20.32	352.50	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.41	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.59	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.55	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.72	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.75	3.00	35.32	1028.39

Fuente: (NORTON, 2011).

Entonces el esfuerzo normal será:

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t} \quad (5)$$

La fuerza F es calculada del torque puro aplicado al tornillo.

Entonces el esfuerzo cortante será:

As= área de corte por barrido.

dr= diámetro de raíz.

p= paso

wi= cortante por barrido del tornillo depende del tipo de rosca

wo= cortante por barrido de la tuerca

$$A_s = \pi * dr * w_i * p \quad (6)$$

$$A_s = \pi * dr * w_o * p \quad (7)$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

*Tabla 2. Factores de barrido por cortante.*

**Tabla 11-5**

Factores de área para áreas de cortante de barrido en las cuerdas

Tipo de cuerda	$w_i$ (menor)	$w_o$ (mayor)
UNS/ISO	0.80	0.88
Cuadrada	0.50	0.50
Acme	0.77	0.63
Reforzada	0.90	0.83

*Fuente: (NORTON, 2011).*

Entonces el esfuerzo cortante será:

$$t = \frac{F}{As} \quad (8)$$

## 2.1.5 Husillos

Este sistema de transmisión es el más barato que hay, consiste en conectar una varilla roscada de la métrica que deseemos (normalmente M8 o M10) al eje del motor PAP, esta conexión se puede realizar con un macarrón o con un acoplador, además debemos conectar también la varilla roscada al eje que queremos mover (figura 7), esta conexión se puede realizar con una o más tuercas de la misma métrica que la varilla. Dado que el paso de este tipo de varilla no es muy elevado es una transmisión lenta



*Figura 8. Husillos*

*Hensel, T. (2013). © SKF Group 2013*

*Recuperado de [http://www.skf.com/binary/96-149715/Precision-rolled-ball-screws---6971\\_1-ES.pdf](http://www.skf.com/binary/96-149715/Precision-rolled-ball-screws---6971_1-ES.pdf)*

### 2.1.5.1 Tornillos de potencia

Para este trabajo se utilizara una de la amplia varia de tornillos o sujetadores existentes como son los tornillos de potencia o de avance, los cuales tienen la capacidad de convertir un movimiento rotatorio en lineal y los cuales son impulsados por servomotores o motores paso a paso, son muy utilizados para elevar o mover grandes cargas debido a que pueden obtener grandes ventajas mecánicas (NORTON, 2011). Como se puede apreciar los perfiles de cuerdas o roscas de los tornillos son estándar la diferencia son las unidades, para los tornillos de potencia esta cuerda debe ser más resistente y para esto se crearon tres diferentes la cuadrada, la ACME y la reforzada (figura 8).

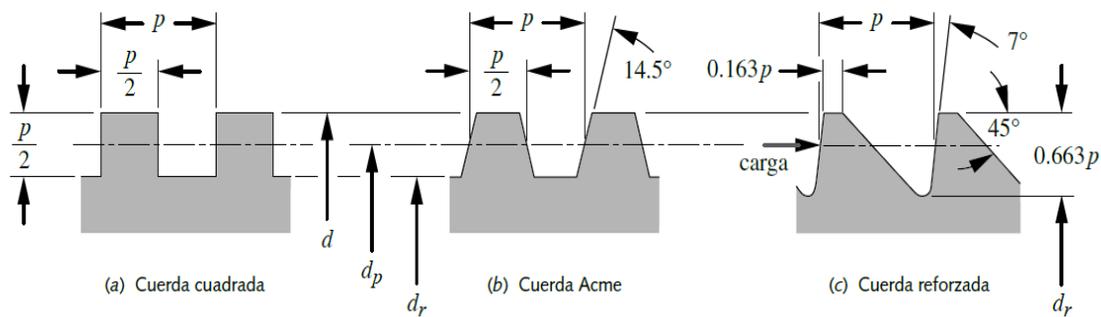


Figura 9. Tipos de roscas o cuerda de los tornillos de potencia.

Fuente: (NORTON, 2011).

La rosca cuadrada ofrece mayor resistencia y eficiencia, además elimina cargas radiales creadas entre la rosca y la tuerca y son muy difíciles de cortar. La ACME es fácil de fabricar, tiene un ángulo de avance de  $29^\circ$  y son muy utilizadas para absorber cargas en ambas direcciones y la reforzada soporta cargas axiales y es muy resistente en la raíz (NORTON, 2011).

## 2.1.6 Análisis de torque y fuerza en un tornillo de potencia.

Partiendo de la siguiente figura 9 se analiza:

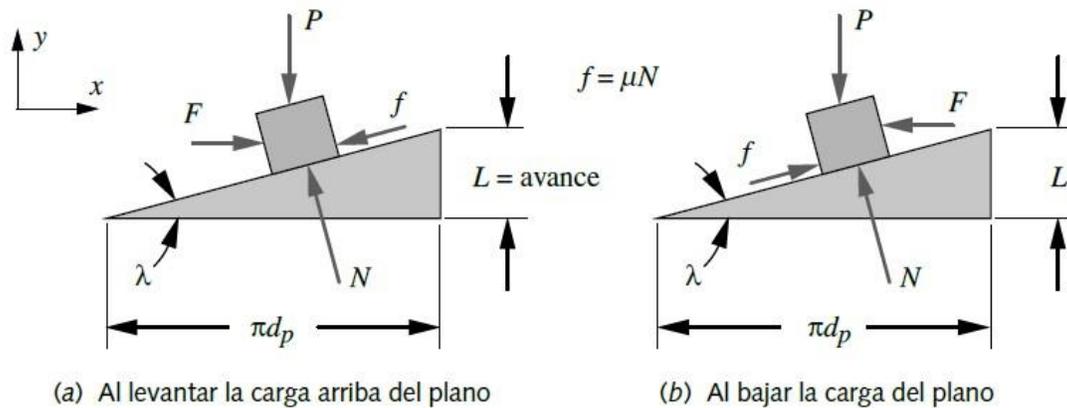


Figura 10. Análisis de fuerzas en un tornillo de potencia.

Fuente: (NORTON, 2011).

### 2.1.6.1 Correa dentada

Este sistema de transmisión tiene buena precisión y su precio no es muy elevado, consisten en utilizar una correa dentada conectada al motor PAP y al eje que queremos mover mediante poleas. Las correas dentadas tiene un gran paso con lo que es el sistema de transmisión más rápido de los tres, esta velocidad vendrá definida por el número de dientes que tenga la polea y por el tamaño del paso de la correa (figura 10).

Existen muchos tipos de correa dentada con diferentes tipos de dientes, pero entre las más usadas en CNC se encuentran los tipos T5, GT2, XL o HTD.



Figura 11. Correa y polea dentada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Recuperado de [http://lab.transmitec.com/wp-content/uploads/2014/06/manual\\_poleas\\_dentadas\\_intermec.pdf](http://lab.transmitec.com/wp-content/uploads/2014/06/manual_poleas_dentadas_intermec.pdf)

En algunos casos se pueden utilizar engranajes o combinaciones de correa dentada con los otros dos sistemas para conseguir una mayor fuerza por parte del motor PAP.

### 2.1.6.2 Que es el backlash

El backlash es un efecto que se produce en las transmisiones que utilizan varilla roscada o husillo, y consiste en un retardo en el movimiento cuando el motor PAP cambia de dirección. Esto es debido a que la rosca no se ajusta exactamente a la varilla o husillo. En la varilla roscada este efecto es muy apreciable ya que las tuercas no encajan perfectamente en la varilla y se produce un ligero baile. En el husillo este efecto está minimizado ya que las tuercas están mejor fabricadas, en el caso de los husillos de bolas este efecto es prácticamente nulo (figura 11). Las correas dentadas no sufren de este efecto, pero tienen un efecto similar dada la elasticidad de la cuerda, aunque este efecto con una buena tensión de la cuerda es mínimo.

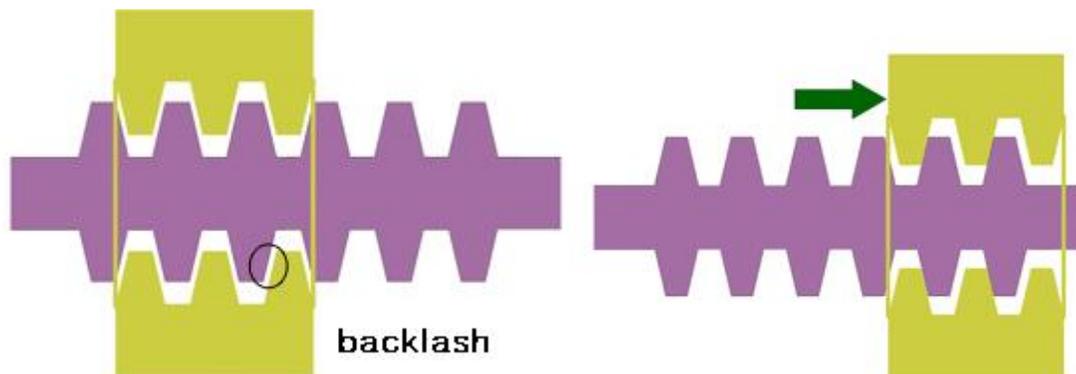


Figura 12. Efecto backlash

Forums, F. (2013). Simple machines

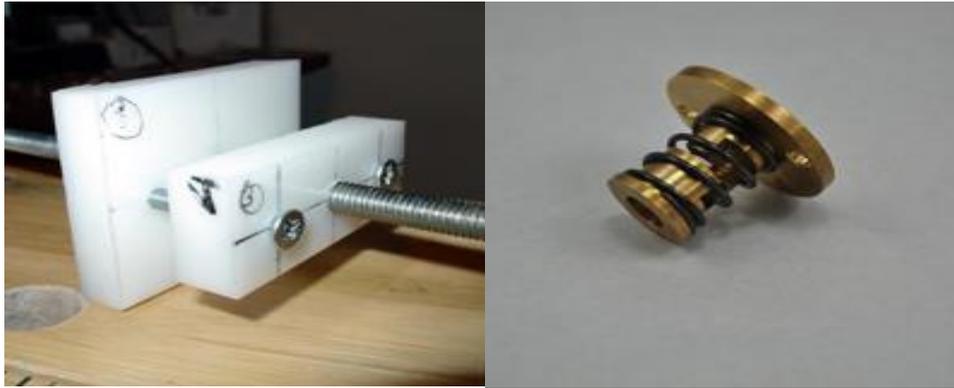
Recuperado de <http://cncontrol.byethost13.com/smf/index.php?topic=47.0&i=1>

Hay métodos para minimizar el backlash, Uno de estos métodos consiste en usar una tuerca de plástico a la que se le hace la rosca con la propia varilla roscada en vez de una tuerca normal. Otros métodos consisten en utilizar dos tuercas y poner en el medio un muelle para que dichas tuercas se separen (figura 12).

Sabiendo que el chasis de la maquina está hecho en madera se debe tener en cuenta que la madera a medida que la maquina se use va perdiendo precisión, después de las primeras 5 horas de trabajo la maquina cedió en su estructura y luego de tomar medidas se establece que por cada hora de trabajo se pierde alrededor de  $\pm 0,7$  mm por cada hora

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de trabajo después de la 5 primeras (mientras tiene su ajuste trabaja perfectamente con una tolerancia de 0,02mm establecidas en la parametrización del software).



*Figura 13. Método para evitar backlash*

*Forums, F. (2013). Simple machines*

*Recuperado de <http://cnccontrol.byethost13.com/smf/index.php?topic=47.0&i=1>*

## 2.1.7 Motores

Una maquina CNC realiza los movimientos de forma automática a partir de las órdenes recibidas por un ordenador, este movimiento no podría ser automático si no tuviésemos unos motores que realicen dicho movimiento, estos motores además de realizar el movimiento tienen que poder desplazarse y mantener la posición indicada por el ordenador. Para ello se utilizan dos tipos de motores, los motores paso a paso (P.A.P) y los servomotores.

### 2.1.7.1 Motores P.A.P

Estos motores son capaces de avanzar una serie de grados (pasos) a partir de unas señales de control. Presentan las ventajas de tener alta precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento. Están formados por una serie de bobinas que al ser excitadas fijan una posición, y dependiendo del orden de excitación de las bobinas el motor se mueve hacia un lado o hacia el otro (figura 13). Los grados de giro de estos motores es muy variado pasando desde los 90º hasta los 1.8º, cada ángulo de giro, (también llamado paso) se efectúa enviando un pulso en uno de sus terminales, es decir que por ejemplo en motores que tienen 90º de giro por paso, se requiere 4 pulsos para dar una vuelta completa, mientras que en los de 1,8º necesitas 200 pulsos. Para poder usar de forma correcta estos motores es necesario un controlador o driver que envíe el orden adecuado de excitación de las bobinas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Aunque existen varios tipos de motores, en las maquinas CNC de aficionado se suelen usar dos tipos de motores P.A.P, estos pueden ser motores bipolares o motores unipolares.

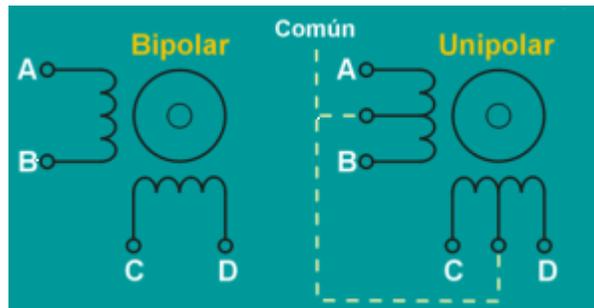


Figura 14. Esquema motor P.A.P

Conti, F. (2005). Motores paso a paso

Recuperado de <http://www.electrosector.com/motores-paso-a-paso/>

### 2.2.7.2 Servomotores

Son motores de construcción convencional de escobillas (mejor de 4 escobillas) o la tendencia actual, brushless con control electrónico de posición. Habitualmente trabajan acoplados a una reductora de precisión e incluyen un sensor de posicionamiento para gestionar la posición. Para completar el sistema una controladora específica coordina la velocidad y aceleración del motor, así como el error de posición. Los torques y sobre todo las velocidades alcanzadas son muy superiores a los motores P.A.P, pero por contra su coste es también bastante más elevado.

## 2.2 Electrónica

Es la parte que se encarga de interpretar las órdenes enviadas por el ordenador y convertirla en señales para que los motores realicen los movimientos necesarios durante el tiempo necesario con el fin de lograr la posición deseada. También es la encargada de obtener datos de los distintos sensores que incorpore la máquina. Una maquina CNC está formada por varios componentes electrónicos, por un lado tenemos un controlador que en nuestro caso será una placa Arduino, este es el cerebro de la máquina y la que coordina el resto de componentes del sistema, también es el que se comunica con el ordenador para recibir las ordenes a ejecutar por la máquina. Por otro tenemos las Shield que se conectan al Arduino y en las cuales van conectados el resto de dispositivos (La utilización de una Shield es opcional, pudiéndose conectar cada dispositivo directamente al arduino). También tenemos unos Drivers que son los que envían las señales de movimiento a los motores P.A.P o controlan otras partes de la maquina como láser o fresadoras. Y por último tenemos los sensores que se encargan de recuperar información de la máquina (figura 14).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

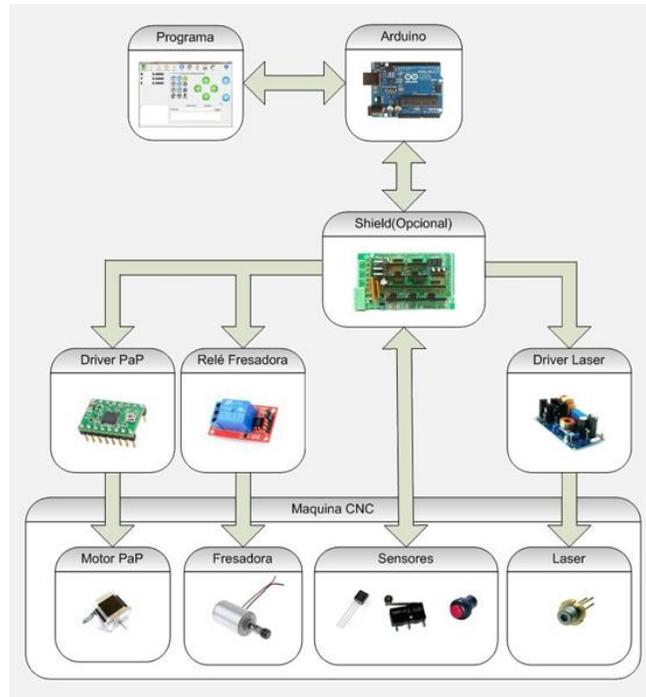


Figura 15. Esquema de control.

Recuperado de <http://www.instructables.com/id/Arduino-CNC/>

Para alimentar toda la electrónica se suele usar una fuente de alimentación de PC, estas fuentes tienen líneas de 12v que utilizaremos para alimentar los motores y líneas de 5v que podemos utilizar para alimentar la electrónica. Algunas fuentes de PC no entregan todo el amperaje que disponen si no están utilizadas las dos líneas de potencia, en este caso es necesario modificar la fuente para que pueda entregar todo el amperaje.

### 2.2.1 Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar (figura 15). Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 16. Tarjeta Arduino

Recuperado de <http://www.arduino.org/>

Con un tamaño medio, tiene 14 entradas/salidas digitales de las cuales 6 son PWM, además tiene 6 entradas analógicas. Posee una memoria de 32k para alojar programas. A este Arduino se le pueden colocar Shields que permiten conectar otros dispositivos. Para una maquina básica con 3 ejes, finales de carrera y una fresadora o laser, podemos usar tanto un Arduino UNO como un Arduino NANO, en cambio sí tenemos una maquina con más de 3 ejes, finales de carrera, sensores de temperatura y su control mediante ventiladora, una fresadora o laser, etc. necesitaremos un Arduino MEGA.

### 2.2.2 Shields

Una Shield es una placa impresa que se puede conectar en la parte superior de la placa Arduino permitiendo cambiar la disposición de los pines o ampliar las capacidades del mismo asignarlos a componentes que se encuentran en dicha placa (figura 16).

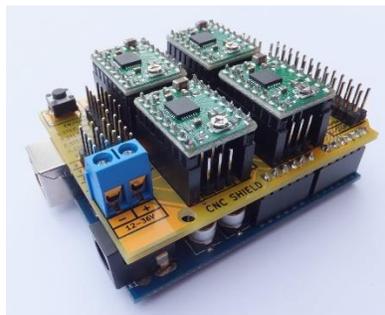


Figura 17. Shield drivers

Recuperado de <http://www.arduino.org/>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En las maquinas CNC las Shield permiten la conexión de los drivers, finales de carrera, sensores, etc. De una forma sencilla, permitiendo que todo esté más ordenado y accesible, ya que de otra forma se tendría que conectar cada uno de estos elementos directamente al Arduino.

Hay muchos tipos de shields ya que cada uno se puede construir su propia Shield para adaptar los dispositivos de su máquina, aunque existen Shield ya creadas por aficionados a estas máquinas. Estas pueden tener todos los componentes integrados en la misma placa, como los drivers de motores o bien pueden tener zócalos donde conectarlos. Entre las Shields comerciales tenemos la RAMP (Una Shield diseñada para impresoras 3D pero que se puede usar para otro tipo de máquinas), la CNC Shield o la ELFSHL1 Shield diseñada para un tipo de drivers en concreto.

### 2.2.3 Drivers

Un driver es un circuito electrónico que se usa para controlar otros circuitos o componentes, en el caso de las maquinas CNC tenemos como drivers fundamentales los drivers para controlar los motores P.A.P, y los drivers para controlar el láser o la fresadora, aunque también pueden existir otros tipos de drivers para otros dispositivos incluidos en la máquina, como sistema de aspiración, etc (figura 17).



*Figura 18. Driver A4988 pololu*

*Recuperado de <http://www.arduino.org/>*

Estos drivers son los encargados de manejar los motores PaP de la máquina, a partir de las señales recibidas por el arduino, envían las señales de potencia necesarias a las bobinas para su correcta activación. La forma básica de estos driver es un puente H, pudiéndose construir de forma casera a partir de los integrados L298. Es recomendable que estos drivers tengan un control de intensidad de corriente, para poder fijar la intensidad de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

corriente máxima que circulara por las bobinas de los motores, con lo que se tendría que añadir un integrado L297 para evitar daños en los motores por un exceso de amperaje. Aunque se pueden construir de forma casera, el bajo precio de estos drivers hace que no merezca la pena su construcción, con lo que podemos optar por alguno de los drivers comerciales que existen en el mercado, como son los A4988, los DRV8825 u otros.

Como se ha comentado anteriormente es necesario que los drivers tengan un control de intensidad de la corriente, otro dato a tener en cuenta es el tipo de motor que tenemos (bipolar o unipolar). A partir de aquí buscaremos los drivers que suministren la corriente necesaria para nuestros motores, por ejemplo, si tenemos unos motores que consumen 2A buscaremos unos drivers que soporten este amperaje, como los DRV8825.

## 2.3 El control numérico en la ingeniería

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales, son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes. En una máquina CNC una computadora controla los movimientos del sistema. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola. En síntesis, el término "control numérico" se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos; un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un programa de maquinado. Dándole las órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina, es decir, se considera control numérico a todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en el que las órdenes relativas a los desplazamientos del móvil son elaboradas en forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas definidas, bien manualmente o por medio de un programa.

### 2.3.1 Clasificación de los sistemas de control numérico

Estos se pueden dividir fundamentalmente en:

- Equipos de control numérico de posicionamiento o punto a punto.
- Equipos de control numérico de contorno.

En un sistema punto a punto, el control determina, a partir de la información

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

suministrada por el programa y antes de iniciarse el movimiento, el camino total a recorrer. Posteriormente se realiza dicho posicionamiento, sin importar en absoluto la trayectoria recorrida, puesto que lo único que importa es alcanzar con precisión y rapidez el punto en cuestión. Los sistemas de contorno gobiernan no sólo la posición final sino también el movimiento en cada instante de los ejes en los cuales se realiza la interpolación. En estos equipos es necesario que exista una sincronización perfecta entre los distintos ejes, controlándose, por tanto, la trayectoria real que debe seguir la herramienta. Con estos sistemas se pueden generar recorridos tales como rectas con cualquier pendiente, arcos de circunferencia, cónicas o cualquier otra curva definible matemáticamente. Estos sistemas se utilizan, sobre todo, en fresados complejos, torneados, etc. (Cam & Al, 1942)

### 2.3.2 Arquitectura del control numérico

Se pueden distinguir cuatro subconjuntos.

- Funcionalidad de entrada – salida de datos.
- Unidad de memoria interna e interpretación de órdenes.
- Unidad de cálculo.
- Servomecanismos.

Para la implementación de tecnología CAD-CAM para nuestro trabajo primero nos respaldaremos en trabajos ya realizados respecto al diagrama de flujo que se debe seguir para realizar la configuración de los diferentes parámetros y las instrucciones necesarias para programar la interfaz PC-maquina (Cnc, n.d.), en la configuración de esta interfaz debemos que tener en cuenta los drivers que vamos a utilizar que para nuestro caso serán los A4988 de pololu, estos drivers deben ser refrigerados o que cada uno cuente con disipador de calor.

La tarjeta electrónica que será nuestra interfaz PC-maquina será la tarjeta Arduino uno R3 la cual fue escogida por nuestro equipo de trabajo ya que es muy versátil a la hora de programar y cuenta con aplicaciones adicionales que otras tarjetas electrónicas no poseen ya que **Arduino** es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing /Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa. Desde octubre de 2012, Arduino se usa también con microcontroladores CortexM3 de ARM de 32 bits,<sup>5</sup> que coexistirán con las más limitadas,<sup>5</sup> pero también económicas AVR de 8 bits. ARM y AVR no son plataformas compatibles a nivel binario, pero se pueden programar

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

con el mismo IDE de Arduino y hacerse programas que compilen sin cambios en las dos plataformas. Eso sí, las microcontroladores CortexM3 usan 3,3V, a diferencia de la mayoría de las placas con AVR, que generalmente usan 5V. Sin embargo, ya anteriormente se lanzaron placas Arduino con Atmel AVR a 3,3V como la Arduino Fio y existen compatibles de Arduino Nano y Pro como Meduino en que se puede conmutar el voltaje. Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a software tal como Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data. Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente. Arduino puede tomar información del entorno a través de sus entradas analógicas y digitales, puede controlar luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un computador. La configuración del GRBL será lo más importante de nuestro proyecto ya que será la cual suministrara la comunicación del usuario con la máquina.

### 3. METODOLOGÍA

Inicialmente se realizó una recopilación acerca del tema de estudio utilizando diferentes fuentes de información tales como: internet, revistas y libros acerca de las máquinas de CNC identificando las etapas para el desarrollo de la máquina. Luego se realizó el diseño mecánico de la máquina, teniendo en cuenta diferentes aspectos tales como funcionamiento, cálculos de diseño de elementos mecánicos, selección de materiales utilizando el software Autodesk Inventor para el modelado en 3d de la máquina, para el análisis de esfuerzos y el diseño de la máquina. Después de tener definido el sistema Mecánico se procedió a diseñar el sistema eléctrico y electrónico, el cual consiste en la selección de motores, drivers, controlador, interface operario-máquina, en la configuración de esta interfaz debemos que tener en cuenta los drivers que vamos a utilizar que para nuestro caso serán los A4988 de pololu, estos drivers deben ser refrigerados o que cada uno tenga un disipador de calor. La tarjeta electrónica que será nuestra interfaz PC-maquina será la tarjeta Arduino uno R3 la cual fue seleccionada para este proyecto ya que en el mercado es una de las opciones de menor valor económico además cumple a la perfección con las necesidades del proyecto y lo que buscamos es que nuestra maquina tenga el menor costo posible para que así las pequeñas y medianas empresas la puedan adquirir de una manera más fácil, además es muy versátil a la hora de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

programar y cuenta con aplicaciones adicionales que otras tarjetas electrónicas no poseen ya que Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente. Una vez realizado el diseño, mecánico, eléctrico y de control se procedió a la fabricación de la máquina, para dicha fabricación se tomó la decisión de utilizar Abedul de 15 mm (madera) para su fabricación, por ser el primer prototipo y con el fin de obtener una máquina de bajo costo. Para obtener los diferentes elementos de la máquina se utilizó una Máquina circular, un taladro de mesa, cepillo de carpintería, taladro de mano para proceder al ensamble. Luego se procedió a ensamblar los elementos eléctricos, electrónicos y la selección del software **UNIVERSAL GCODE SENDER**, este software se encuentra disponible en internet. Finalmente se procedió a realizar ensayos en la máquina de CNC, para los primeros ensayos de la máquina se utilizó MDF, se utilizó una Fresa de 10 mm de diámetro de acero rápido, por pasada se dio una profundidad de 1mm. En la ilustración 24 se pueden apreciar los primeros ensayos realizados en la máquina de CNC.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Diseño

En el proceso de construcción de una maquina CNC tenemos que utilizar varias disciplinas, por un lado tenemos que usar la mecánica para fabricar el chasis de la máquina y el sistema de transmisión. Por otro lado tenemos que usar la electrónica para enviar las señales oportunas a los motores y otros dispositivos para que realicen el movimiento adecuado, esta electrónica tiene que estar controlada por un programa llamado *firmware* que como función principal tiene controlar la posición de los motores y de su movimiento, aunque puede tener otras funciones dependiendo de los dispositivos que tenga la máquina. Y por último tenemos el software que es el encargado de comunicar al usuario con el *firmware* para controlar la máquina de forma manual, o enviarle un conjunto de instrucciones en forma de programa, además también puede dar información relativa a la maquina o trabajo a realizar

Para la maquina CNC se utilizaron tornillos de potencia, donde se controla el giro del tornillo para el traslado de la tuerca como se puede apreciar en la figura 19.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

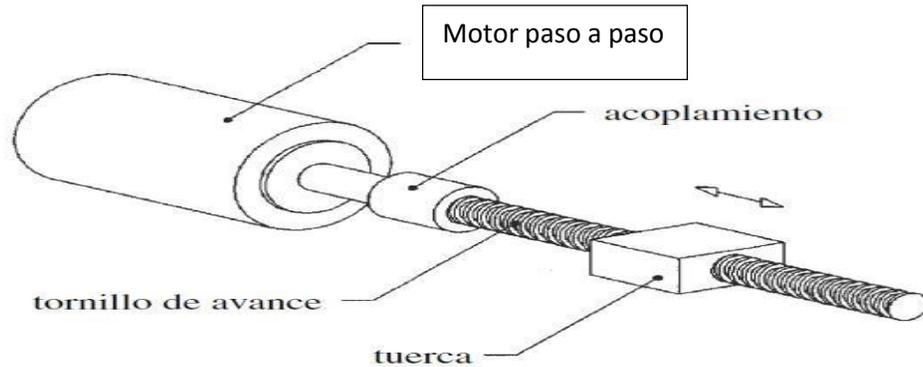


Figura 19. Sistema de tornillo – motor paso a paso.

Fuente: (Norton, 2011).

Como es una maquina CNC en 2.5D se necesitaran 3 tornillos, uno para cada eje y con diferentes longitudes descritas a continuación:

Para el eje X:

Desplazamiento=98 cm  $p=1,25$  mm

Total de pasos por vuelta=200  $T=18,35$  Kgf.Cm

Angulo de paso=  $1.8^\circ$  Carga a mover=6,6 kg

Para el eje Y:

Desplazamiento=46,5 cm  $p=1,25$  mm

Total de pasos por vuelta=200  $T=18,35$  Kgf.Cm

Angulo de paso=  $1.8^\circ$  Carga a mover=5,1 kg

Para el eje Z:

Desplazamiento =15 cm  $p=1,25$  mm

Total de pasos por vuelta =200  $T=5,6$  Kgf.Cm

Angulo de paso=  $1.8^\circ$  Carga a mover=1,5 kg

### 4.1.1 Análisis de torque y fuerza en un tornillo de potencia

Se utilizaron tornillos de potencia de rosca cuadrada con un paso igual a 1,25 mm hechos de hierro dúctil Grado 60 y de la siguiente tabla se sacan los siguientes datos:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para el hierro dúctil Grado 60:

St=414 Mpa

Sy=276 Mpa E=152 Gpa

% de elongación: 18 % De la tabla 1:

d= 8 mm dr=6,47 mm At=36, 61 mm<sup>2</sup>

P=1, 25 mm

El coeficiente de fricción del hierro para trabajar con hierro (tuerca) y el del rodamiento es:

$\mu$  húmedo=0,05  $\mu$  seco=0,15 -0,2

$\mu$  Rodamiento = 0,02

Todos los tornillos poseen un solo hilo o rosca

#### 4.1.1.1 Carro del eje X

Carga a mover o desplazar

$$Px = mx * g \quad (9)$$

$$Px = 6,6kg * 9,81 \frac{m}{s} = 64,74 N$$

Fuerza aplicada al tornillo

$$Fx = 64,74N * \frac{(0,15)\cos 1.8 + \text{sen} 1.8}{\cos 1.8 - (0,15)\text{sen} 1.8}$$

$$Fx = 11,8 N$$

Torque de avance

$$T_{desplazar} = \frac{(P)(dp)}{2} \left[ \frac{\mu \pi dp - L}{\pi dp - \pi L} \right] \quad (10)$$

$$T_{rodamiento} = \mu c * Pcarga * \frac{dc}{2}$$

Y para ISO de la ecuación (3) y (4):

$$dp = d - 0,649519p$$

$$dr = d - 1,299038p$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Entonces:

$$dp = d - 0,649519p$$

$$dp = 8mm - 0,649519(1,25mm) = 7,1881 mm \cong 7,1881E - 3$$

Y el avance será:

$$Tg\lambda = \frac{Lx}{\pi * dp} \quad (11)$$

Despejando de la ecuación (11):

$$Lx = Tg\lambda * \pi * dp$$

$$Lx = Tg 1.8 * \pi * 7,1881mm = 0,7096mm \cong 0,7096E - 4$$

$$T_{desplazar} = \frac{(64,74N)(0,007181)}{2} \left[ \frac{(0,15) * \pi * 0,0071881 - 0,0007096}{\pi * 0,0071881 - (0,15)(0,0007096)} \right]$$

$$T_{desplaza} = 0,0276Nm$$

$$T_{rodamiento} = (0,02) * 64,74N * \frac{0,00635}{2}$$

$$T_{rodamiento} = 0,0411099N.m$$

$$T_{total} = 0,0276Nm + 0,0411099N.m = 0,06870Nm$$

Como se puede apreciar es más grande el torque que se debe generar por fricción en el rodamiento que en el tornillo y la tuerca.

Torque de acercamiento:

$$T_{acercar} = \frac{(64,7N)(0,007181)}{2} \left[ \frac{(0,15) * \pi * 0,0071881 - 0,0007096}{\pi * 0,0071881 + (0,15)(0,0007096)} \right] + (0,02)(111.834N)\left(\frac{0,00635}{2}\right)$$

$$T_{acercar} = 0,02742N.m + 0,0411099N.m = 0,06853N.m$$

El esfuerzo en el tornillo será:

$$\sigma_t = \frac{F}{At}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\sigma_t = \frac{11,8 N}{3,661 \times 10^{-5}} = 322,4 \text{ Kpa}$$

Factor de seguridad (N):

$$N = \frac{S_y}{\sigma_t} \quad (12)$$

$$N = \frac{276 \text{ Mpa}}{322,4 \text{ Kpa}} = 856,1 \text{ OK}$$

El esfuerzo cortante en el tornillo y la rosca es el mismo porque  $w_i = w_o$

$$A_s = \pi * (6,47 \text{ mm}) * (0,50) * (1,25 \text{ mm}) = 12,7035 \text{ mm}^2 \cong 1,27 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{11,8 N}{0,0000127 \text{ mm}^2} = 0,929 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad (N):

$$N = \frac{0,5 S_y}{\tau} = \frac{0,5 (276 \text{ Mpa})}{0,929 \text{ Mpa}} = 148,54 \text{ OK}$$

#### 4.1.1.2 Carro del eje Y

Carga a mover o desplazar

$$P_y = m z * g \quad (13)$$

$$P_y = 5,1 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 50,03 \text{ N}$$

Fuerza aplicada al tornillo

$$F_y = 50,03 \text{ N} * \frac{(0,15) \cos 1.8 + \text{sen} 1.8}{\cos 1.8 - (0,15) \text{sen} 1.8}$$

$$F_y = 9,1178 \text{ N}$$

Torque de avance

$$T_{\text{desplazar}} = \frac{(P)(dp)}{2} \left[ \frac{\mu \pi dp - L}{\pi dp - \pi L} \right]$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$T_{\text{rodamiento}} = \mu c * P_{\text{carga}} * \frac{dc}{2}$$

Y para ISO de la ecuación (3) y (4):

$$dp = d - 0,649519p$$

$$dr = d - 1,299038p$$

Entonces:

$$dp = d - 0,649519p$$

$$dp = 8\text{mm} - 0,649519(1,25\text{mm}) = 7,1881\text{ mm} \cong 7,1881E - 3$$

De la ecuación (11), el avance será:

$$Tg\lambda = \frac{Ly}{\pi * dp}$$

$$Ly = Tg\lambda * \pi * dp$$

$$Ly = Tg 1.8 * \pi * 7,1881\text{mm} = 0,7096\text{mm} \cong 0,7096E - 4$$

$$T_{\text{desplazar}} = \frac{(50,03N)(0,007181)}{2} \left[ \frac{(0,15) * \pi * 0,0071881 - 0,0007096}{\pi * 0,0071881 - (0,15)(0,0007096)} \right]$$

$$T_{\text{desplazar}} = 0,02145N.m$$

$$T_{\text{rodamiento}} = (0,02) * 50,03N * \frac{0,00635}{2}$$

$$T_{\text{rodamiento}} = 0,0031769N.m$$

$$T_{\text{total}} = 0,02145N.m + 0,0031769N.m = 0,024626 N.m$$

Como se puede apreciar es más grande el torque que se debe generar por fricción en el rodamiento que en el tornillo y la tuerca.

Torque de acercamiento:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$T_{acercar} = \frac{(50,03N)(0,007181)}{2} \left[ \frac{(0,15) * \pi * 0,0071881 - 0,0007096}{\pi * 0,0071881 + (0,15)(0,0007096)} \right] + (0,02)(50,03N) \left( \frac{0,00635}{2} \right)$$

$$T_{acercar} = 0,02125N.m + 0,0031769N.m = 0,02443 N.m$$

El esfuerzo en el tornillo será:

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t}$$

$$\sigma_t = \frac{9,1178 N}{3,661 \times 10^{-5}} = 249,05 \text{ Kpa}$$

Factor de seguridad (N):

$$N = \frac{S_y}{\sigma_t} = \frac{276 \text{ Mpa}}{249,05 \text{ Kpa}} = 110,82 \text{ OK}$$

El esfuerzo cortante en el tornillo y la rosca es el mismo porque  $w_i = w_o$

$$A_s = \pi * (6,47mm) * (0,50) * (1,25mm) = 12,7035mm^2 \cong 1,27 \times 10^{-5} mm^2$$

$$\tau = \frac{9,1178 N}{0,0000127m^2} = 718 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad (N):

$$N = \frac{0,5 S_y}{\tau} = \frac{0,5 (276Mpa)}{718 \text{ Mpa}} = 192,2 \text{ OK}$$

### 4.1.1.3 Carro del eje Z

Carga a mover o desplazar

$$P_z = m_z * g$$

$$P_z = 1,5 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s} = 14,72 \text{ N}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fuerza aplicada al tornillo

$$F_z = 14,72 \text{ N} * \frac{(0,15)\cos 1.8 + \text{sen} 1.8}{\cos 1.8 - (0,15)\text{sen} 1.8}$$

$$F_z = 2,6829 \text{ N}$$

Torque de avance

$$T_{\text{desplazar}} = \frac{(P)(dp)}{2} \left[ \frac{\mu \pi dp - L}{\pi dp - \pi L} \right]$$

$$T_{\text{rodamiento}} = \mu c * P_{\text{carga}} * \frac{dc}{2}$$

Y para ISO:

$$dp = d - 0,649519p$$

$$dr = d - 1,299038p$$

Entonces:

$$dp = d - 0,649519p$$

$$dp = 8\text{mm} - 0,649519(1,25\text{mm}) = 7,1881 \text{ mm} \cong 7,1881E - 3$$

Y el avance será:

$$Tg\lambda = \frac{Ly}{\pi * dp}$$

$$Ly = Tg\lambda * \pi * dp$$

$$Lz = Tg 1.8 * \pi * 7,1881\text{mm} = 0,7096\text{mm} \cong 0,7096E - 4$$

$$T_{\text{desplazar}} = \frac{(2,6829\text{N})(0,007181)}{2} \left[ \frac{(0,15) * \pi * 0,0071881 - 0,0007096}{\pi * 0,0071881 - (0,15)(0,0007096)} \right]$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$T_{desplazar} = 0,001149 \text{ N.m}$$

$$T_{rodamiento} = (0,02) * 14,72N * \frac{0,00635}{2}$$

$$T_{rodamiento} = 0,00093472 \text{ N.m}$$

$$T_{total} = 0,001149 \text{ N.m} + 0,00093472 \text{ N.m} = 0,00208372 \text{ N.m}$$

Como se puede apreciar es más grande el torque que se debe generar por fricción en el rodamiento que en el tornillo y la tuerca.

Torque de acercamiento:

$$T_{acercar} = \frac{(14,72N)(0,007181)}{2} \left[ \frac{(0,15) * \pi * 0,0071881 - 0,0007096}{\pi * 0,0071881 + (0,15)(0,0007096)} \right] + (0,02)(14,72N)\left(\frac{0,00635}{2}\right)$$

$$T_{acercar} = 0,02125N.m + 0,0031769N.m = 0,02443 \text{ N.m}$$

El esfuerzo en el tornillo será:

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t}$$

$$\sigma_t = \frac{9,1178 \text{ N}}{3,661 \times 10^{-5}} = 249,05 \text{ Kpa}$$

Factor de seguridad (N):

$$N = \frac{S_y}{\sigma_t} = \frac{276 \text{ Mpa}}{249,05 \text{ Kpa}} = 110,82 \text{ OK}$$

El esfuerzo cortante en el tornillo y la rosca es el mismo porque  $w_i = w_o$

$$A_s = \pi * (6,47\text{mm}) * (0,50) * (1,25\text{mm}) = 12,7035\text{mm}^2 \cong 1,27 \times 10^{-5} \text{mm}^2$$

$$\tau = \frac{9,1178 \text{ N}}{0,0000127\text{m}^2} = 718 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad (N):

$$N = \frac{0,5 S_y}{\tau} = \frac{0,5 (276\text{Mpa})}{718 \text{ Mpa}} = 192,2 \text{ OK}$$

Tabla 3. Velocidades y avances para diferentes materiales.

MATERIAL A TRABAJAR	FRESAS NORMALES			Fresado con coronas de cuchillas		
	Marca Widia	V = metros minuto	H = avance por diente	Marca Widia	V = metros minuto	H = avance por diente
Acero hasta 75 kg/mm <sup>2</sup>	s 1	100—120	0,02—0,0	s 1	150—250	0,02—0,05
	s 3	40—50	0,05—0,5	s 3	40—60	0,05—0,15
Acero 75 - 110 kg/mm <sup>2</sup>	s 1	80—100	0,02—0,03	s 1	120—150	0,02—0,05
	s 3	25—35	0,05—0,1	s 3	40—50	0,05—0,15
Acero 110 - 125 kg/mm <sup>2</sup>	s 1	60—80	0,02—0,03	s 1	80—120	0,02—0,05
	s 3	20—30	0,02—0,05	s 3	30—35	0,05—0,08
Acero de más 125 kg/mm <sup>2</sup>	s 1	30—50	0,01—0,03	s 1	50—70	0,02—0,03
	s 3	15—20	0,02—0,05	s 3	20—25	0,02—0,05
Acero Fundido hasta 50 kg/mm <sup>2</sup>	s 1	100—120	0,02—0,05	s 1	150—250	0,02—0,05
	s 3	40—50	0,05—0,1	s 3	40—60	0,05—0,15
Acero Fundido más de 70 kg/mm <sup>2</sup>	s 1	80—100	0,02—0,03	s 1	120—150	0,02—0,05
	s 3	25—35	0,05—0,1	s 3	40—50	0,05—0,15
Fundición Gris hasta 200 Brinell	G 1	50—60	0,1 —0,15	G 1	120—180	0,1 —0,2
Fundición Gris más de 200 Brinell	H 1	30—40	0,05—0,1	H 1	35—45	0,05—0,1
Fundición roja, Bronce, Latón	G 1	80—100	0,05—0,1	G 1	100—250	0,1 —0,15
Metales ligeros	G 1	100—800	0,1 —0,15	G 1	800—1.500	0,1 —0,25
Aleaciones de aluminio	G 1	50—70	0,05—0,15	G 1	200—500	0,1 —0,2
Materiales plásticos	G 1	80—100	0,05—0,1	G 1	100—200	0,1 —0,2
Acero INOXIDABLE	s 1	60—80	0,01—0,03	s 1	80—100	0,02—0,03
	s 3	20—30	0,02—0,05	s 3	30—35	0,02—0,05
METAL MONEL	s 1	70—90	0,01—0,03	s 1	90—110	0,02—0,03
	s 3	30—40	0,02—0,03	s 2	40—50	0,02—0,05

FUENTE: A.L casillas (2001)

Seleccionamos aluminio que es el material más duro que va a mecanizar la máquina. Ahora utilizamos la siguiente formula:

$$R.P.M = V P D F \pi \quad (14)$$

Dónde:

$V_P$  = Velocidad periferica de corte.

$D_F$  = Diametro minimo de la fresa a utilizar.

$$R.P.M = V P D F \pi = (1000mm) (50mm) / 2(\pi) = 7957,74 R.P.M$$

- Calculo del avance mínimo de la maquina aplicamos la siguiente formula.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$F=0,19(M) (N_D) (W) \quad (15)$$

$M=$ Avance por diente (tabla 1).

$W=$ Velocidad R.P.M  $N_D=$ Numero de dientes

$$F=0,19 (0,05) (2) (7957,74) F=151,19 \text{ mm-min}$$

- Calculo de la potencia del husillo.

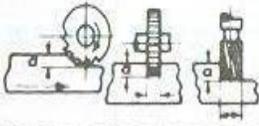
$$P_H= (P_C) (A_F)(F)/100(V_C) \quad (16)$$

$P_C=$ Profundidad de (Tabla 2)

$A_F=$ Ancho de fresa

$V_C=$ Volumen de (Tabla 3)

Tabla 4. Profundidad de corte.

	Profundidades de fresado «a» y ancho de corte		
	Fresado en terminación y con pasada única	Fresado en desbaste	Fresado en Afinado
1. Fresas Cilíndricas.	Todo el ancho de la fresa, $a = 3 \text{ mm}$ .	Todo el ancho de la fresa, $a = 5-8 \text{ mm}$ .	Todo el ancho de la fresa, $a = 1 \text{ mm}$ .
2. Fresas Frontales.	Ancho = al diámetro de la fresa, $a = 3 \text{ mm}$ .	La mitad del diámetro de la fresa, $a = 5 \text{ mm}$ .	Igual al diámetro de la fresa, $a = 1 \text{ mm}$ .
3. Fresas Frontales de mango.	Igual al diámetro de la fresa, $a = 2 \text{ mm}$ .	La mitad del diámetro de la fresa, $a = 4 \text{ mm}$ .	Igual al diámetro de la fresa, $a = 0,5 \text{ mm}$ .
4. Fresas de disco.	$a =$ Ancho de la fresa como máximo	$a =$ a la mitad del ancho de la fresa	$a = 5 \%$ del ancho de la fresa
5. Fresas de forma.	$a =$ Todo el perfil en pequeñas formas	$a = 1 \cdot$ Pasada 45 % altura, $2 \cdot 45 \%$	$a = 10 \%$ de la altura de su forma

FUENTE: A.L Casillas (2001), Máquinas, ed 36, p. 597

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 5. Volumen cortado por minuto.

MATERIAL A FRESAR	C = Volumen cortado en cm <sup>3</sup> /kW minuto
Acero de 40-60 kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	14
Acero de 60-85 kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	12
Acero de 85-110 kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	10
Acero de 110-180 kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	8
Fundición blanda 180 Brinell . . . . .	25
Fundición Semidura 200 Brinell . . . . .	20
Latón . . . . .	40
Bronce corriente. . . . .	30
Bronce Fosforoso . . . . .	20
Aluminio . . . . .	65
Aleaciones de Aluminio. . . . .	50

FUENTE: A.L Casillas (2001), Máquinas, ed 36, p. 597

$$PH = \frac{(PC)(AF)(F)}{100(VC)} \quad (17)$$

PH= 0,15119Kw  
 Pasando de KW a Hp  
 PH=0,2Hp

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4.2 Selección de rodamientos

Se selecciona el rodamiento según la descripción de fabricante para cada aplicación SCS 25UU

Tabla 6. Rodamientos.

Unit Designation	Dimensions ( mm )													Slide bush			Weight ( kg/m )
	T	h	E	W	L	F	G	B	C	K	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	Designation	Basic load rating		
															Dynamic C <sub>r</sub>	Static C <sub>0r</sub>	
SCS 6UU	6	9	15	30	25	18	15	20	15	5	M4	3.4	8	LM 6UU	206	265	34
SCS 8UU	6	11	17	34	30	22	18	24	18	5	M4	3.4	8	LM 8UU	274	392	52
SCS 10UU	8	13	20	40	35	26	21	28	21	6	M5	4.3	12	LM 10UU	372	549	92
SCS 12UU	8	15	21	42	36	28	24	30.5	26	5.75	M5	4.3	12	LM 12UU	510	784	102
SCS 13UU	8	15	22	44	39	30	24.5	33	26	5.5	M5	4.3	12	LM13UU	510	784	120
SCS 16UU	9	19	25	50	44	38.5	32.5	36	34	7	M5	4.3	12	LM 16UU	774	1180	200
SCS 20UU	11	21	27	54	50	41	35	40	40	7	M6	5.2	12	LM 20UU	882	1370	255
SCS 25UU	12	26	38	76	67	51.5	42	54	50	11	M8	7	18	LM 25UU	980	1570	600
SCS 30UU	15	30	39	78	72	59.5	49	58	58	10	M8	7	18	LM 30UU	1570	2740	735
SCS 35UU	18	34	45	90	80	68	54	70	60	10	M8	7	18	LM 35UU	1670	3140	1100
SCS 40UU	20	40	51	102	90	78	62	80	60	11	M10	8.7	25	LM 40UU	2160	4020	1590
SCS 50UU	25	52	61	122	110	102	80	100	80	11	M10	8.7	25	LM 50UU	3820	7940	3340
SCS 60UU	30	58	66	132	122	114	94	108	90	12	M10	10.7	25	LM 60UU	4700	10000	4270
SCS 8LUU	6	11	17	34	58	22	18	24	42	5	M4	3.4	8	LM 8LUU	274	392	0.1
SCS 10LUU	8	13	20	40	68	26	21	28	456	6	M5	4.3	12	LM 10LUU	372	549	0.18
SCS 12LUU	8	15	21	42	70	28	24	30.5	50	5.75	M5	4.3	12	LM 12LUU	510	784	0.20
SCS 13LUU	8	15	22	44	75	30	24.5	33	50	5.5	M5	4.3	12	Lm13LUU	510	784	0.23
SCS 16LUU	9	19	25	50	85	38.5	32.5	36	60	7	M5	4.3	12	LM 16LUU	774	1180	0.39
SCS 20LUU	11	21	27	54	96	41	35	40	70	7	M6	5.2	12	LM 20LUU	882	1370	0.49
SCS 25LUU	12	26	38	76	130	51.5	42	54	100	11	M8	7	18	LM 25LUU	980	1570	1.165
SCS 30LUU	15	30	39	78	140	59.5	49	58	110	10	M8	7	18	LM 30LUU	1570	2740	1.43
SCS 35LUU	18	34	45	90	155	68	54	70	120	10	M8	7	18	LM 35LUU	1670	3140	2.13
SCS 40LUU	20	40	51	102	175	78	62	80	140	11	M10	8.7	25	LM 40LUU	2160	4020	3.09
SCS 50LUU	25	52	61	122	215	102	80	100	160	11	M10	8.7	25	LM 50LUU	3820	7940	6.53
SCS 60LUU	30	58	66	132	240	114	94	108	180	12	M12	10.7	25	LM 60LUU	4700	10000	9.29

Fuente: (NORTON, 2011).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 4.3 Análisis de tensión

## Informe de análisis de tensión fuerza aplicada en carro.



Archivo analizado:	Ensamblaje1.iam
Versión de Autodesk Inventor:	2016 (Build 200138000, 138)
Fecha de creación:	11/12/2016, 2:50 p. m.
Autor de la simulación:	Leandro Saldarriaga
Resumen:	

#### Información de proyecto (iProperties)

##### *Resumen*

Autor	Leandro Saldarriaga García
-------	----------------------------

##### *Proyecto*

Nº de pieza	Ensamblaje1
Diseñador	Leandro Saldarriaga García
Coste	\$0,00
Fecha de creación	11/12/2016

##### *Estado*

Estado del diseño	Trabajo en curso
-------------------	------------------

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **Propiedades físicas**

*Tabla 7. Propiedades de la estructura de la maquina CNC.*

Masa	12.4658 kg
Área	2316570 mm <sup>2</sup>
Volumen	15126800 mm <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=635.761 mm y=145.511 mm z=-189.999 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

## **Simulación: 1**

### **Objetivo general y configuración:**

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de simulación	Análisis estático
Fecha de la última modificación	11/12/2016, 2:43 p. m.
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

### **Configuración de malla:**

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

## Material(es)

*Tabla 8. Propiedades de materiales de la estructura de la maquina CNC.*

Nombre	Madera (abedul)	
General	Densidad de masa	0.55 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	56.3 MPa
	Resistencia máxima a tracción	6.3 MPa
Tensión	Módulo de Young	10.3 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.0001 su
	Módulo cortante	5.14949 GPa
Nombre(s) de pieza	Base frontal eje X base lateral Base frontal eje X base lateral Brazos eje y Brazos eje y soporte carro atrás Soporte base mecanizado	
Nombre	Acero, carbono	
General	Densidad de masa	7.85 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	350 MPa

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	Resistencia máxima a tracción	420 MPa
Tensión	Módulo de Young	200 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.29 su
	Módulo cortante	77.5194 GPa
Nombre(s) de pieza	Eje A-36 1m Eje A-36 1m Eje A-36 397 Eje A-36 397	
Nombre	Aluminio 6061	
General	Densidad de masa	2.7 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	275 MPa
	Resistencia máxima a tracción	310 MPa
Tensión	Módulo de Young	68.9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.33 su
	Módulo cortante	25.9023 GPa
Nombre(s) de pieza	Rodamiento lineal Rodamiento lineal Rodamiento lineal Rodamiento lineal	

### Condiciones de funcionamiento

#### *Gravedad*

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9810.000 mm/s <sup>2</sup>
Vector X	-0.000 mm/s <sup>2</sup>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Vector Y	-9810.000 mm/s <sup>2</sup>
Vector Z	-0.000 mm/s <sup>2</sup>

Cara(s) seleccionada(s)



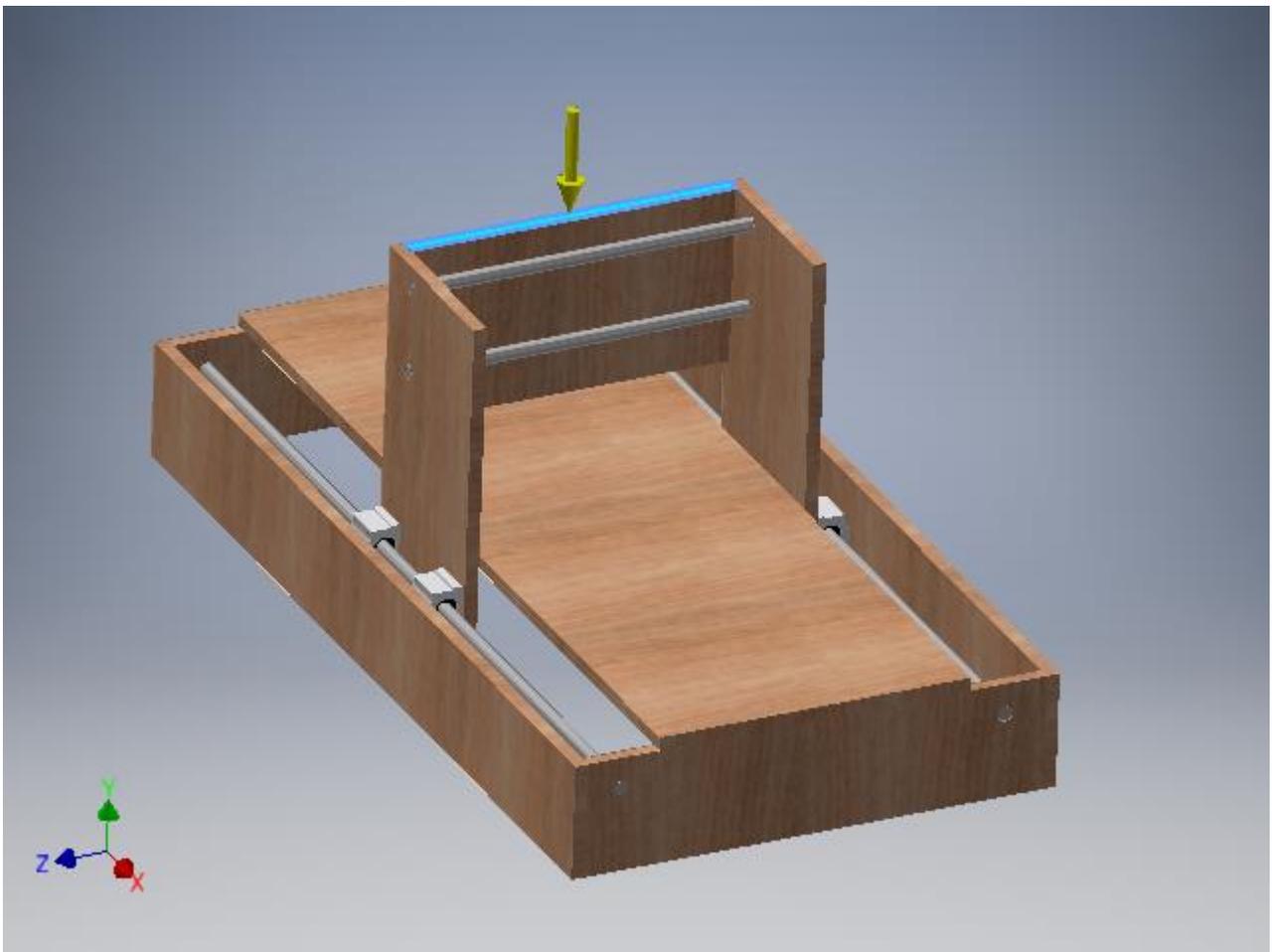
*Ilustración 1. CNC carga aplicada gravedad.*

**Fuerza: 1**

Tipo de carga	Fuerza
---------------	--------

Magnitud	50.000 N
Vector X	-0.000 N
Vector Y	-50.000 N
Vector Z	-0.000 N

Cara(s) seleccionada(s)



*Ilustración 2. Carga aplicada en carro para un peso de 5 kg, 50N.*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Resultados

Tabla 9. Fuerza y pares de reacción en restricciones.

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	171.979 N	0 N	24.2479 N m	-23.4137 N m
		171.979 N		-1.75817 N m
		0 N		-6.05549 N m

Tabla 10. Tabla de resultados.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	15126800 mm <sup>3</sup>	
Masa	12.8774 kg	
Tensión de Von Mises	0.0000583814 MPa	54.2138 MPa
Desplazamiento	0 mm	1.88967 mm
Coefficiente de seguridad	6.45593 su	15 su
Desplazamiento X	-0.0628218 mm	0.0747067 mm
Desplazamiento Y	-1.88827 mm	0.00370413 mm
Desplazamiento Z	-0.654926 mm	0.033427 mm
Deformación equivalente	0.0000000042643 su	0.0004702 su

Tensión de Von Mises

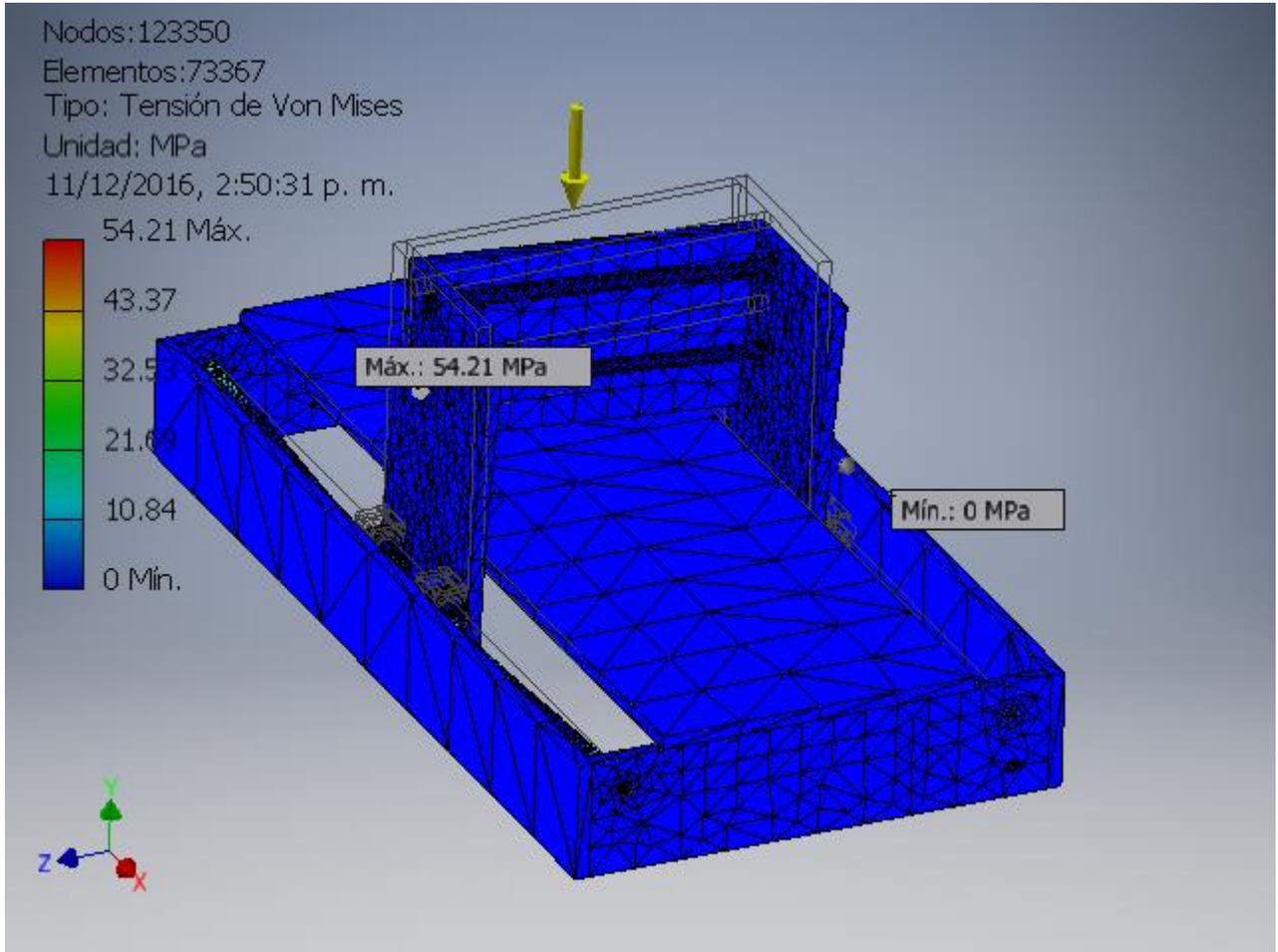


Ilustración 3. Tensión de Von Mises.

Desplazamiento

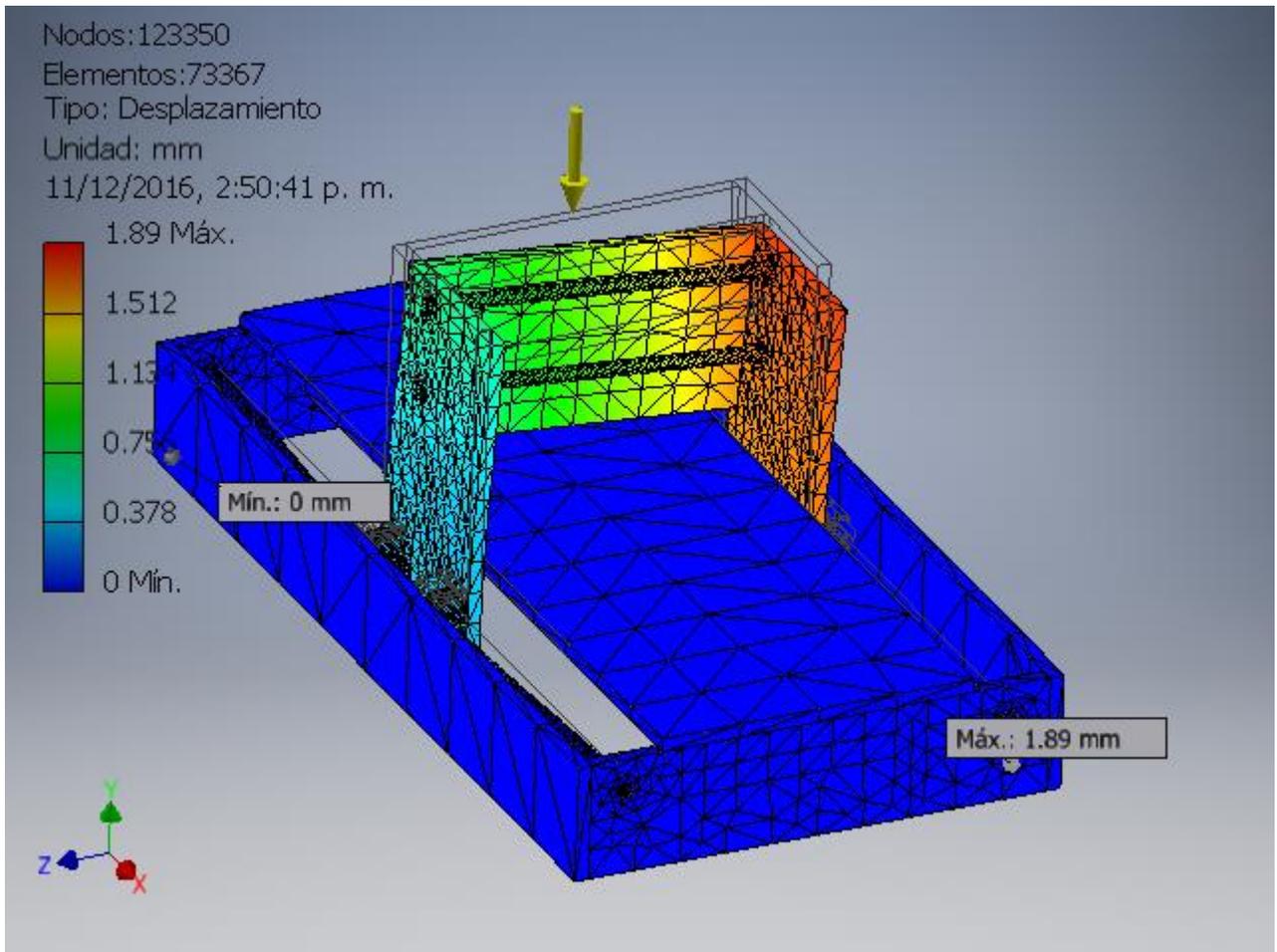


Ilustración 4. Desplazamiento de la estructura de la maquina al aplicar carga.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Coefficiente de seguridad

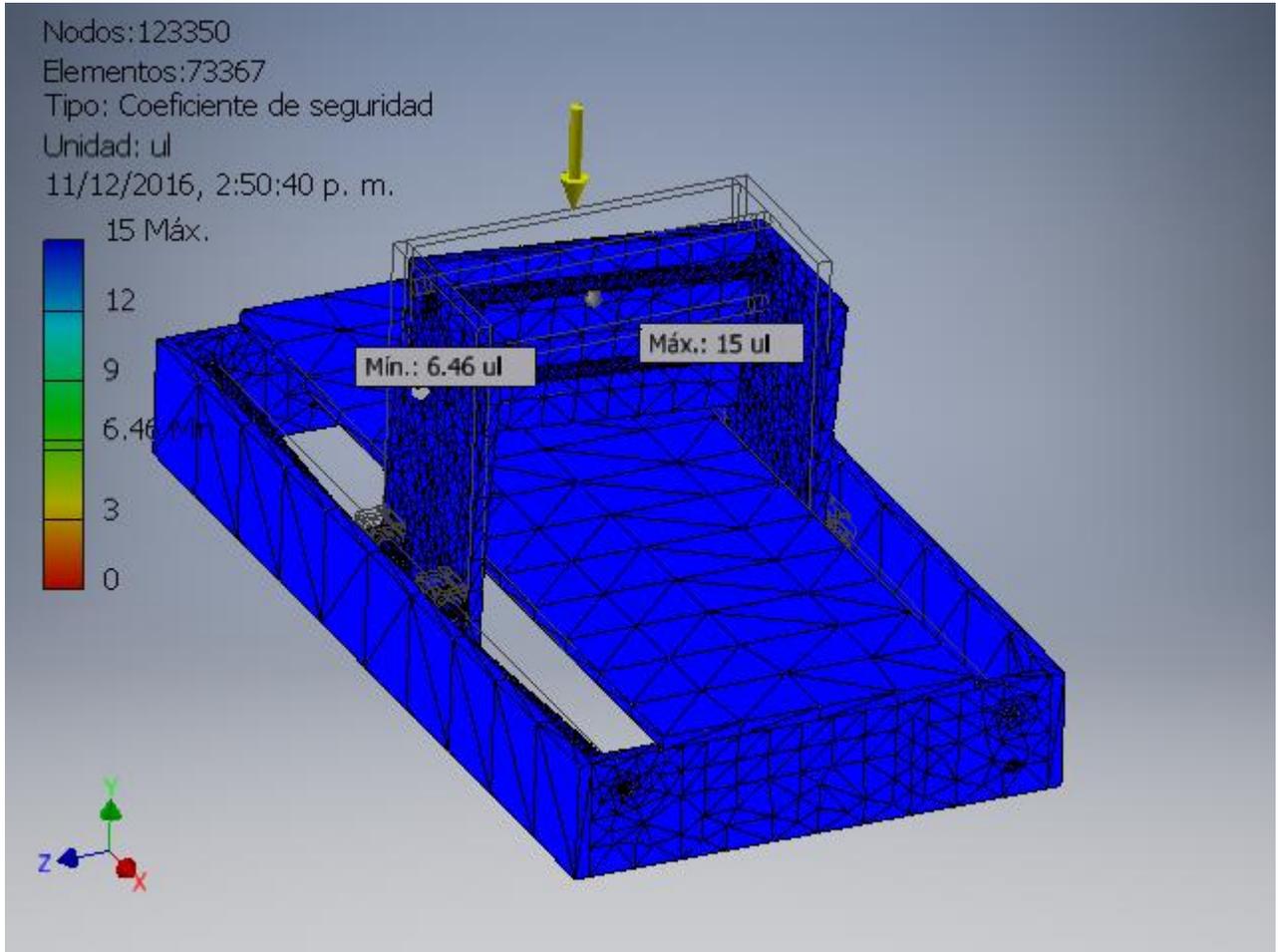
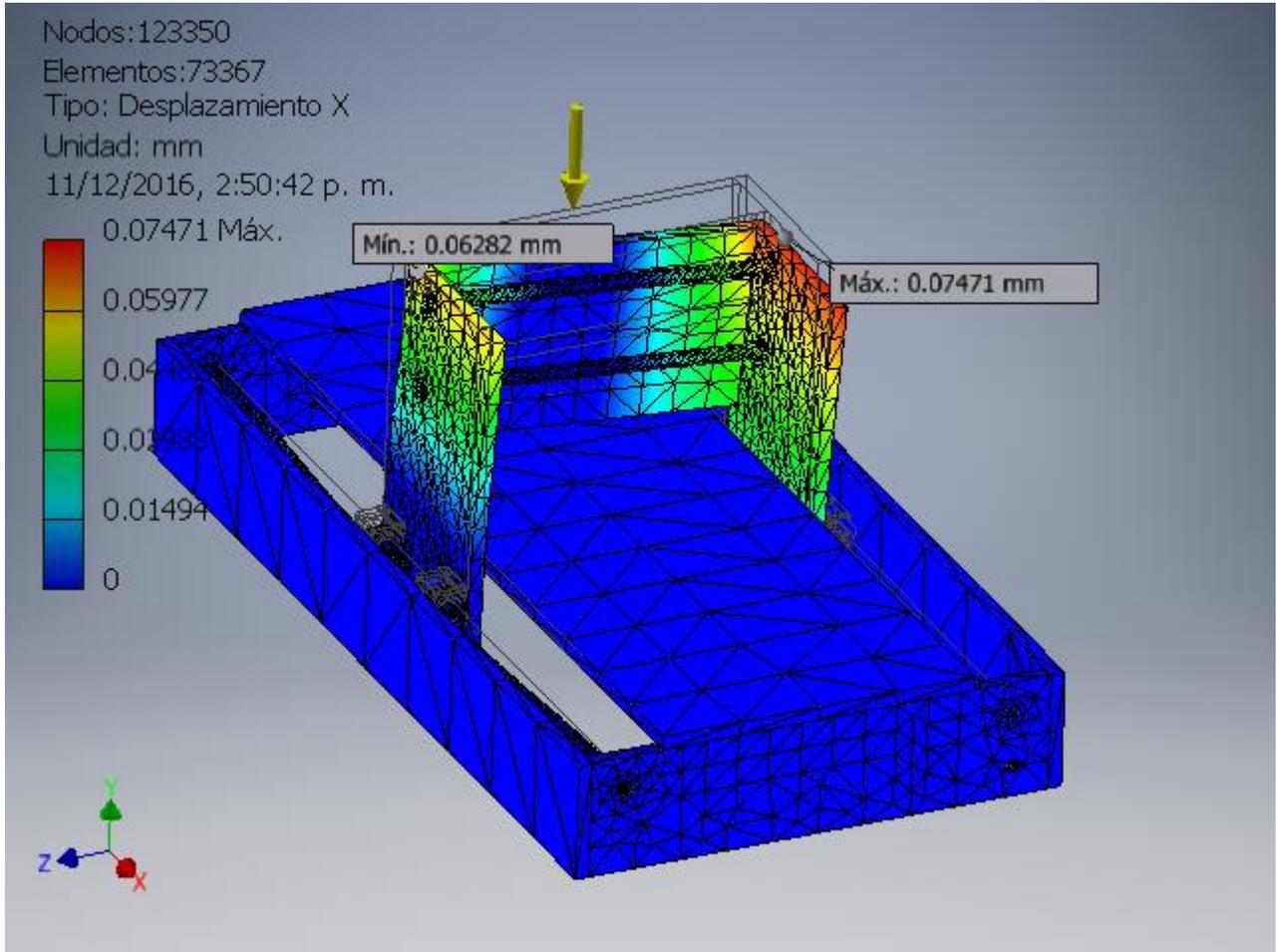


Ilustración 5. Coeficiente de seguridad en puntos críticos del sistema.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Desplazamiento X



*Ilustración 6. Desplazamiento en plano X al aplicar carga*

Desplazamiento Y

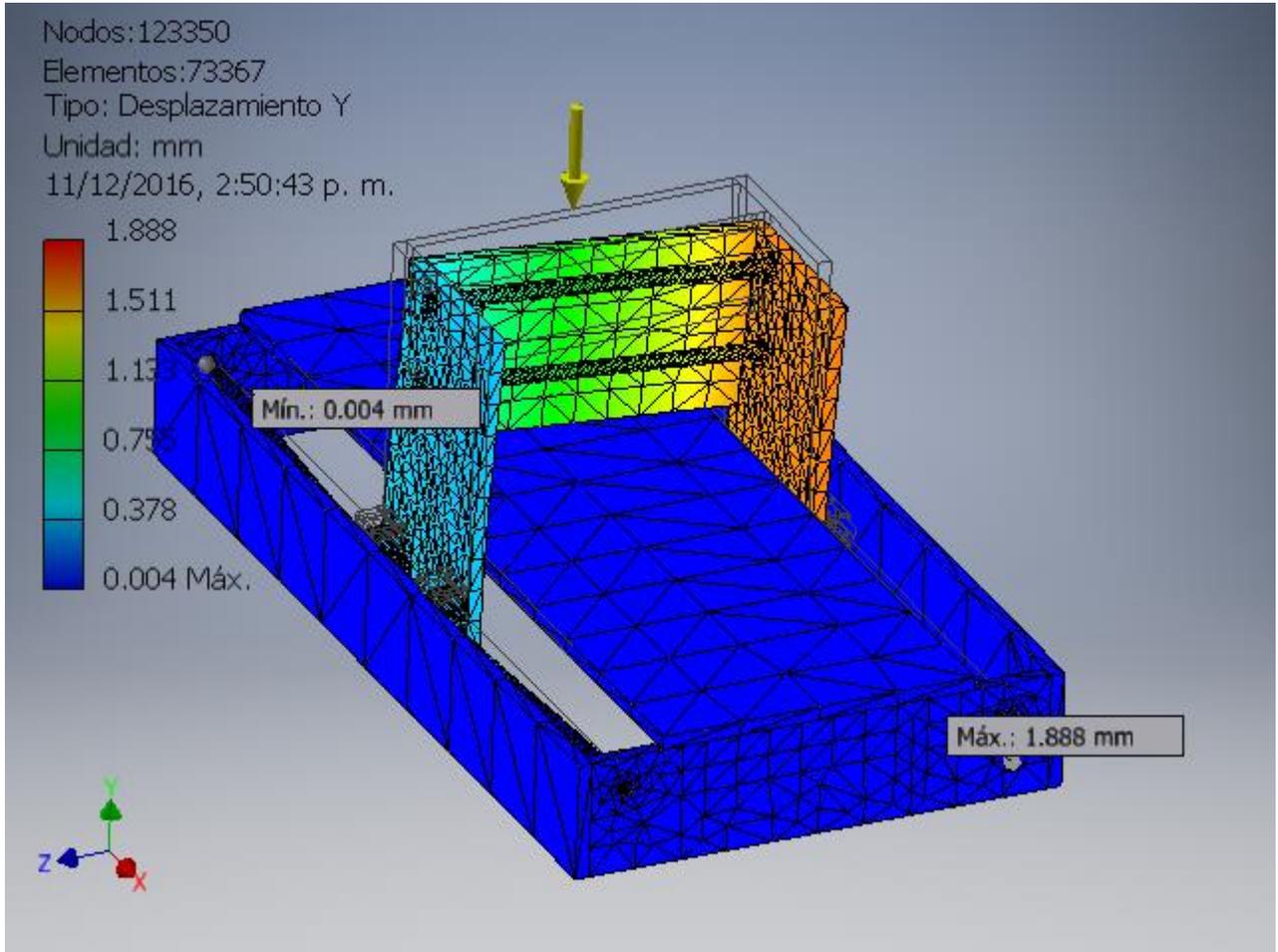


Ilustración 7. Desplazamiento en plano Y al aplicar carga

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Desplazamiento Z

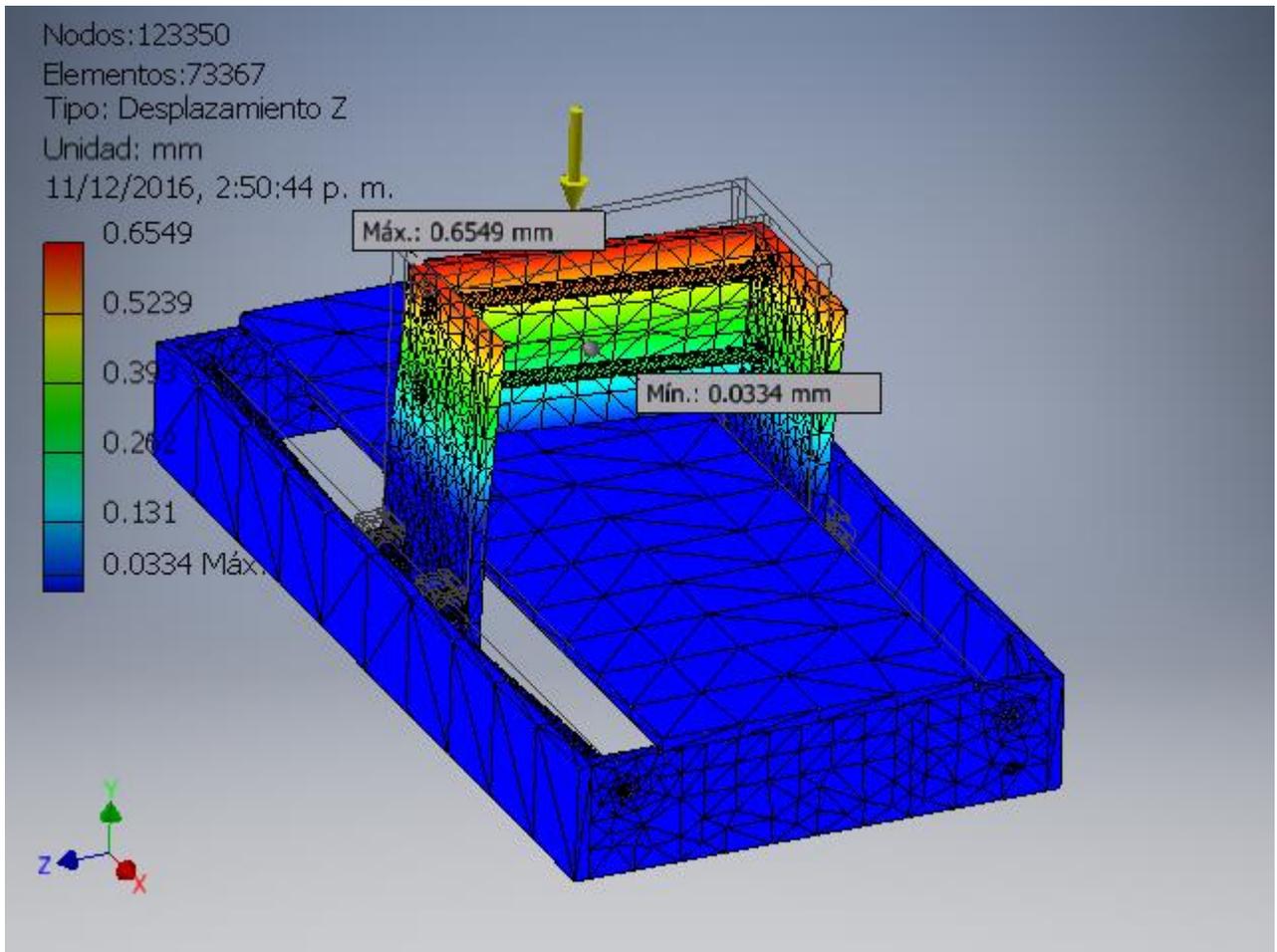
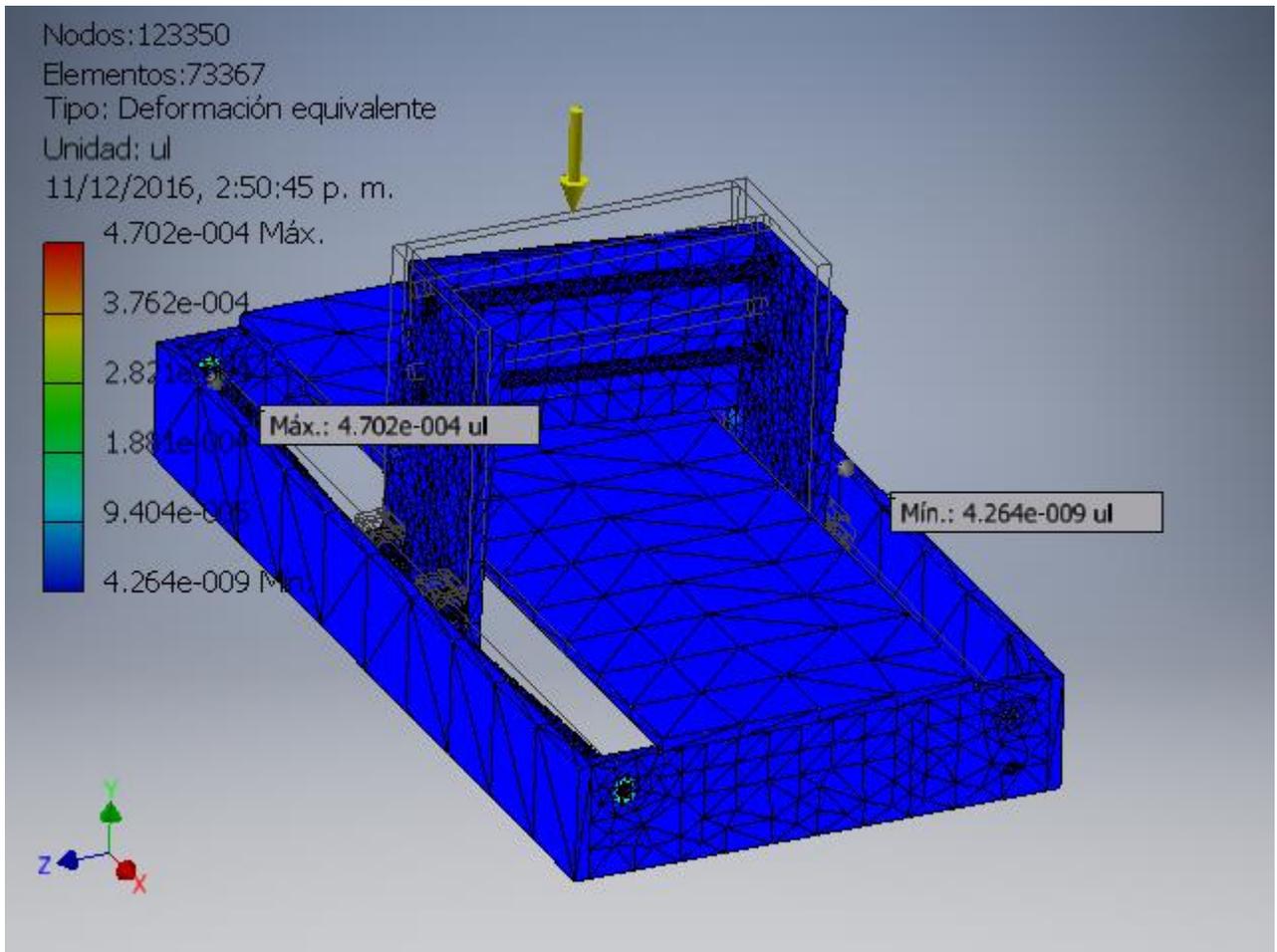


Ilustración 8. Desplazamiento en plano Z al aplicar carga.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Deformación equivalente



*Ilustración 9. Deformación equivalente del sistema.*

D:\DOCS\Desktop\---Leo---\Diseño estructural CNC\Ensamblaje1.iam

Analizando la ilustración (5), Con el diseño original en madera tenemos un factor de seguridad en el punto más crítico del sistema de **6.45593 cumple**.

Según la ilustración (7), El máximo desplazamiento es de 1.88967 mm y se da en el plano (Y) lo cual no afecta el correcto funcionamiento de la máquina, por ende el sistema cumple.

## Simulación: 2

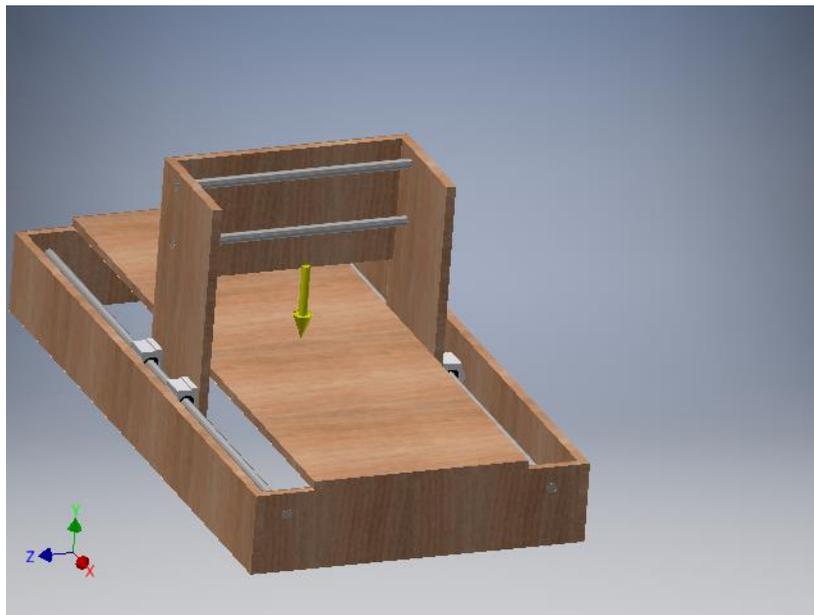
El objetivo de la simulación 2 es determinar el peso permitido en el área de trabajo, importante resaltar que esta simulación se realiza bajo los mismos parámetros de la simulación 1, solo cambia la carga aplicada.

### Condiciones de funcionamiento

#### *Gravedad*

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9810.000 mm/s <sup>2</sup>
Vector X	-0.000 mm/s <sup>2</sup>
Vector Y	-9810.000 mm/s <sup>2</sup>
Vector Z	0.000 mm/s <sup>2</sup>

Cara(s) seleccionada(s)

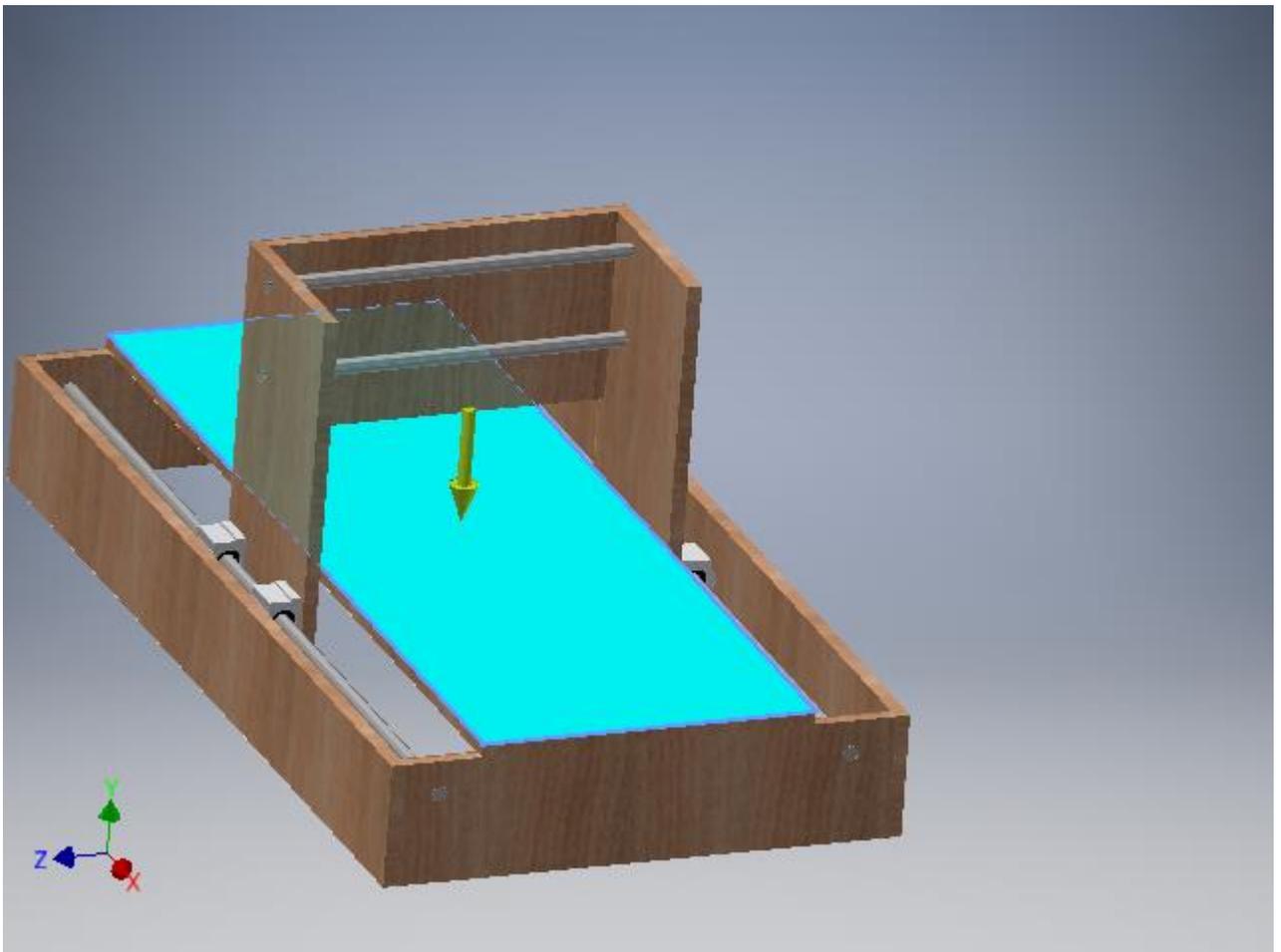


*Ilustración 10. Gravedad aplicada.*

**Fuerza: 1**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	71.000 N
Vector X	-0.000 N
Vector Y	-71.000 N
Vector Z	0.000 N

Cara(s) seleccionada(s)



*Ilustración 11. Carga aplicada para un peso de 7Kg, 70N*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Resultados

*Tabla 11. Fuerzas de pares de reacción en restricciones de la segunda simulación.*

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	192.979 N	0 N	13.5831 N m	-13.3654 N m
		192.979 N		-0.548128 N m
		0 N		-2.359 N m

*Tabla 12. Resumen de resultados.*

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	15126800 mm <sup>3</sup>	
Masa	12.8774 kg	
Tensión de Von Mises	0.000143084 MPa	29.6595 MPa
Desplazamiento	0 mm	1.13867 mm
Coefficiente de seguridad	11.8006 su	15 su
Desplazamiento X	-0.0166199 mm	0.0638511 mm
Desplazamiento Y	-1.13799 mm	0.00194037 mm
Desplazamiento Z	-0.365423 mm	0.0180053 mm
Deformación equivalente	0.00000000690547 su	0.00024672 su

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

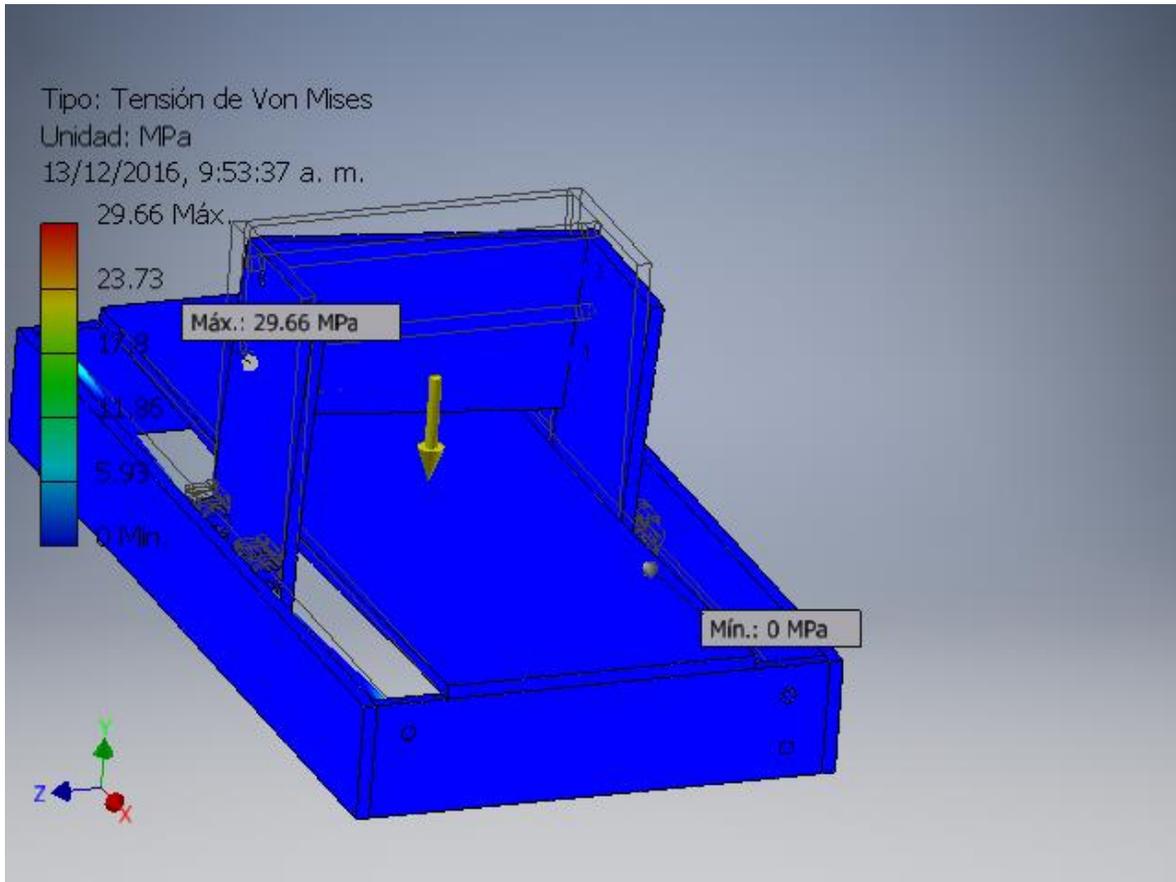
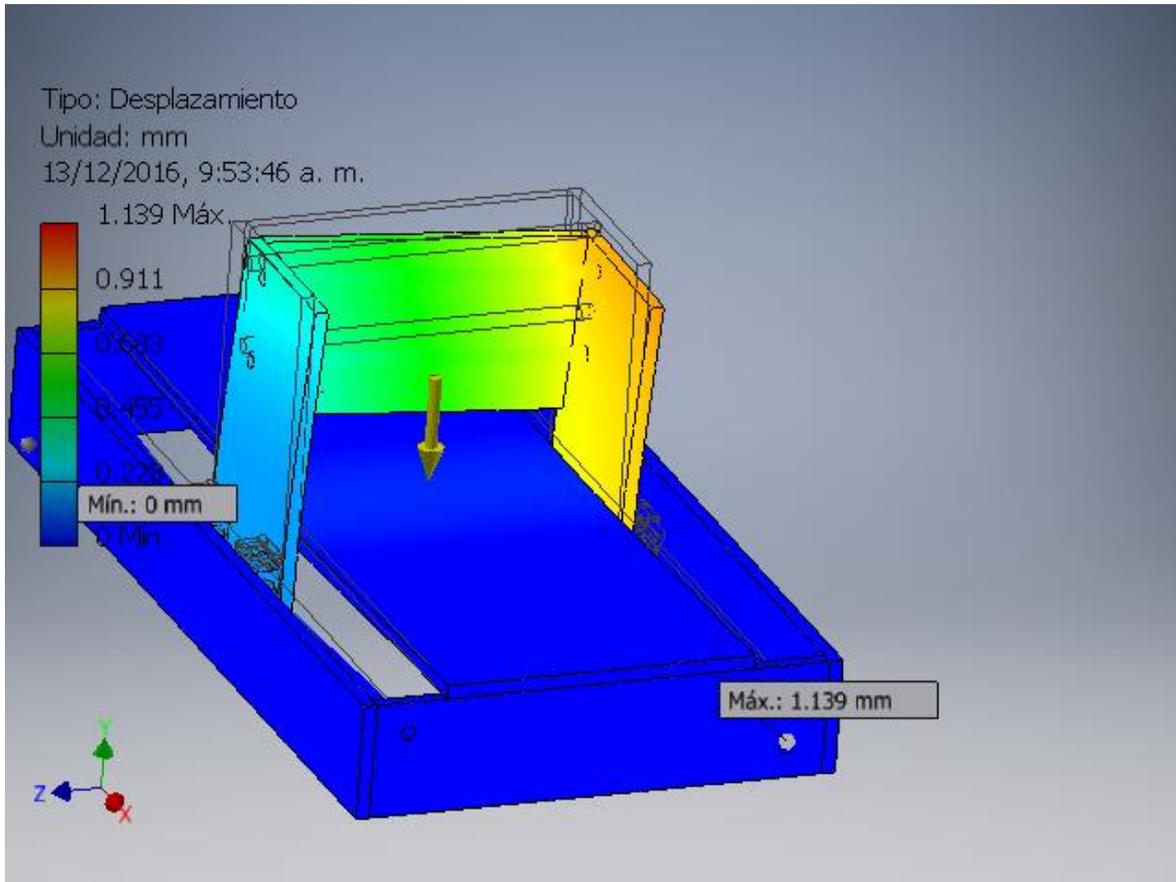


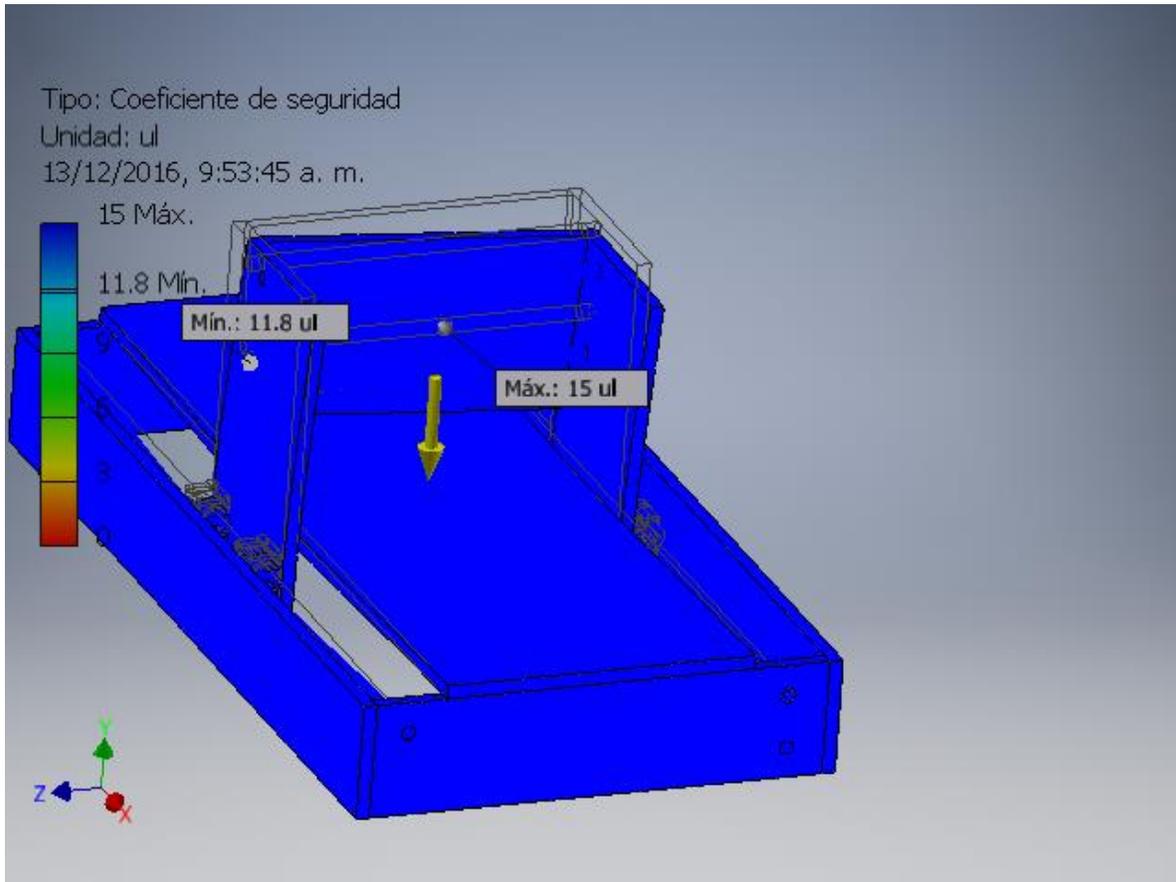
Ilustración 12. Tensión Von Mises.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



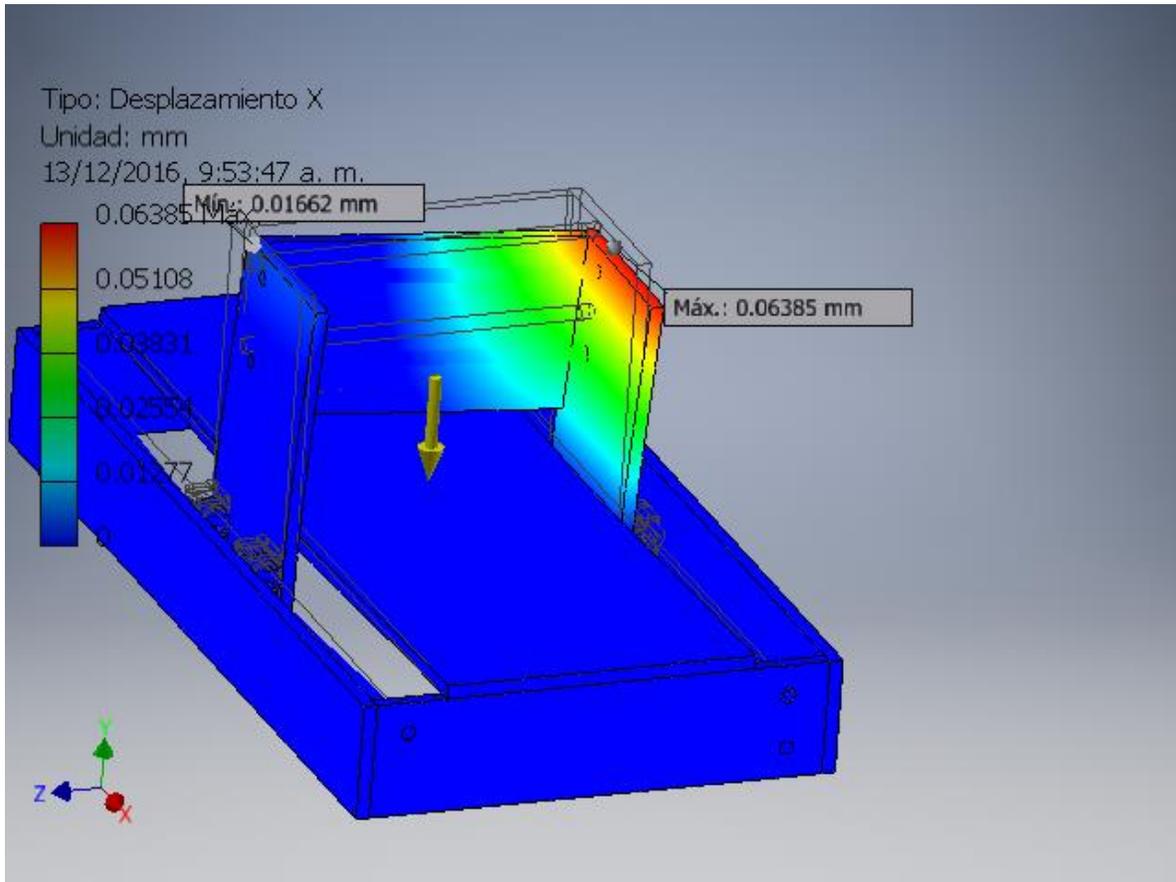
*Ilustración 13. Desplazamiento al aplicar carga en área de trabajo*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Ilustración 14. Coeficiente de seguridad en puntos críticos del sistema.*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Ilustración 15. Desplazamiento en plano X al aplicar carga de 70N en área de trabajo.*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

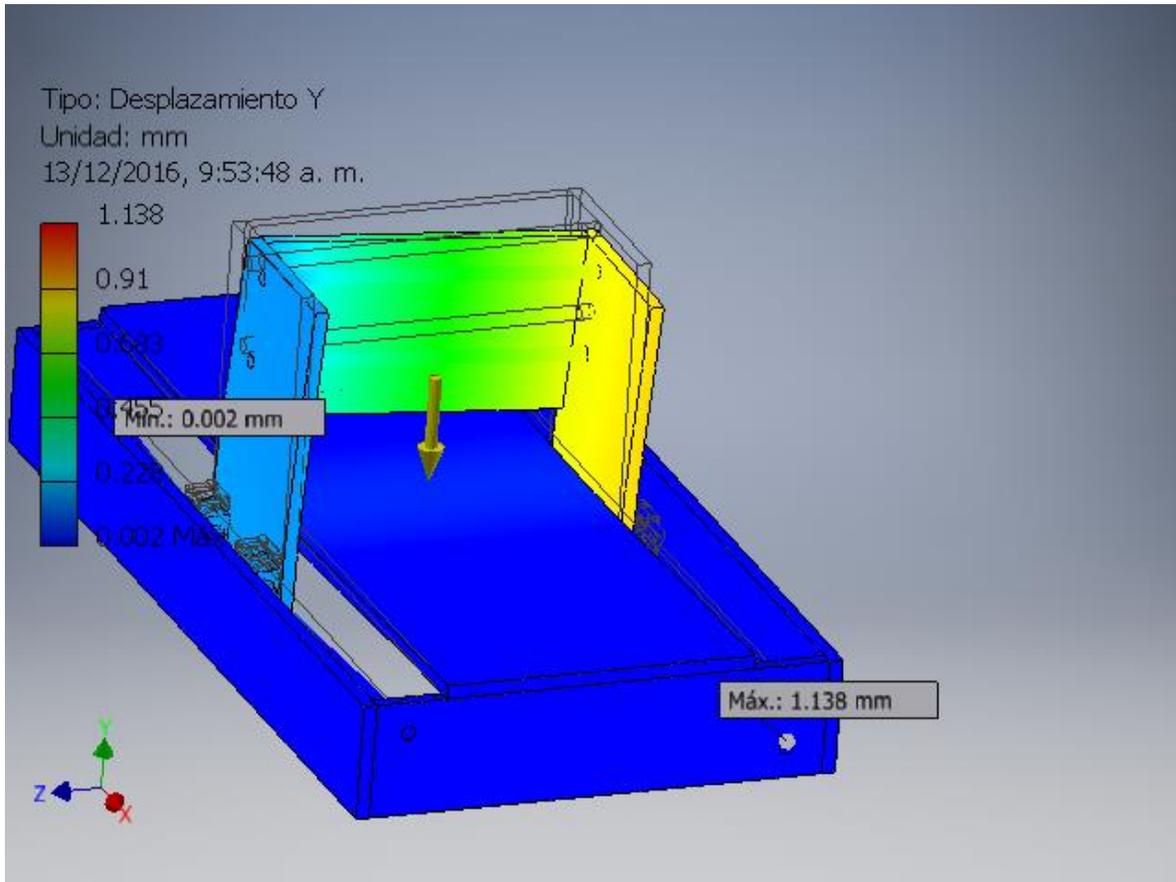
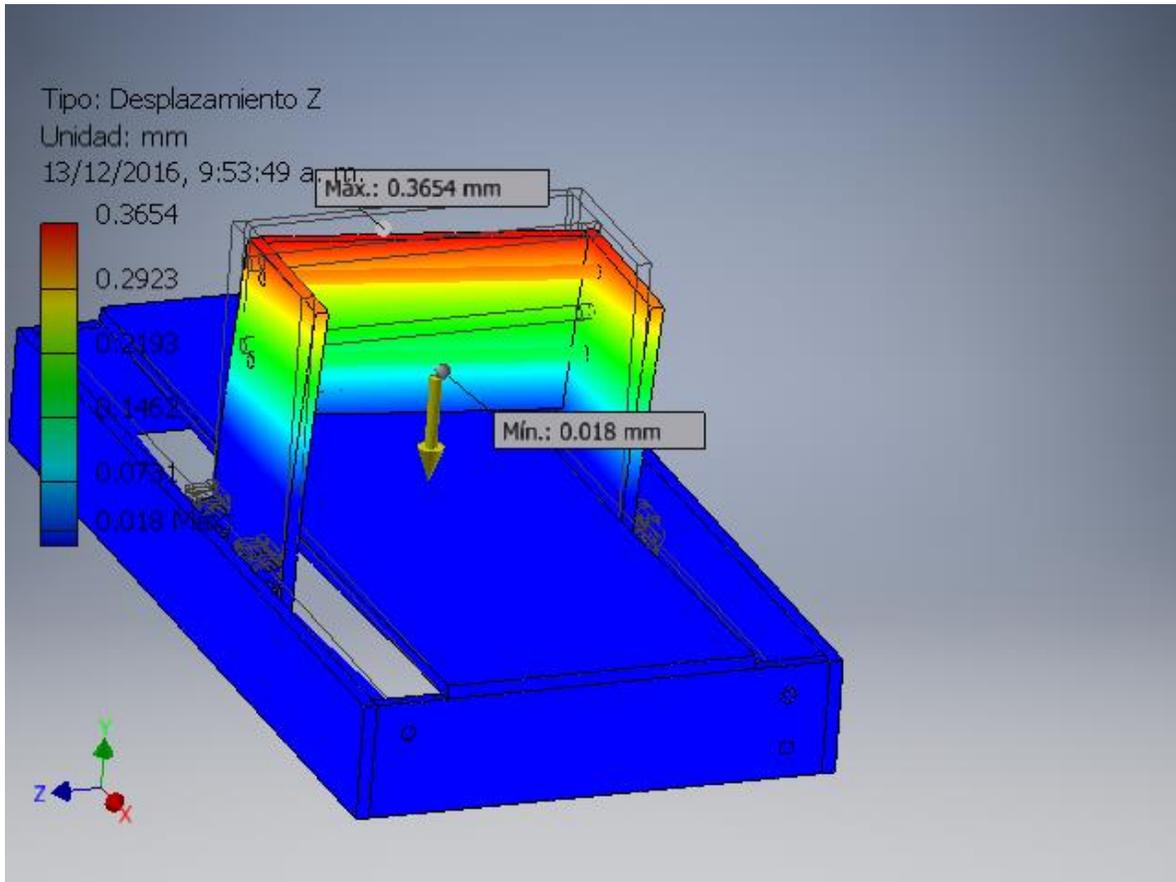


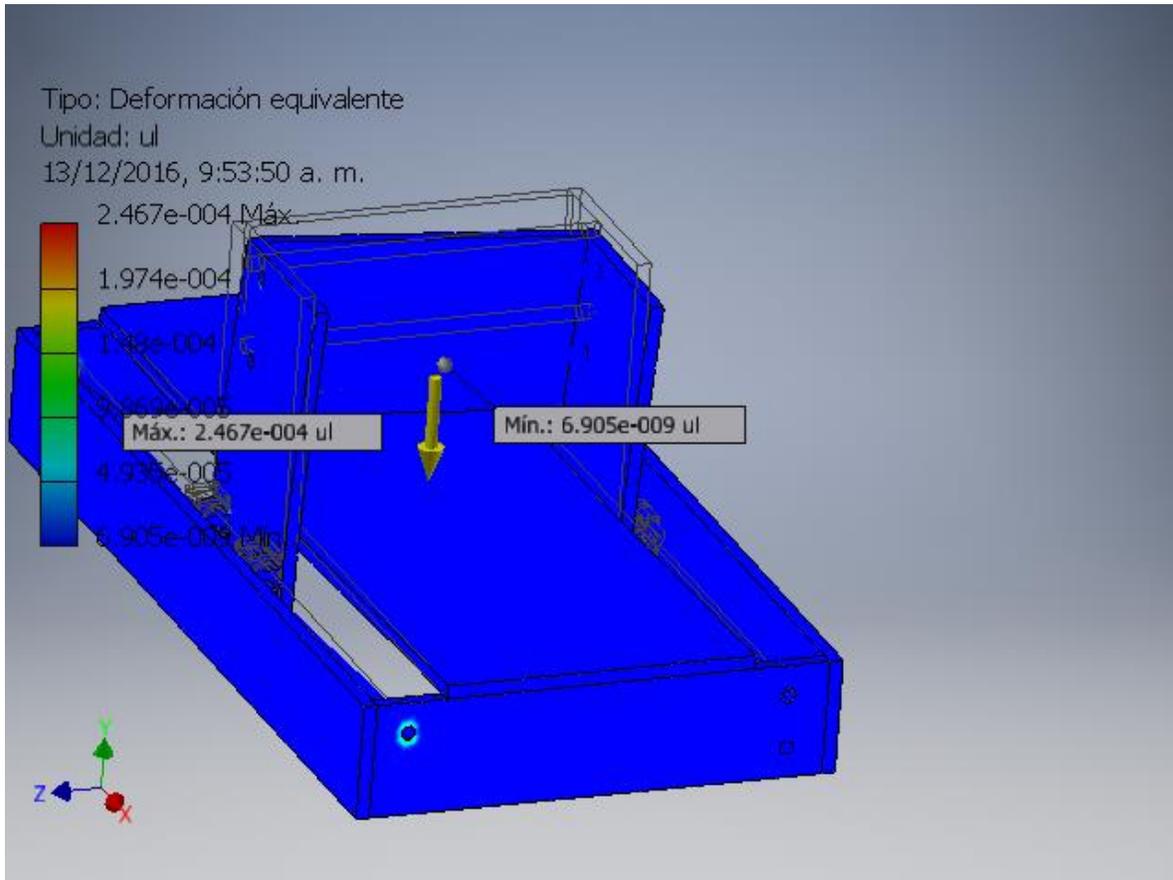
Ilustración 16. Desplazamiento en plano Y al aplicar carga de 70N.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Ilustración 17. Desplazamiento en plano Z al aplicar carga de 70N.*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Ilustración 18. Deformación equivalente.*

Analizando los resultados obtenidos del análisis de la segunda simulación en la tabla (12) y observando la ilustración (16), podemos observar que en plano Y ocurre el máximo desplazamiento al aplicar la carga y es en un soporte del eje, dicho **desplazamiento es de 1,14 mm lo cual no afecta el correcto funcionamiento de la máquina, cumple.**

Al observar el coeficiente de seguridad de 11 en el punto más crítico del sistema registrado en la tabla de resultados (tabla 12) de la simulación 2, y analizado la ilustración (14), se determina que la estructura cumple con las condiciones óptimas de funcionamiento. **Cumple.**

#### 4.4 Especificaciones técnicas de la máquina.

Apoyados en el análisis de tensión realizado podemos suministrar las siguientes especificaciones técnicas:

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Las dimensiones de la maquina son de 1m x 0,5m x 0,3m (x, y, z).
- Con un avance máximo por eje de 600 mm/s
- El paso del tornillo es de 1mm (avance) y de 10mm de diámetro
- Con capacidad para mecanizar plásticos, acrílicos, maderas, aluminio y algunos aceros blandos.
- Los ejes de la máquina son de 5/8" y están contruidos con acero cold rolled 1020 laminado en frio debido a que es muy comercial, económico y cumple con las especificaciones necesarias para la máquina, con una resistencia a la tensión de 380 MPa. (Cam & Al, 1942)
- Peso permitido para el área de trabajo 7Kg, (tabla 11).

## 4.5 Selección de motores y drivers.

Al analizar los resultados del torque total a desplazar obtenido en el ítem 4.1.1, en el cual se dan los siguientes de torque total para cada eje.

Torque eje x =0,06870Nm

Torque eje y =0,024626Nm

Torque eje z =0,00208372Nm

Para el torque hallado en el eje X y en el eje Y se seleccionó el motor 57BYG250C, tabla 12.

*Tabla 13. Datos técnicos de motor para eje X – eje Y*

Modelo	57BYG250C
Longitud	7.6 cm
Ancho y altura	5,7 cm
Angulo de paso	1.8° (5% de precisión)
Total de pasos vuelta	200
Voltaje nominal	24V
Corriente nominal	3A
Torque	18,35 Kg.cm
Tamaño eje	8mm diámetro x 19mm de longitud

Recuperado de <https://www.vistronica.com/robotica/motores/motor-paso-a-paso-1835kgrcm-detail.html>

El motor proporciona el rendimiento dinámico requerido por la máquina.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 20. Motor paso a paso para eje X – eje Y*

*Recuperado de <https://www.vistronica.com/robotica/motores/motor-paso-a-paso-1835kgrcm-detail.html>*

Se selecciona este motor tanto para el eje X como para el eje Y, porque son los ejes que más trabajo desempeñan a la hora de mecanizar materiales blandos.

Para el torque hallado en el eje Z, se seleccionó el motor SL42STH48-1504<sup>a</sup>, (tabla13)

*Tabla 14. Datos técnicos de motor eje Z*

Modelo	SL42STH48-1504A
Longitud	4.7cm
Ancho y altura	5,7 cm
Angulo de paso	1.8°
Total de pasos vuelta	200
Voltaje nominal	2.8V
Corriente nominal	1.68A
Torque	5,6 Kg.cm
Tamaño eje	5mm diámetro x 20mm de longitud

*Recuperado de <https://www.vistronica.com/robotica/motores/motor-paso-a-paso/motor-paso-a-paso-56kgcm-nema-17-para-impresora-3d-detail.html>*

El motor proporciona el rendimiento dinámico requerido por la máquina.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 21. Motor P.A.P para eje Z (5,6Kg.cm)*

*Recuperado de <https://www.vistronica.com/robotica/motores/motor-paso-a-paso/motor-paso-a-paso-56kgcm-nema-17-para-impresora-3d-detail.html>*

El eje Z es el que menos trabajo realiza al mecanizar, por eso se selecciona un motor con menor torque.

Para la selección de los drivers se debe tomar en cuenta la corriente nominal de cada motor. Para determinar el driver de los motores del eje X y eje Y, se toman en cuenta los valores de la tabla 12, donde se observa que la corriente nominal del motor 57BYG250C son 3A, por ende seleccionamos el driver TB6560 (tabla 14).

*Tabla 15. Datos técnicos de driver seleccionado para motores del eje X y eje Y.*

Modelo	TB6560
Voltaje de funcionamiento	10V~35V (24V recomendado)
Corriente de funcionamiento	3A
opto acoplador	6N137
Motor P.A.P	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos fases</li> <li>• Cuatro fases</li> <li>• Seis hilos</li> </ul>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Segmentación (16 máximo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paso completo</li> <li>• Medio paso</li> <li>• 1/8 de paso</li> <li>• 1/16 de paso</li> </ul>
--------------------------	--

*Recuperado de <https://www.vistronica.com/robotica/motores/drivers-de-motores/driver-motores-paso-a-paso-tb6560-de-3a-detail.html>*

Con la interfaz de pulso / dirección, constituye la solución perfecta para tareas de posicionamiento básico en conjunto con los controladores convencionales.

Este controlador de motores paso a paso es ajustable/regulable permitiendo satisfacer la necesidad del usuario dependiendo de la aplicación a llevar a cabo, es de un uso sencillo, usa acoplamiento óptico mediando el 6N137 de alta velocidad para garantizar que esta no influya en pérdidas en el control de pasos que el motor proporciona. El mismo módulo tiene impreso sobre su board instrucciones de uso para llevar a cabo conexiones de la manera adecuadamente. Trae consigo un disipador de calor el cual permite que el módulo se mantenga a una temperatura adecuada y el funcionamiento del mismo no se vea afectado, es implementado en máquinas de grabado, máquinas de SMT y otros equipos, pero hay que tener en cuenta que no tiene ningún circuito de protección por lo que se debe tener mucho cuidado al usar, ya que de lo contrario el chip TB6560 podría llegar a quemarse.



Figura 22. Driver motor eje X y eje Y.

Recuperado de <https://www.vistronica.com/robotica/motores/drivers-de-motores/driver-motores-paso-a-paso-tb6560-de-3a-detail.html>

Para la selección del driver en el eje Z observamos los datos de la tabla 13, donde se observa que la corriente nominal es de 1.68A, por ende seleccionamos el driver A4988 Pololu (tabla 15).

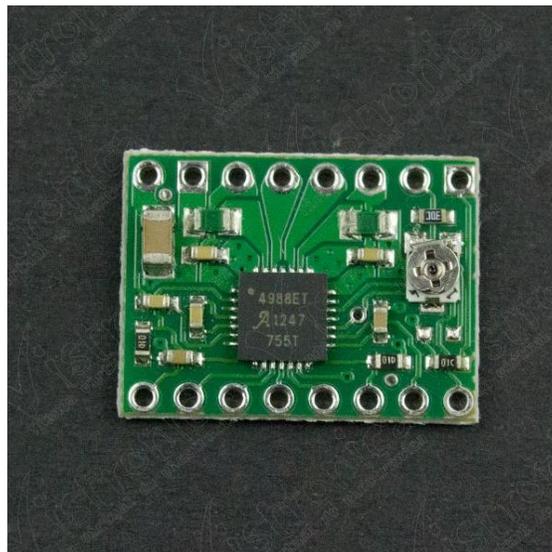
Tabla 16. Datos técnicos de driver seleccionado para eje Z

Modelo	A4988
Máximo voltaje de operación	8V
Corriente continua de operación	1A
Máximo corriente de operación	2A
Resolución de micro pasos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paso completo</li> <li>• Medio paso</li> <li>• 1/8 de paso</li> <li>• 1/16 de paso</li> </ul>

Recuperado de <https://www.vistronica.com/driver-motor-paso-a-paso-a4988-pololu-detail.html>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para la selección de este driver se tienen en cuenta características como que opera desde 8 V a 35 V y puede entregar hasta aproximadamente 1 A por fase sin un disipador de calor (puede manejar hasta 2 A con un buen disipador). Cuenta con potenciómetro que permite ajustar la corriente máxima de salida y utilizar tensiones superiores a la tensión nominal para lograr mayores tasas de paso, además lleva un control inteligente que selecciona automáticamente el modo de reducción de la corriente correcta.



*Figura 23. Driver seleccionado eje Z.*

*Recuperado de <https://www.vistronica.com/driver-motor-paso-a-paso-a4988-pololu-detail.html>*

## 4.6 Interfaz operativo – maquina

Actualmente existen varios software libres para el control de las maquinas CNC, en estos proyectos trabaja una comunidad a nivel mundial que retroalimenta constantemente los software para hacerlos cada vez más completos. Entre los diversos software libres para este proyecto hay 2 que se adaptan a los requerimientos de este proyecto GRBL CONTROLLER y GRBL UNIVERSAL GCODE SENDER. GRBL CONTROLLER es un software que está diseñado para enviar GCode de máquinas CNC, como fresadoras 3D. No es súper inteligente, sólo tiene que dar al usuario una buena manera de obtener los comandos necesarios. La versión 3.0 se ha optimizado para el Arduino para controlar escudos Grbl. Grbl controlador está escrito utilizando las bibliotecas multiplataforma Qt. También recibe ayuda de la [QextSerialPort](#) biblioteca para simplificar la elección del puerto serie USB. [Qt](#) está muy bien, porque se puede crear una aplicación de interfaz gráfica de usuario agradable para Windows, Mac y Linux. Qt fue originalmente desarrollado por

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nokia (ok, Trolltech para ser exactos, comprada por Nokia). Desarrollar en Qt debe ser experto en C++.

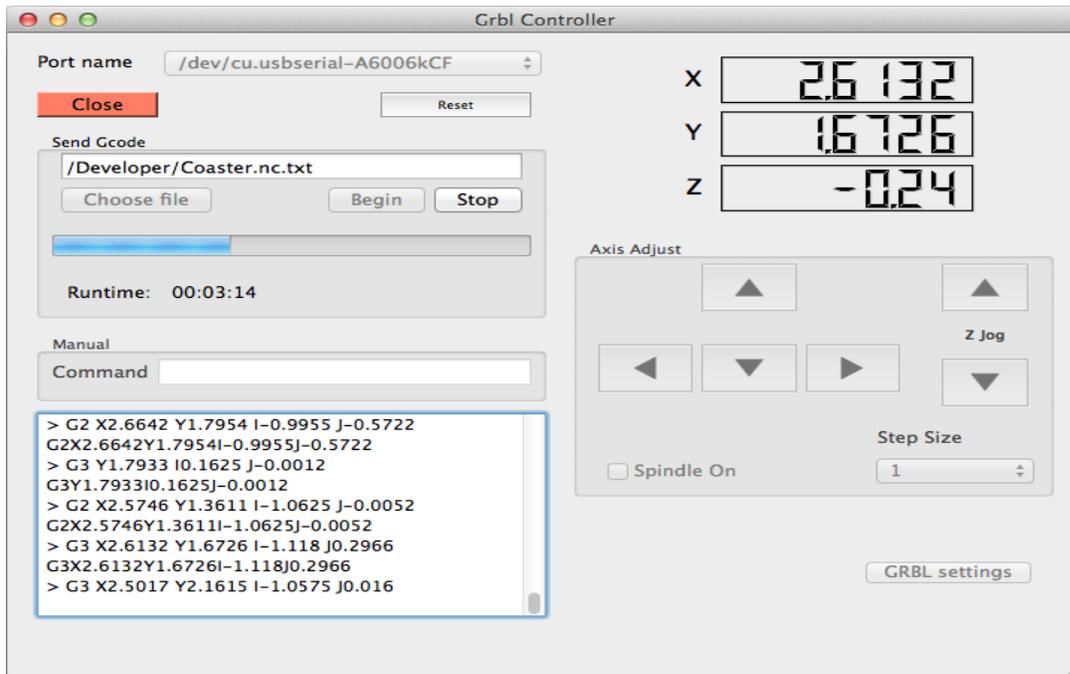


Figura 23. GRBL CONTROLLER

Al analizar las características de GRBL CONTROLLER se descartó para este proyecto porque sus características no cumplían a cabalidad los requerimientos de este proyecto, tales como la interfaz que muestra los movimientos de la herramienta mientras realiza el proceso asignado y este punto es muy importante ya que se debe estar pendiente de dichos movimientos para evitar posibles colisiones. GRBL basada en Java compatible con varias plataformas de código G remitente, [http://winder.github.io/ugs\\_website](http://winder.github.io/ugs_website). Por otra parte GcodeSender universal es un programa de Java basada en GRBL, es una multiplataforma compatible con G-Code, se utiliza este programa para ejecutar el control de una máquina CNC. Para ejecutar simplemente descomprimir el archivo .ZIP y haga doble clic en el archivo .jar. En algunas plataformas que tendrá que ejecutar un script de inicio incluido. Nota para los usuarios de Mac: Para la versión 1.0.8 y anteriores puede que tenga que crear un directorio "/var/lock" en OSX para corregir un error en la biblioteca de serie. La plataforma GcodeSender es muy versátil ya que permite una operación manual de la máquina, dando las coordenadas de la pieza y de la máquina, además que nos permite observar la pieza y el recorrido de la herramienta (figura 19).

Principales características.

- multiplataforma, probado en Windows, OS X, Linux y Frambuesa Pi.
- Ejecutable Todo en Uno archivo JAR - si tiene java no hay nada que instalar. El archivo JAR incluye dependencias nativos para todos los sistemas operativos compatibles.
- 3D Gcode visualizador con color cifró los segmentos de línea y en tiempo real de retroalimentación posición de la herramienta.
- estimaciones de duración.
- Más de 3000 líneas de código de prueba de unidad, y otros 1000 líneas de comentarios que documentan las pruebas.

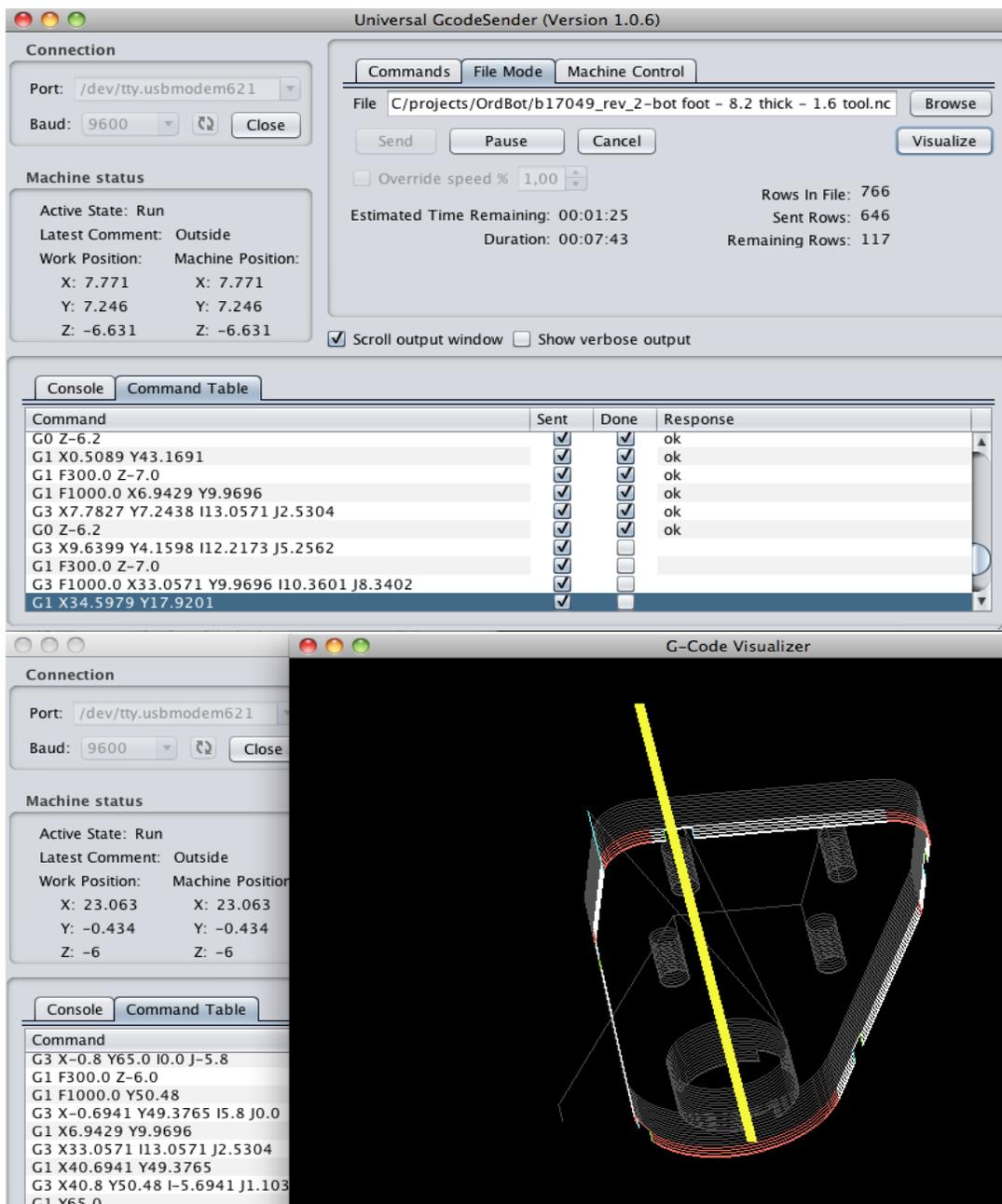
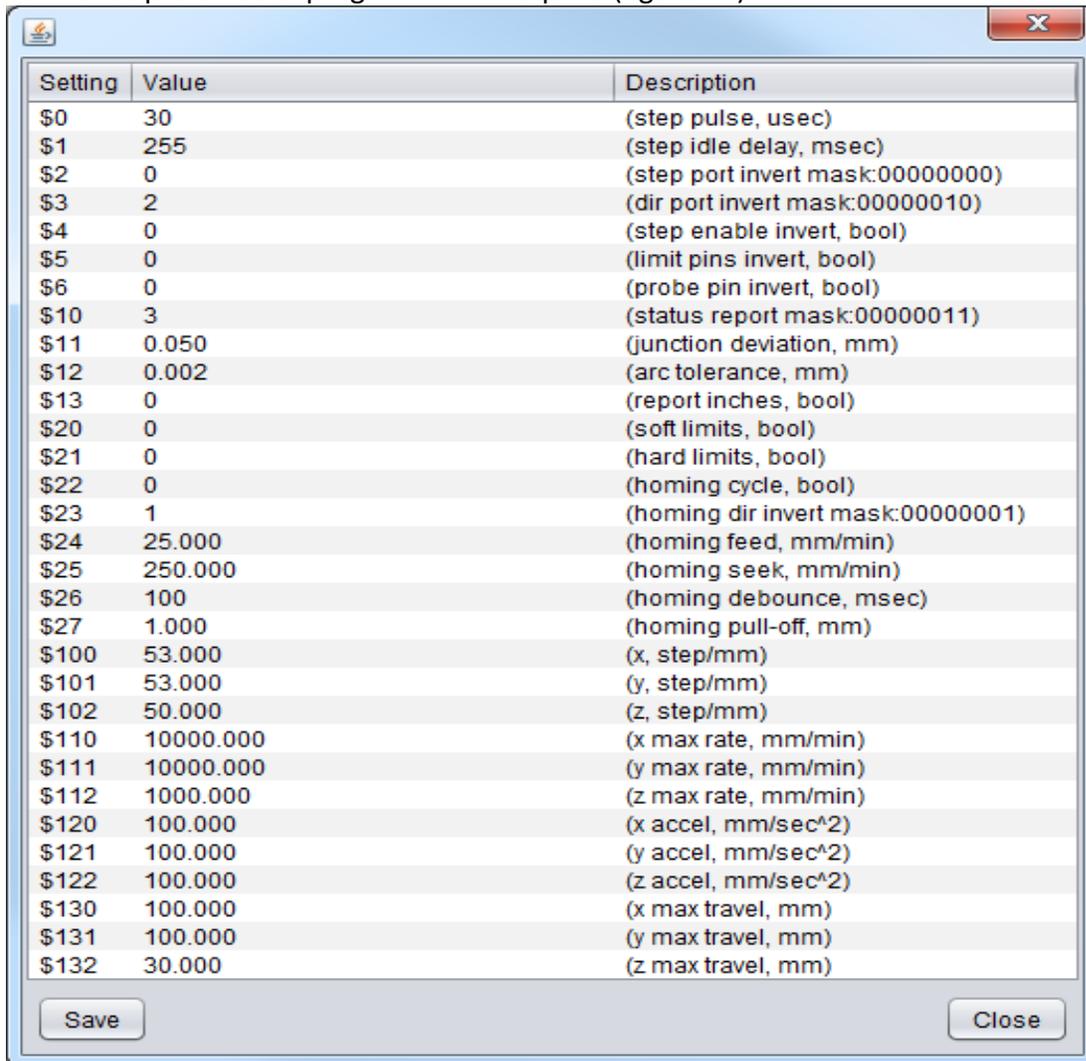


Figura 24. Interface operativo – maquina.

Para parametrizar el software dadas las características de la maquina presionamos en la línea de comandos \$\$ y luego presionamos enter para acceder a la BIOS del software en donde adaptaremos el programa a la maquina (figura 20).



Setting	Value	Description
\$0	30	(step pulse, usec)
\$1	255	(step idle delay, msec)
\$2	0	(step port invert mask:00000000)
\$3	2	(dir port invert mask:00000010)
\$4	0	(step enable invert, bool)
\$5	0	(limit pins invert, bool)
\$6	0	(probe pin invert, bool)
\$10	3	(status report mask:00000011)
\$11	0.050	(junction deviation, mm)
\$12	0.002	(arc tolerance, mm)
\$13	0	(report inches, bool)
\$20	0	(soft limits, bool)
\$21	0	(hard limits, bool)
\$22	0	(homing cycle, bool)
\$23	1	(homing dir invert mask:00000001)
\$24	25.000	(homing feed, mm/min)
\$25	250.000	(homing seek, mm/min)
\$26	100	(homing debounce, msec)
\$27	1.000	(homing pull-off, mm)
\$100	53.000	(x, step/mm)
\$101	53.000	(y, step/mm)
\$102	50.000	(z, step/mm)
\$110	10000.000	(x max rate, mm/min)
\$111	10000.000	(y max rate, mm/min)
\$112	1000.000	(z max rate, mm/min)
\$120	100.000	(x accel, mm/sec^2)
\$121	100.000	(y accel, mm/sec^2)
\$122	100.000	(z accel, mm/sec^2)
\$130	100.000	(x max travel, mm)
\$131	100.000	(y max travel, mm)
\$132	30.000	(z max travel, mm)

Figura 25. Parámetros del software

Cuando aparezca esta ventana en nuestro monitor (figura 20), cambiaremos una a una las opciones que allí aparecen, muy importante tener en cuenta esto ya que el software solo permite que los cambios se realicen uno a la vez. A continuaciones explicaremos el significado de cada uno de ellos y cuales parámetros por configuración interna del software no se debe cambiar.

0\$ = número de pasos por vuelta, esta característica depende única y exclusivamente de nuestros motores, en este caso los motores son de 1.8° por paso esto significa que para dar una vuelta completa que son 360° este motor necesita dar 200 pasos.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1\$ = este parámetro es un tiempo que el motor se toma para que cuando termine una instrucción retome la otra, este tiempo está en milisegundos (muy importante que no sea mayor a 255 ya que el motor se bloqueara)

Del parámetro 2\$ al parámetro 6\$ es importante no tocarlos ya que son opciones propias del programador del software que tocan directamente la arquitectura del programa, se da acceso a ellos porque este es un software libre que cada quien puede adaptar a su manera.

Parámetro 11\$ y 12\$ son las tolerancias permitidas para realizar los arcos en las piezas a maquinar.

13\$ = el software por defecto trabaja en milímetros, pero si se quiere trabajar en pulgadas se debe activar esta opción colocando un (1).

20\$ = es para activar los límites mecánicos de la maquina por software.

21\$ = es para activar los límites de la maquina por hardware (físicos) estos son los finales de carrera, pero para el caso de este proyecto por ser el primer prototipo y porque es para uso netamente investigativo no se activan.

Parámetro 22\$ y 23\$ son configuraciones internas del software entonces no se toca, pero son para cambiar la configuración del homing o el regreso de la herramienta al punto 0, 0, 0.

24\$ = velocidad que se le asigna a la máquina para regresar al homing, está dada en mm/min

Los parámetros 100\$, 101\$ y 102\$, son para configurar los pasos de los motores en X, Y, Z respectivamente y determinan el número de pasos para que se avance 1 mm en los diferentes ejes, este parámetros depende únicamente de los motores elegidos.

Los parámetros 110\$, 111\$, y 112\$ son la velocidad de avance de los motores en los ejes X, Y, Z respectivamente, y está dada en mm/min

Los parámetros 120\$, 121\$ y 122\$ son la aceleración máxima que pueden tener los motores para el mecanizado de piezas.

Los parámetros 130\$, 131\$ y 132\$ son las dimensiones de la maquina en X, Y, Z respectivamente.

Dadas tantas opciones para ajustar la maquina al software, que no te tienes que adaptar la maquina al software sino el software a la máquina, se da mayor facilidad a la hora de implementar este proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- No se recomienda hacer la máquina en madera, ya que pierde precisión a medida que la maquina trabaja.
- Debido a problemas de vibración se recomienda fabricar la maquina en aluminio, ya que este material posee características como resistencia y ligereza que aportan a un mejor desempeño de la máquina.
- Se sugiere instalar un sistema de refrigeración para evitar el calentamiento de la herramienta.
- Se recomienda elaborar una guarda que evite la salida de partículas durante el mecanizado.
- Se recomienda adaptar un sistema que permita variar la velocidad del husillo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6 REFERENCIAS

---

- Cam, C. a D., & Al, I. (1942). Diseño y Manufactura asistidos por Computadora Introducción al CNC (Ingeniería Industrial – UPIICSA).
- Cnc, T. (n.d.). Un nuevo concepto para un mecanizado completo.
- Luggen, William W. (1994). Fundamentals of Numerical Control.
- Krar, Steve. (1990). CNC and Technology and programming
- Aguirre, A. I. (2004). *INTEGRACIÓN TECNOLÓGICA DE PROTOTIPADO RÁPIDO DENTRO DEL LABORATORIO DE MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR.*
- Almagro Cádiz, M. (2012). *Trabajo de grado: Una biblioteca C++ para el desarrollo mecánico aplicado a la robótica.* Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- *árbol genealógico del Proyecto Clone Wars.* (07 de 06 de 2012). Obtenido de <http://asrob.uc3m.es/images/d/d0/2012-06-02-clone-wars-genealogy.png>
- Arduino. (2 de Julio de 2009). *Arduino* . Obtenido de [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arduino\\_Mega\\_2.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arduino_Mega_2.jpg)
- ARDUINO. (2013). *Arduino* . Obtenido de <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- Autodesk. (2014). *Autodesk 123D* . Obtenido de <http://www.123dapp.com/>
- Bernal Mora, D. L., Casteblanco, J. E., Lyons Cerón , A., & Nieto Villamil, J. S. (20 de 06 de 2013). *Fabricar.* Obtenido de [http://fabricar.16mb.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=101&catid=59&Itemid=392](http://fabricar.16mb.com/index.php?option=com_content&view=article&id=101&catid=59&Itemid=392)
- Braam, D. (13 de Diciembre de 2012). *Ultimaker.* Obtenido de <https://ultimaker.com/en/products/software>
- Browser, C. ©. (2001). *3d Cad Browser.* Obtenido de <http://www.3dcadbrowser.com/>
- Charles, B. (2007). *3dvia.* Obtenido de <http://www.3dvia.com/>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

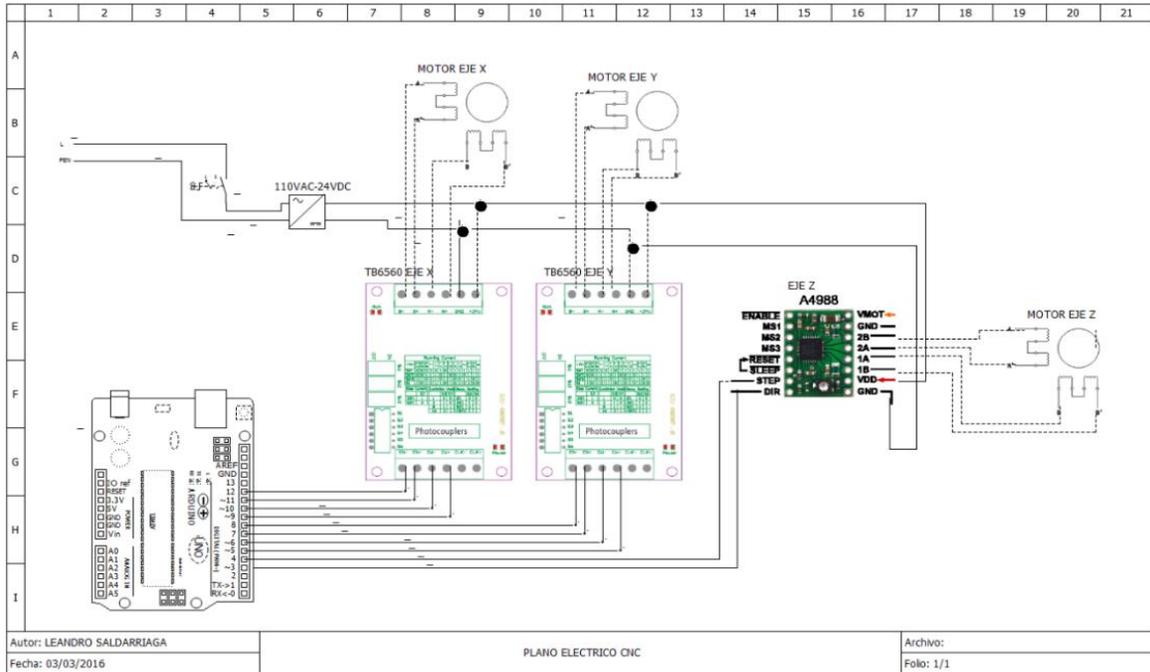
- Cicero, S. (6 de Feb de 2014). *Elettronica In*. Obtenido de Entrevista ad Adrian Bowyer, il padre del progetto RepRap: <http://blog.elettronica.in/2014/02/06/intervista-ad-adrian-bowyer-il-padre-del-progetto-reprap/>
- Elijah. (20 de Enero de 2012). *kisslicer*. Obtenido de <http://kisslicer.com/download.html>
- Enrique. (24 de Octubre de 2010). *Skeinforge*. Obtenido de <http://fabmetheus.crsndoo.com/>
- FAG. (2000). *Rodamientos FAG*. Obtenido de <http://www.baleromex.com/catalogos/C-FAG.pdf>
- Goncalves, P. (2013). Practical exploration of 3D printing. *REPRAPMAGAZINE*. Obtenido de [www.REPRAPMAGAZINE.COM](http://www.REPRAPMAGAZINE.COM)
- Horne, R. (2013). RepRap Electronics, past present and future. *RepRapMagazine\_Issue\_2\_lowres*, 36 - 46.
- Insitehk. (26 de junio de 2012). *InSite · eye on design | interiors, materials, furniture*. Obtenido de makerbot industries | robots that make things!: <https://insitehk.wordpress.com/2012/06/26/makerbot-industries-robots-that-make>
- johnnyr. (24 de Mayo de 2013). *RAMPS 1.4*. Obtenido de [http://reprap.org/wiki/RAMPS\\_1.4/es](http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4/es)
- Marin, I. J. (11 de 2007). *EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL DE LA MANUFACTURA POR CAPAS PARA LA INDUSTRIA COLOMBIANA*. Medellín. Obtenido de <http://www.ilustrados.com/documentos/manufactura-capas-prototipado-rapido>
- Narusk, H. M. (2009). *GrabCAD*. Obtenido de <https://grabcad.com/>
- Navigation, T. (24 de Abril de 2006). *3D Warehouse*. Obtenido de <https://3dwarehouse.sketchup.com/>
- Pololu Robotics & Electronics. (2001). *Pololu*. Obtenido de A4988 Stepper Motor Driver Carrier: <http://www.pololu.com/product/1182/>
- Portillo, J. (02 de 05 de 2011). *YouTube*. Obtenido de YouTube: <http://www.youtube.com/watch?v=d4K3WoRcXfk>
- Průša, J. (2009). *Josef Průša*. Obtenido de Jsem vývojář 3D tiskáren: <http://josefprusa.cz/>
- Ranellucci, A. (2011). *slic3r*. Obtenido de <http://slic3r.org/>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

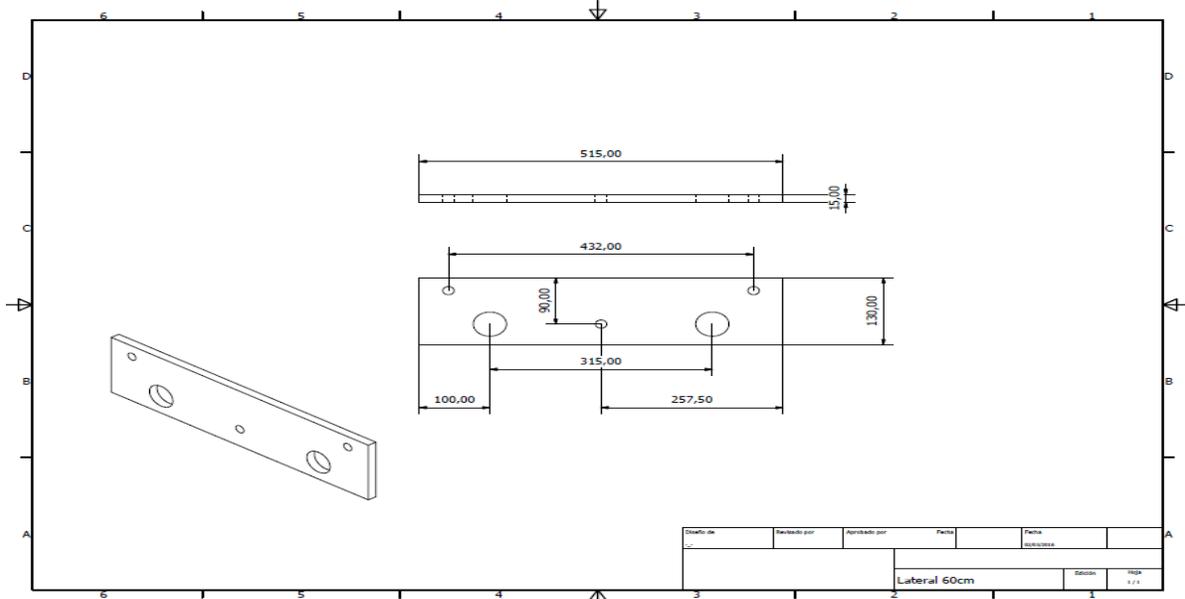
## 7 ANEXOS

### 7.1 Planos estructurales y electrónicos de la maquina

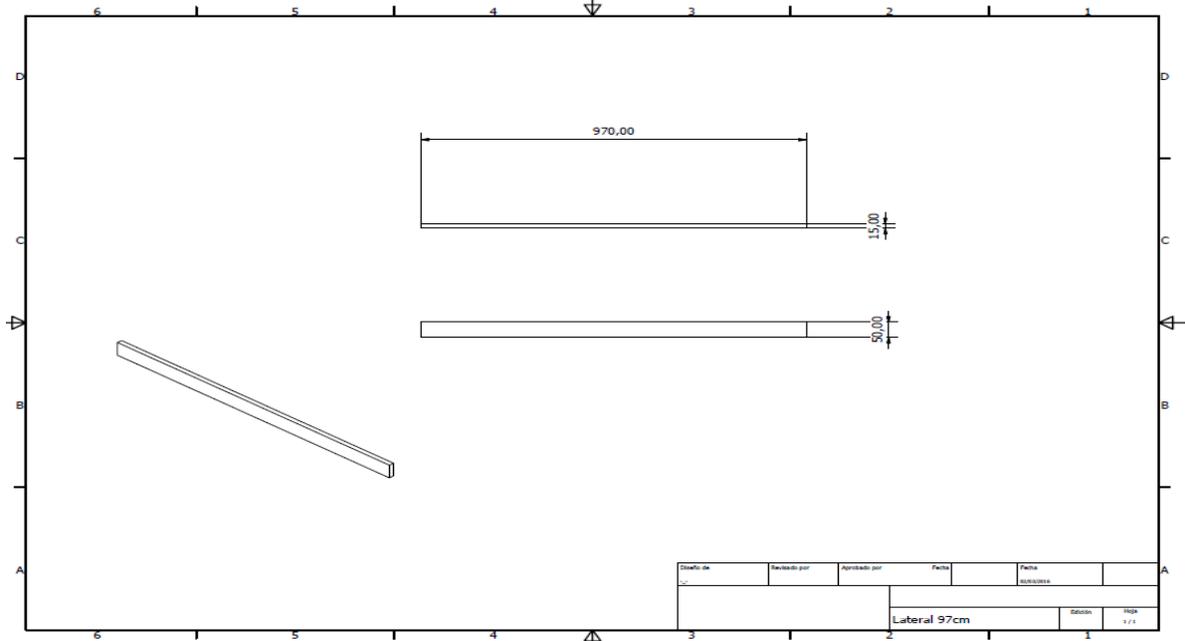
PLANO ELECTRICO DE LA MAQUINA



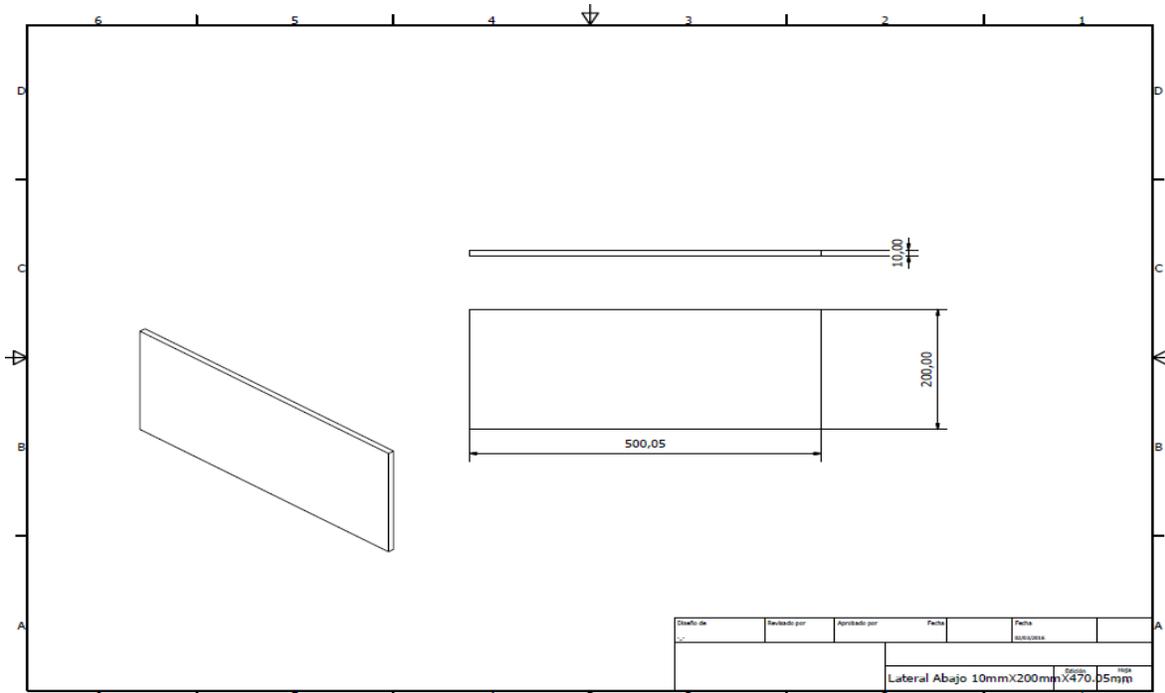
PLANO REALIZADO EN QELECTRO PROGRAM  
 PLANOS ESTRUCTURALES DE LAS PIEZAS DE LA MAQUINA



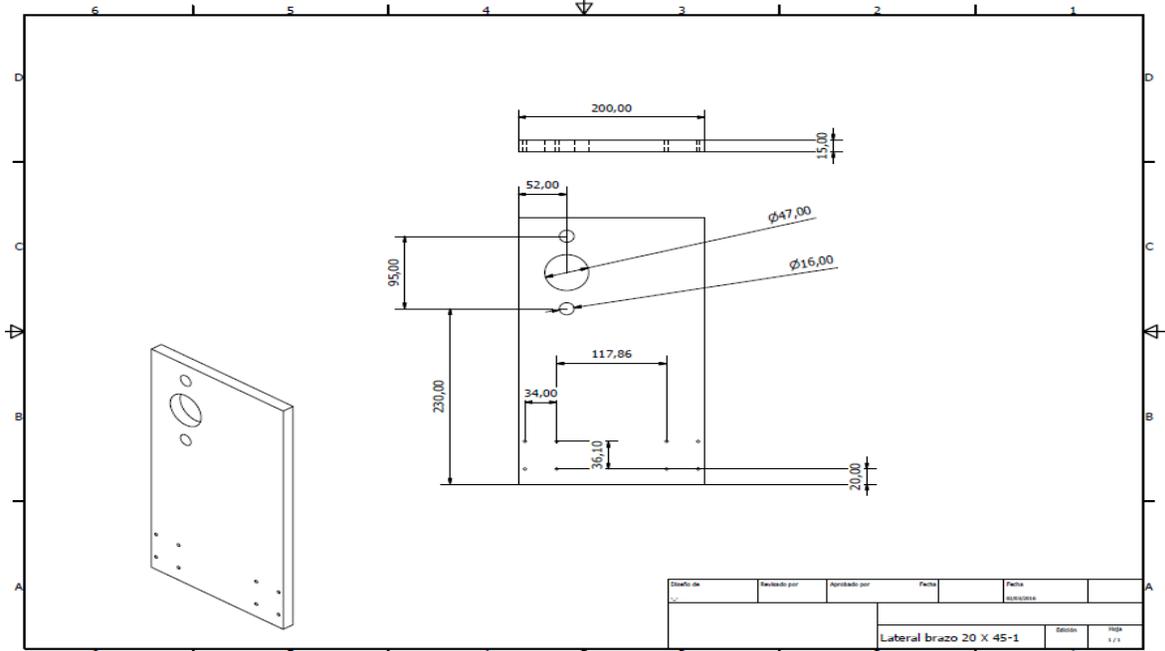
PLANO REALIZADO EN AUTODESK INVENTOR BASE FONTRAL EJE X



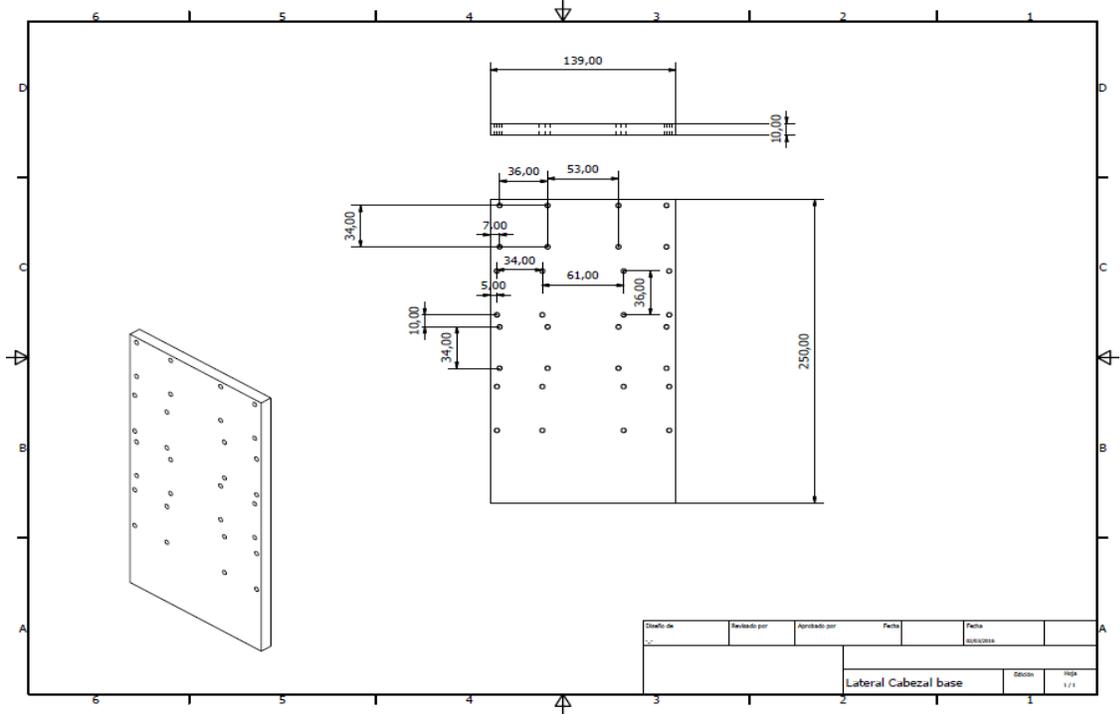
PLANO REALIZADO EN AUTODESK INVENTOR SOPORTES TRANSVERSALES BASE



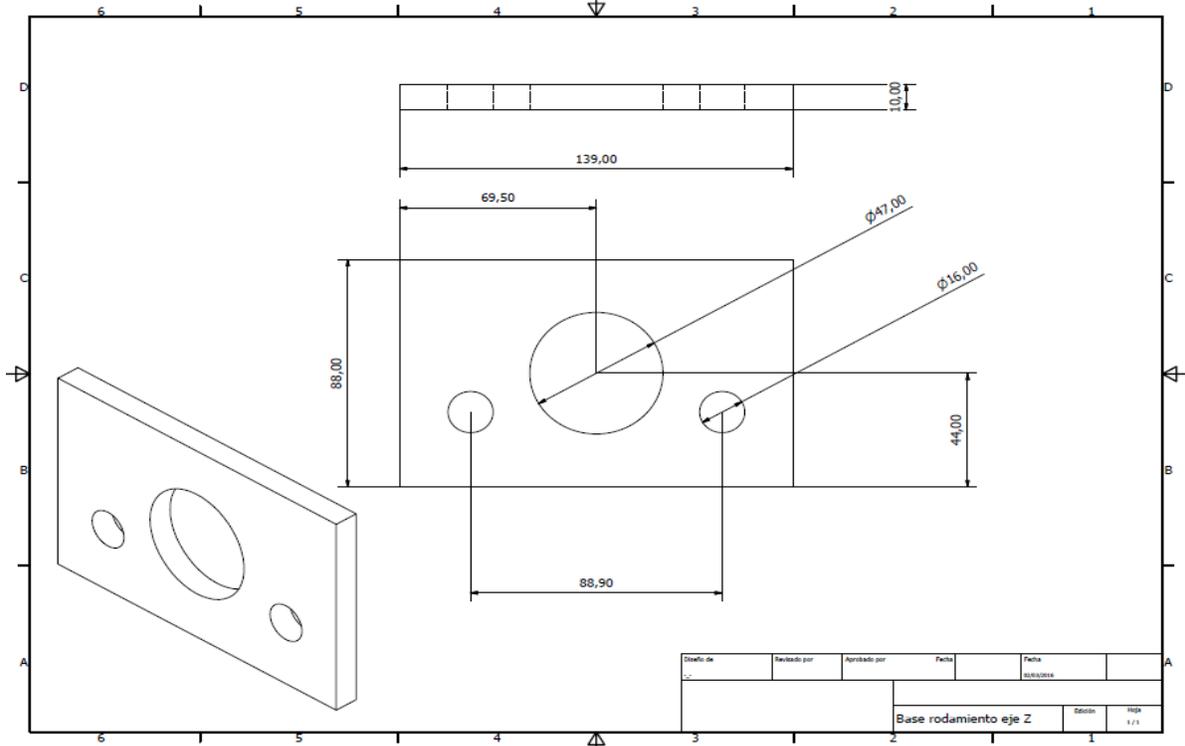
PLANO REALIZADO EN AUTODESK INVENTOR SOPORTES BRASO EJE Y



PLANO REALIZADO EN AUTODESK INVENTOR BRASO EJE Y

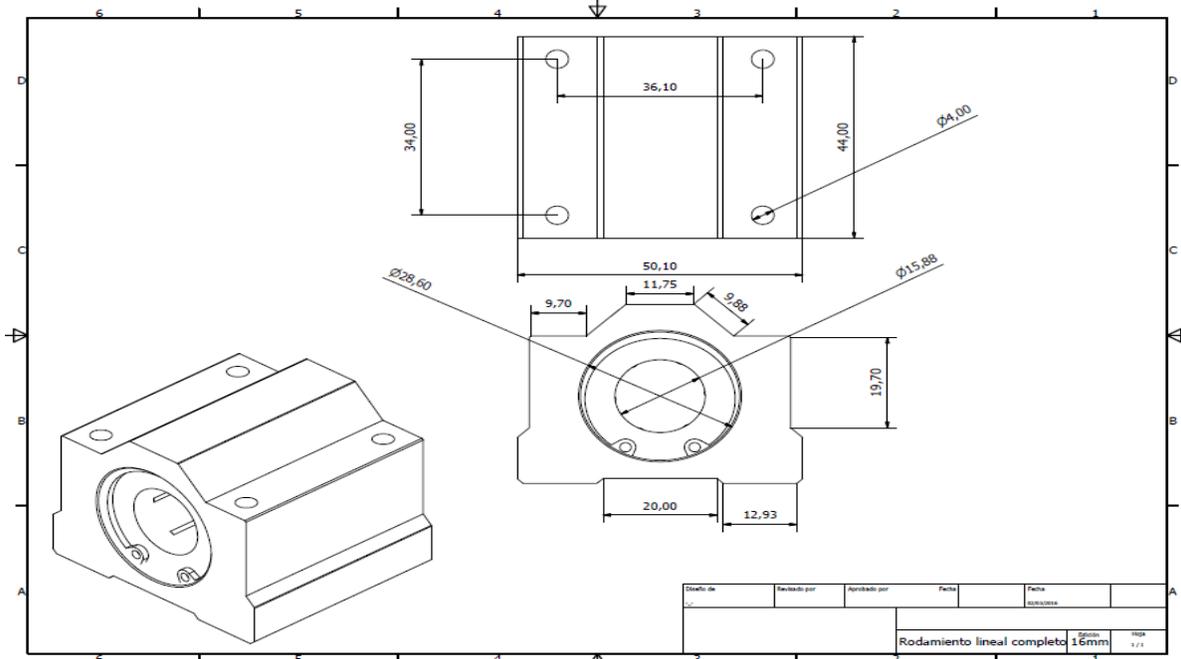


PLANO REALIZADO EN AUTODESK INVENTOR BASE PARA RODAMIENTOS EJE Z - Y



PLANO REALIZADO EN AUTODESK INVENTOR BASE SUPERIOR PARA TORNILLO EJE Z

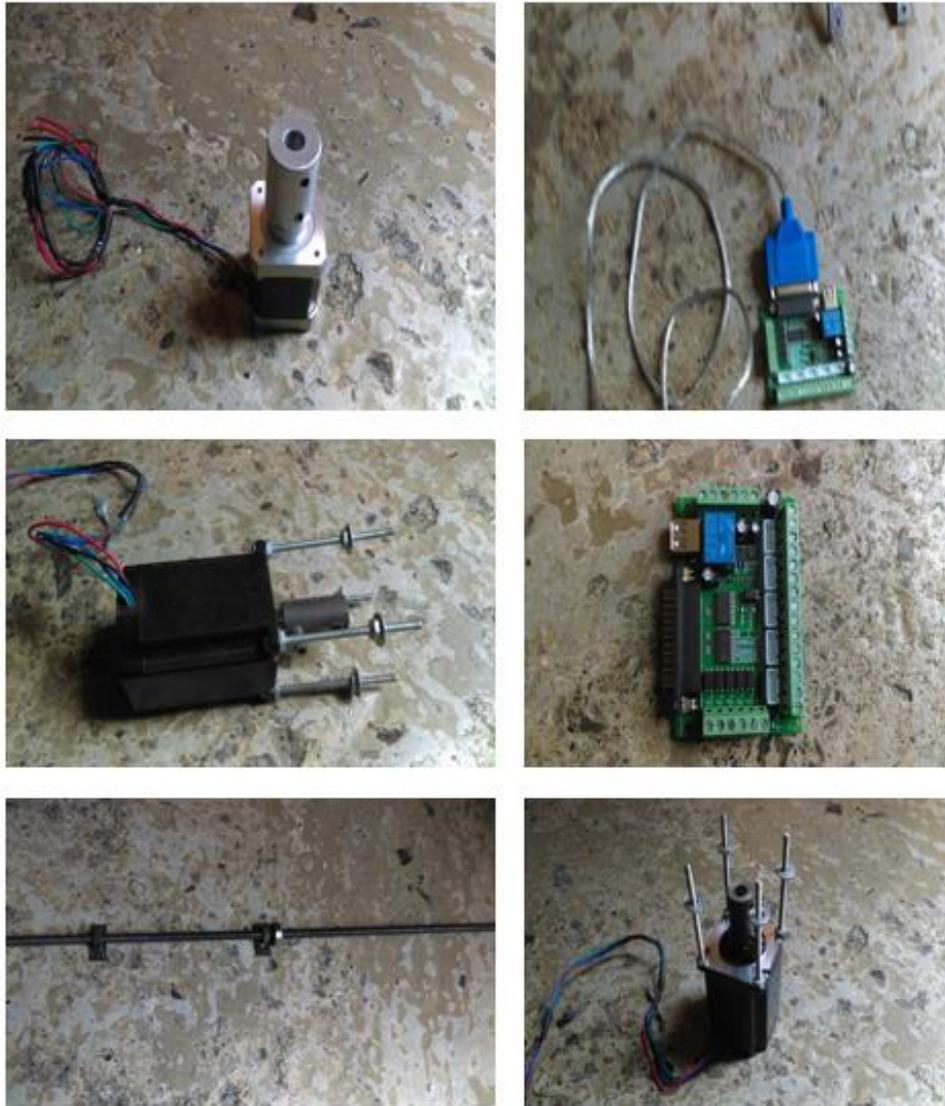
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



PLANO REALIZADO EN AUTODESK INVENTOR RODAMIENTOS UTILIZADOS TODOS LOS EJES

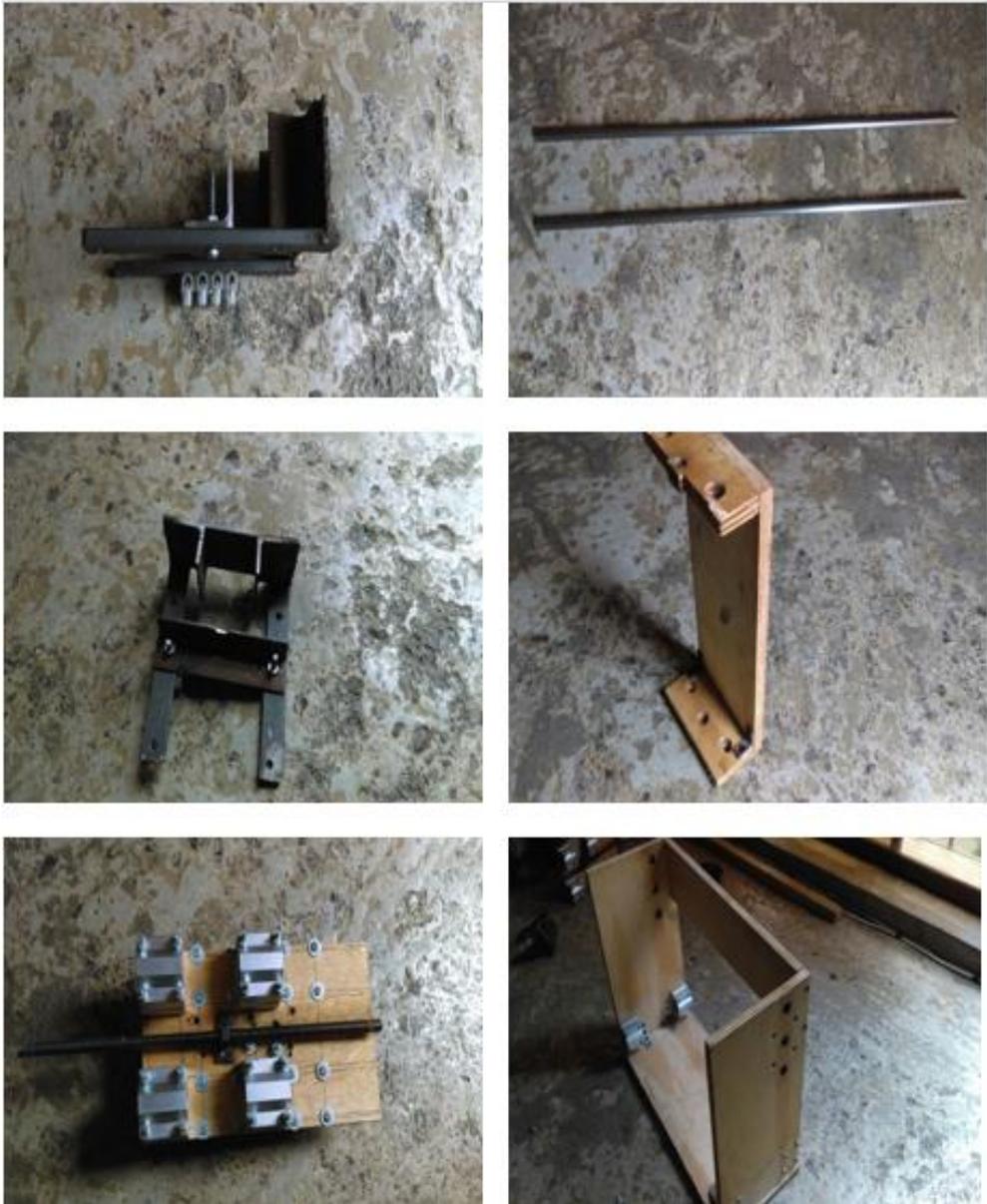
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 7.2 Piezas de la maquina



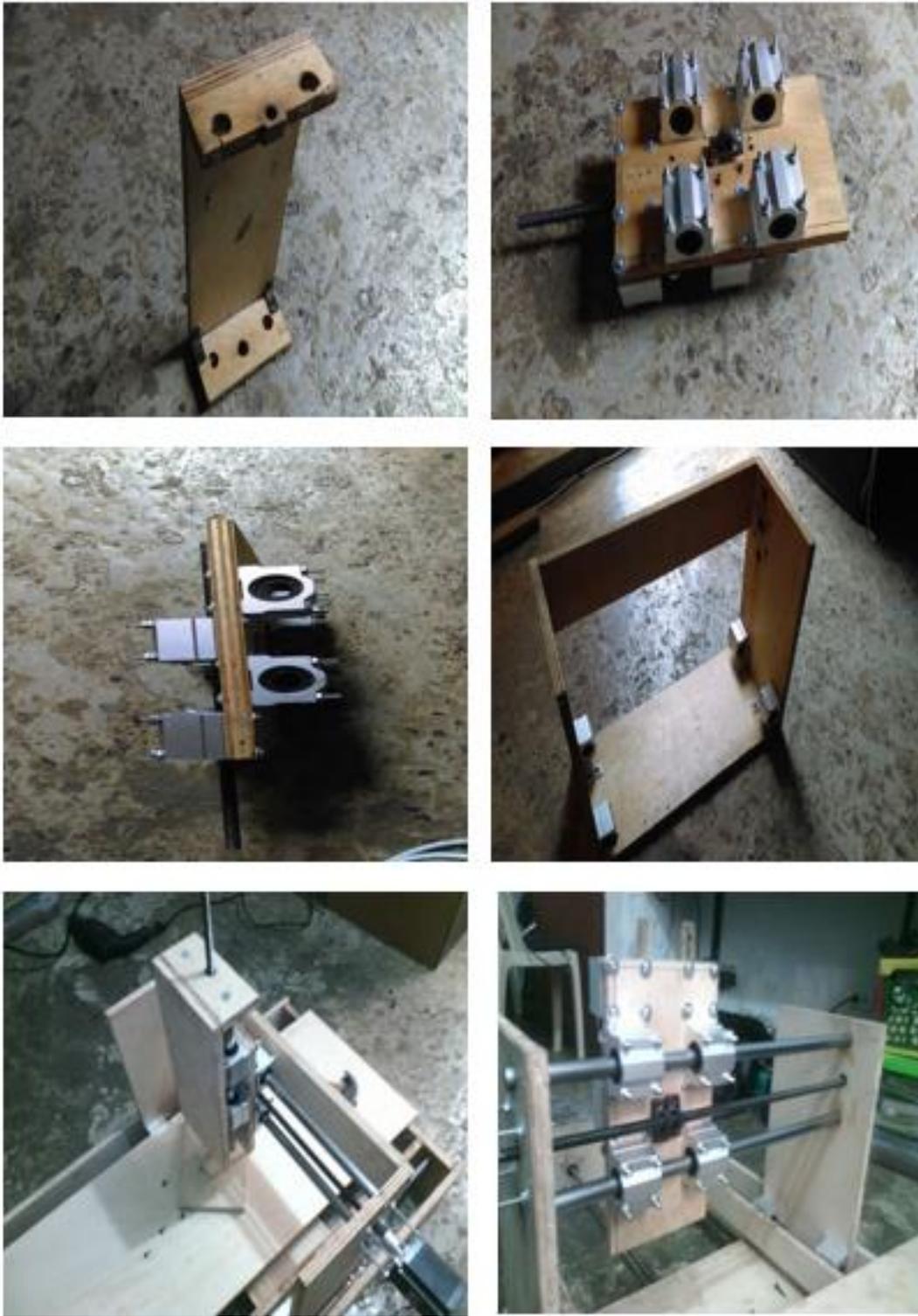
*Ilustración 19. Componentes de control.*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Ilustración 20. Componentes eje Z*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Ilustración 21. Componentes eje X*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Ilustración 22. Conexión control y pruebas.*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Ilustración 23. Montaje Final.*

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

*Tabla 17. Cotización del costo real de la maquina*

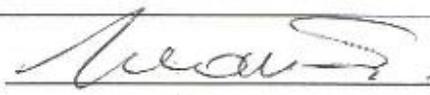
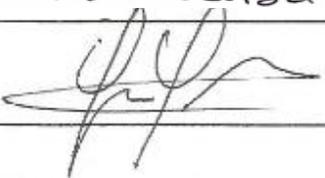
<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Unid.</b>	<b>Costo</b>
1/2	Lamina triplex 15mm espesor	\$60.000	\$60.000
4	Eje acero calibrado	\$20.000	\$80.000
12	Rodamientos lineales	\$40.000	\$480.000
1	Paquete tornillos 1/8	\$10.000	\$10.000
1	Paquete tuercas 1/8	\$12.000	\$12.000
2	Motor P.A.P 18,35 Kg.cm	\$160.000	\$320.000
1	Motor P.A.P 5,6 Kg.cm	\$101.400	\$101.400
2	Driver TB660	\$80.000	\$160.000
1	Driver A4988	\$40.000	\$40.000
1	Ruteadora	\$200.000	\$200.000
3	Acoples	\$60.000	\$60.000
<b>TOTAL</b>			<b>1'523.400,00</b>

Para realizar una maquina más profesional con una estructura más adecuada con un material como el aluminio se tiene la siguiente cotización

*Tabla 18. Cotización maquina aluminio*

<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Unid.</b>	<b>Costo</b>
1/2	Lamina aluminio 10mm	\$380.000	\$380.000
12	Rodamientos rígidos de bolas	\$7.000	\$84.000
4	Eje acero calibrado	\$20.000	\$80.000
12	Rodamientos lineales	\$40.000	\$480.000
1	Paquete tornillos 1/8	\$10.000	\$10.000
1	Paquete tuercas 1/8	\$12.000	\$12.000
2	Motor P.A.P 18,35 Kg.cm	\$160.000	\$320.000
1	Motor P.A.P 5,6 Kg.cm	\$101.400	\$101.400
2	Driver TB660	\$80.000	\$160.000
1	Driver A4988	\$40.000	\$40.000
1	Ruteadora	\$200.000	\$200.000
3	Acoples	\$60.000	\$60.000
<b>TOTAL</b>			<b>1'927.400,00</b>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES	 <hr/>  Luis O. Patiño Machado <hr/>
FIRMA ASESOR	 <hr/>
FECHA ENTREGA:	<hr/>

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD	<hr/>
RECHAZADO	<input type="checkbox"/>
ACEPTADO	<input type="checkbox"/>
ACEPTADO CON MODIFICACIONES	<input type="checkbox"/>
ACTA NO.	<hr/>
FECHA ENTREGA:	<hr/>

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD	<hr/>
ACTA NO.	<hr/>

	FECHA ENTREGA: <hr/>
--	----------------------