

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA

**“SISTEMA DE GENERACIÓN DE MOVIMIENTO PARA UNA
IMPRESORA 3D MULTI-EXTRUSOR”.**

AUTOR

RICHARD DANIEL PORTILLA FLORES

DIRECTOR

ING. CHRISTIAN VÁSQUEZ. MSC.

Ibarra – Ecuador

2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

Datos de Contacto			
Cédula de Identidad:	1003548631		
Apellidos y Nombres:	Portilla Flores Richard Daniel		
Dirección:	Ibarra, El Milagro Calle el guabo #362		
Email:	richdandy@hotmail.com		
Teléfono Fijo:	062542124	Teléfono Móvil:	0991003823

Datos de la Obra	
Título:	SISTEMA DE GENERACIÓN DE MOVIMIENTO PARA UNA IMPRESORA 3D MULTI-EXTRUSOR
Autor:	Portilla Flores Richard Daniel
Fecha:	15/02/2018
Programa:	PREGRADO
Título por el que Opta:	Ingeniero en Mecatrónica
Director:	Ing. Christian Vásquez. MSc.

Autorización de Uso a Favor de la Universidad

Yo, Portilla Flores Richard Daniel con cédula de identidad Nro. 1003548631, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Constancias

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de febrero del 2018



Firma

Nombre: Portilla Flores Richard Daniel

Cédula: 1003548631

Certificación

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: “SISTEMA DE GENERACIÓN DE MOVIMIENTO PARA UNA IMPRESORA 3D MULTI-EXTRUSOR”, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Portilla Flores Richard Daniel, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink is positioned above a solid horizontal black line. The signature is stylized and appears to be the name of the director, Christian Vásquez.

Ing. Christian Vásquez. MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Agradecimiento

Doy gracias a Dios por darme la sabiduría y fortaleza para alcanzar varias metas en mi vida, brindándome la oportunidad de despertar cada día. Agradezco a mis padres y hermanas por su apoyo incondicional, por guiarme en cada paso que he dado a lo largo de mi vida y en cada obstáculo que eh enfrentado, ayudándome a superarme para lograr una nueva menta en mi vida. A mis sobrinas por todas las alegrías que me han dado en esta trayectoria fomentando el deseo de superación. A mis compañeros, amigos y familiares con los que he compartido alegrías y tristezas. A los maestros, los cuales aportaron con sus conocimientos y que fueron un factor fundamental para alcanzar esta instancia de mi vida. Por último al director de esta tesis por su tiempo dedicado en la ayuda de elaboración para el trabajo de grado.

Richard Portilla.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres, mis hermanos y sobrinas, pilares fundamentales en mi vida quienes estuvieron en cada momento de esta trayectoria apoyándome con sus consejos y comprensión, formando de mí una persona con valores, responsabilidad y que en la vida todo esfuerzo es recompensado,

Richard Portilla

Resumen

En Este documento se presenta un sistema de generación de movimiento para una impresora 3D multi-extrusor, pudiendo ampliarse para otras aplicaciones como corte por láser, fresado o mecanizado y montaje de piezas electrónicas en placas, gracias a que su cabezal puede ser intercambiable para poderla emplear en cualquiera de las aplicaciones mencionadas.

En la generación de movimiento se empleó un sistema screwball, que permite tener una alta eficiencia en el uso de la potencia proporcionada por el motor, además a tener una alta precisión y ser usada para varios fines.

La máquina cuenta con un diseño realizado por módulos con la ventaja para el ensamblaje de la máquina, como para su mantenimiento.

Abstract

In this document, is presented a motion generation system for a 3D multi-extruder printer, which can be extended for other application such as laser cutting, milling, machining and assembly of electronic parts on plates, thanks to which its head can be interchangeable.

In the generation of movement was used a screwball system, which allows to have a high efficiency in the use of the power provided by the motor, obtaining a high precision to be used in several applications.

The machine has a design made by modules with the advantage that it can be easily assembled and maintained.

Contenido

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
Autorización de Uso a Favor de la Universidad	iii
Constancias.....	iii
Certificación	iv
Agradecimiento	v
Dedicatoria	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Contenido	ix
Índice de Figuras	xii
Índice de Tablas.....	xiv
CAPITULO I.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos.....	1
1.2.1. Objetivo General	1
1.2.2. Objetivos Específicos	1
1.3. Antecedentes.....	2
1.4. Justificación	2
1.5. Alcance	2
CAPITULO II	4

2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Impresoras 3D.....	4
2.2. Tipos de las impresoras 3D	5
2.3. Sistemas de movimiento para impresoras 3D FMD	5
2.3.1. Sistema tipo delta	6
2.3.2. Sistema tipo cartesiana	6
2.3.3. Sistema tipo polar	7
2.3.4. Sistema tipo brazo robótico.....	7
2.4. Control Numérico por Computador “CNC”	8
2.4.1. Tipos de control numérico.....	9
2.5. Sistema de movimiento	10
2.5.1. Materiales	10
2.5.2. Motores.....	11
2.5.3. Sistema ScrewsBall	12
2.6. Sistema eléctrico.....	13
2.6.1. Fuente	13
2.6.2. Tarjeta controladora Duet.....	13
2.6.3. PanelDue	14
2.7. Sistema de control	14
2.7.1. Sistema de lazo abierto.....	14
2.7.2. Sistemas de lazo cerrado	15

2.8. Software open source.....	15
CAPITULO III	16
3. METODOLOGÍA	16
3.1. Selección del sistema de generación de movimiento.	16
3.1.1. Requerimientos	16
3.1.2. Sistemas de impresión o CNC	16
3.2. Diseño mecánico del sistema de movimiento.....	17
3.2.1. Diseño de módulos	17
Diseño del eje para el modulo x, z.	28
Diseño del eje para el modulo Y.	31
Rodamiento lineal	32
Sujetadores:	37
3.3. Diseño de la estructura.....	37
3.4. Sistema eléctrico y electrónico	39
Selección de los motores	39
Selección de la fuente.....	39
Selección del cableado	39
3.5. Sistema de control	40
Configuración de la tarjeta	40
CAPITULO IV	41
RESULTADOS	41

4.1. Evaluación de la máquina.....	41
Método de construcción	41
Funcionamiento de los módulos sin y con carga, a baja y alta velocidad.....	43
Funcionamiento en conjunto de los módulos ensamblados sin y con carga.	44
Facilidad de ensamblaje y mantenimiento por secciones y vibraciones.	45
Funcionamiento total de la máquina	45
Calidad de impresión.....	47
Costo del proyecto.....	48
CAPITULO IV	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
Conclusiones	51
Recomendaciones.....	52
Bibliografía.....	53
ANEXOS.....	57

Índice de Figuras

Figura 1 Sistema tipo delta	6
Figura 2. Sistema tipo cartesiano	6
Figura 3. Sistema tipo polar.	7
Figura 4. Sistema tipo brazo robótico	7
Figura 5. Diagrama de control numérico.	8
Figura 6. Taladradora	9
Figura 7. Torno	9

Figura 8. Fresadora	10
Figura 9. Tornillo de bolas	12
Figura 10. Fuente 24V	13
Figura 11. Tarjeta duet 0.8.5	13
Figura 12. Panel due Electrónica de impresión	14
Figura 13. Sistema lazo abierto	15
Figura 14. Sistema lazo cerrado	15
Figura 15 bosquejo inicial	18
Figura 17. Configuración básica de husillos de bolas y de rosca de contacto	19
Figura 18. Tornillo screwball	20
Figura 19. Serie súper T	21
Figura 20. Diagrama de carga de la viga X, Z	28
Figura 21 carga cortante	29
Figura 22. cargas eje y	31
Figura 23. Numero de recirculaciones	34
Figura 24. Factor de dureza	35
Figura 25. Factor de temperatura	36
Figura 26. Estructura	37
Figura 27. Modulo inicial de prueba	41
Figura 28. Módulos de X, Z	42
Figura 29. Montaje de módulos en estructura temporal	42
Figura 30. Estructura definitiva en acero inoxidable	43
Figura 31. Impresora 3D Multi-extrusor	43
Figura 32. Transcurso de impresión	47
Figura 33. Impresión total	47

Índice de Tablas

Tabla 1 Tipos de impresoras	5
Tabla 2. Tipos de motores	11
Tabla 3. Selección sistema de impresión FDM	17
Tabla 4. Selección sistema de transmisión de potencia.....	18
Tabla 5. Condiciones de cálculo.....	26
Tabla 6. Resultados eje x, z.....	30
Tabla 7. Resultados eje y.....	32
Tabla 8 .Factor de contacto	33
Tabla 9. Factor de rotura	35
Tabla 10. Factor de Carga	36
Tabla 11. Resultados estructura.....	38
Tabla 12. Pruebas de carga.....	44
Tabla 13. Resultado ensamblaje de módulos	44
Tabla 14. Resultado de velocidades	46
Tabla 15 Costo del proyecto.....	48

CAPITULO I

1.1.Planteamiento del problema

En la carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte se plantea construir una impresora multi extrusor 3D, para realizar pruebas en impresión de varios componentes mecánicos o biomecánicos, es por este motivo que se propone construir una impresora 3D multi extrusor de trabajo pesado para aprovechar las ventajas de una impresión con varios materiales con los que se podrá analizar las propiedades de las impresiones que cuenten estos materiales, ya que en estos momentos en los laboratorios de la carrera no se cuenta con una impresora de estas características ya que las existentes son impresoras pequeñas que solo funcionan con filamentos que provee el fabricante y no son para un trabajo pesado, por lo que es indispensable realizar un sistema de control que permita tener la máxima precisión posible en los ejes x, y, z al momento de la impresión y una estructura confiable para soportar los componentes de la impresora.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Implementar, un sistema de generación de movimiento para una impresora 3d multi-extrusor.

1.2.2. Objetivos Específicos

Determinar las características mecánicas, eléctricas, electrónicas y de control del sistema de ejes de una impresora 3D.

Diseñar la estructura y el sistema de posicionamiento en los ejes x, y, z.

Seleccionar el sistema de control y automatización

Construcción y Validación del prototipo

1.3. Antecedentes

En el país se puede encontrar impresoras 3d que cuentan con uno o dos extrusores que trabajan con un tipo de material de diferente color que imprimen piezas pequeñas, por lo tanto para la realización del tema propuesto se ha tomado como guía el siguiente libro.

CNC MACHING, Handbook Building, Programming and implementation. El cual servirá como guía para la realizar el diseño de la generación de movimiento.

1.4. Justificación

La realización de una impresora multi-extrusor 3D permitirá que los laboratorios de la carrera tengan la posibilidad de realizar prototipado rápido de varios colores y materiales para aplicaciones biométricas o mecánicas. Lo que permitirá obtener piezas de mayor tamaño a las que actualmente se obtienen en el laboratorio y a la vez poder realizar estudios mecánicos y de investigación.

Actualmente las impresoras 3D se encuentran en crecimiento y es tanto su popularidad que se está utilizando en todas las áreas posibles.

1.5. Alcance

Se pretende construir el sistema de generación de movimiento para el posicionamiento en los tres ejes para una impresora de trabajo pesado 3D de acuerdo al estado del arte y los objetivos planteados en este proyecto, que constará de las siguientes especificaciones:

Los ejes x, y, z tendrán una carrera de 420 mm.

Contará con un sistema para montaje y desmontaje del cabezal de extrusores.

Elaboración del manual de mantenimiento y calibración.

Sistema controlado por Software Open Source.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Impresoras 3D

Las impresoras 3D, o manufactura aditiva, han evolucionado rápidamente en los últimos años, desde el año 1976 con la creación de la impresora de inyección de tinta, la que dió paso a su evolución para pasar a la impresión con materiales, sufriendo varios cambios durante décadas en diferentes ramas de la industria (Conde, 16).

En 1984 Charles Hull inventa el método de la estereolitografía “SLA”, proceso de impresión para maquetas para la prueba de prototipos antes de su fabricación en cadena, en el año de 1990 se desarrolla la técnica de creación de objetos tridimensionales mediante la superposición de capas de material fundido, el cual se solidificaba con la forma deseada posteriormente. En 2005 se desarrolla la primera impresora 3D con la capacidad de imprimir casi la totalidad de piezas que la componen en la universidad de Bath, UK (La impresión 3D , 2017).

Hoy en día el diseño industrial con la impresión 3D es una de las herramientas más fuertes, ya sea por la creación de prototipos o la fabricación de moldes, en menor tiempo y a bajo costo. Estando presente en la industria automotriz, medicina con la impresión de prótesis, industria aeronáutica, arquitectura, alimentación, defensa, arte, entre otras (La impresión 3D , 2017).

Con el inicio del proyecto RepRap, la tecnología de las impresoras 3D empezó a fortalecerse y a destacar, volviéndose un auge revolucionario a nivel mundial en la actualidad, ya que inicialmente las impresoras 3D eran únicamente utilizadas y adquiridas por universidades y centros de alta investigación privados, debido a los exorbitantes costos que representaban (Benchhoff, 2015).

En las impresoras 3D se pueden tener ventajas como su accesibilidad, opciones de manufactura, prototipado y fabricación rápida, reducción de costos, pero en las impresoras 3D también hay desventajas como creación de productos peligrosos, costos de las impresoras, uso limitado de materiales entre otros (Conde, 16).

2.2. Tipos de las impresoras 3D

Existen variedades de métodos de impresión, en donde las principales diferencias se presentan en la forma que se usan las diferentes formas de capas para crear una pieza. Las principales tecnologías de impresión se detallan en la siguiente tabla (Conde, 16).

Tabla 1
Tipos de impresoras

Tipo	Tecnología	Material
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FMD)	Termoplásticos (PLA, ABS, TPU, PET, HIPS, Etc.) Metales eutécticos, materiales comestibles.
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF3)	Casi cualquier aleación de metal.
Granulado	Sinterizado de metal por láser (DMLS) Fusión por haz de electrones (EBM) Sinterizado selectivo por calor (SHS) Sinterizado selectivo por láser (SLS) Proyección aglutinante (DSPC)	Casi cualquier aleación de metal. Aleación de titanio. Polvo térmico Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos. Yeso
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, papel aluminio, capa de plástico.
Fotoquímicos	Esterolitografías (SLA) Foto polimerización por luz ultravioleta (SGC)	Fotopolímeros y resinas fotosensibles Fotopolímeros y resinas fotosensibles

NOTA. Fuente: (Conde, 16)

2.3. Sistemas de movimiento para impresoras 3D FMD

Existen diferentes tipos de movimientos en impresoras 3D FMD tales como cartesianas, polares, deltas y brazos robóticos. (3Dnatives, 2017).

2.3.1. Sistema tipo delta

Basada en el robot delta, en su configuración el extrusor se encuentra suspendido mediante 3 brazos articulados que se deslizan hacia arriba y abajo sobre guías verticales dispuestas triangularmente, y conteniendo una cama de impresión circular fija (Sanches, 2015).



Figura 1 Sistema tipo delta Fuente: (Sanches, 2015).

2.3.2. Sistema tipo cartesiana

Son más comunes en el mercado, reciben este nombre gracias a su sistema de coordenadas dimensionales (ejes X, Y y Z), que se utiliza para determinar dónde y cómo moverse en tres dimensiones, determinando una correcta colocación del cabezal de impresión, corrigiendo la dirección del movimiento (3Dnatives, 2017).

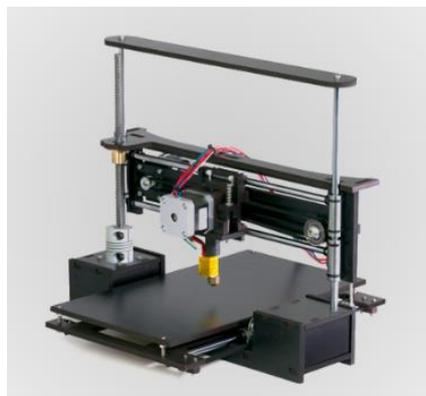


Figura 2. Sistema tipo cartesiano Fuente: (Sanches, 2015).

2.3.3. Sistema tipo polar

A diferencia de la cartesiana, utiliza coordenadas polares, que describen puntos en una cuadrícula circular en lugar de un cuadrado, no determinadas por los ejes X, Y, Z pero con un ángulo y longitud, eso significa que la cama de impresión gira y el cabezal de impresión se mueve hacia arriba, abajo, izquierda derecha y el extrusor de arriba abajo, teniendo como ventaja que puede funcionar solo con dos motores. (3Dnatives, 2017).

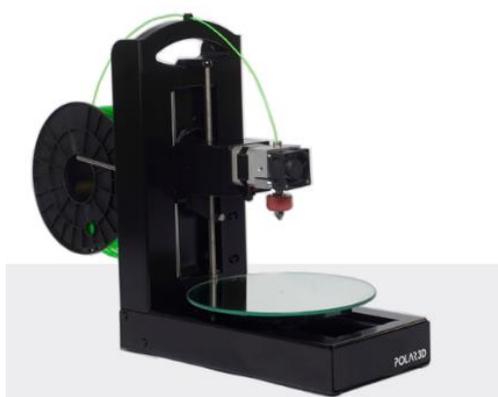


Figura 3. Sistema tipo polar Fuente: (3D Printing Database, s.f.).

2.3.4. Sistema tipo brazo robótico

Estos son más utilizados en el montaje de piezas de automóviles, aunque en la impresión está todavía en desarrollo. (3Dnatives, 2017).

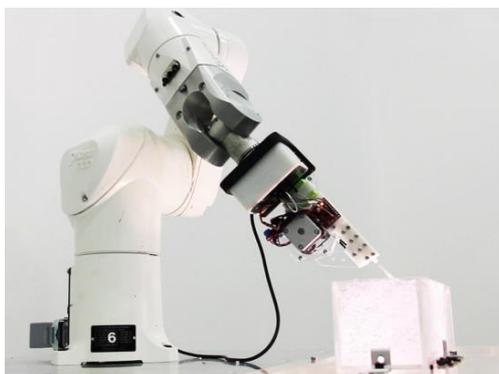


Figura 4. Sistema tipo brazo robótico Fuente: (Sanches, 2015).

2.4. Control Numérico por Computador “CNC”

El control numérico por computador o CNC (Computer Numerical Control), es todo aquel dispositivo que mediante órdenes elaboradas y predeterminadas por medio de un lenguaje de programación de un ordenador o computador pueda contar con la capacidad de dirigir el posicionamiento en diferentes planos de un dispositivo mecánico (Marin, 2012).

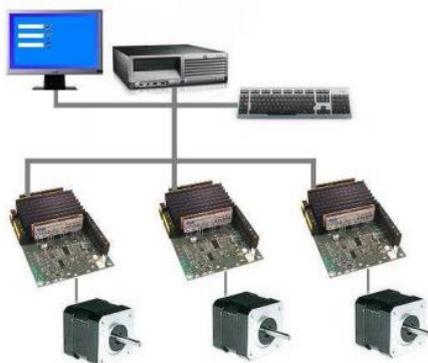


Figura 5. Diagrama de control numérico Fuente: (Marin, 2012).

En la revolución industrial de 1770, las máquinas eran operadas a mano, las que con el tiempo se fueron automatizando con la ayuda del vapor, electricidad y materiales avanzados. Con el final de la segunda guerra mundial en 1945 se desarrolla la computadora electrónica y en los años 50 se la utiliza en una máquina herramienta, naciendo el primer control numérico debido a las necesidades de la industria aeronáutica para la creación de hélices y otras piezas (MCNC, 2014).

Con la evolución de la electrónica se puede decir que han existido cuatro generaciones de control numérico como son las válvulas electrónicas y relés en 1950, los transistores en 1960, los circuitos integrados en 1965 y los microprocesadores en 1975 (MCNC, 2014).

Actualmente la automatización total en máquinas CNC conectadas a un ordenador central con funciones de almacenamiento, comunicación y ejecución de programas, con la finalidad de eliminar la intervención humana en los procesos de producción en masa, dando el control

numérico una flexibilidad para incrementar la producción disminuyendo la mano de obra directa (MCNC, 2014).

2.4.1. Tipos de control numérico

En función del trabajo que realizan según la trayectoria de mecanizado tenemos:

Máquina de control punto a punto

Esta máquina mecaniza solo los puntos iniciales y finales, pero no la trayectoria. Los parámetros como el trazado y la velocidad no son controlados en este tipo de máquina; un claro ejemplo sería la taladradora o punteadora (CARMAN, 2015).



Figura 6. Taladradora Fuente: (Taladradora, s.f.).

Máquinas de control pariaxial

En estas se pueden programar los desplazamientos y la velocidad a lo largo de toda la trayectoria. Solo se tiene una puntualización y es que la trayectoria debe ser paralela a los ejes, un ejemplo de esta máquina son los tornos (CARMAN, 2015).



Figura 7. Torno Fuente: (Indumetan, 2016).

Máquinas de control interpolar o continuo.

Son las más polivalentes en cuanto a mecanizado, en este caso las máquinas del contorneado nos ofrecen la posibilidad de realizar mecanizados a lo largo de las trayectorias de cualquier tipo. Estas máquinas son las que tienen una orientación clara a las piezas diseñadas y simuladas por ordenador. Un ejemplo de este tipo son las fresadoras (CARMAN, 2015).



Figura 8. Fresadora Fuente: (Máquinas y Herramientas, 2015).

2.5.Sistema de movimiento

2.5.1. Materiales

2.5.1.1. Aleación de aluminio

El aluminio está presente en muchas aplicaciones, las aleaciones 6xx y 7xxx, tienen propiedades mecánicas diferentes, como resistencia a la corrosión, dureza para mecanizado y soporte de carga entre las más importantes.

La serie 7xxx, contiene porciones del 1 al 8% de Zn, elemento en mayor proporción de esta aleación, ocasionalmente se puede añadir cantidades pequeñas de Mg para que esta sea tratable térmicamente. Se puede además añadir otros aleantes tales como cobre “Cu”, o cromo “Co” en cantidades pequeñas. Al ser esta aleación alta en dureza puede llegar a ser utilizada en estructuras de aviones, equipos móviles y en partes altamente forzadas. (Toledo, y otros, 2014)

2.5.1.2. Acero inoxidable

El acero es una aleación de hierro “Fe” y carbono “C” siempre que este contenga un porcentaje menor al 2 por ciento, puede también incluir esta aleación materiales como cromo “Cr”, níquel “Ni”, o manganeso “MN”. (Acero Inoxidable Qué es, Componentes, Tipos y Propiedades, s.f.)

En el acero inoxidable se añade cromo en un porcentaje mínimo de 10.5 por ciento a la aleación con la finalidad de evitar la oxidación del acero. El cromo al poseer una gran interacción con el oxígeno y al reaccionar con él, forma una película de óxido de cromo que impide que el oxígeno continúe penetrando en el metal evitando la corrosión y oxidación de hierro o del acero (Acero Inoxidable Qué es, Componentes, Tipos y Propiedades, s.f.)

2.5.2. Motores

El sistema de movimiento debe ser fluido y preciso, con el fin de tener una excelente dinámica, los actuadores electrónicos son esenciales, para obtener una mejor precisión y exactitud de la posición del sistema de movimiento lineal.

Existen varios tipos de actuadores electrónico, los cuales a continuación, serán detallados con sus respectivas características en la siguiente tabla.

Tabla 2.
Tipos de motores

Tipo de motor	funcionamiento	Angulo de giro	Control
Motor de corriente continua	Son motores que tienen bobinas que son accionadas por la excitación de las escobillas que reciben la corriente	El ángulo de giro son 360°, carece de control de posicionamiento del rotor.	Para estos motores no existe un control exacto de la corriente, puede controlarse con una precisión reducida.

Motor paso a paso	Son motores que trabajan con corriente directa, tienen facilidad de obtener su torque y se activan las bobinas de acuerdo al orden de excitación de las mismas para su funcionamiento.	Los motores paso a paso tienen bobinas que permiten tener control de la posición angular del rotor, para cualquier ángulo o posición necesaria.	Un circuito aparte, sirve para el control del orden de excitación de las bobinas para obtener el ángulo requerido en la aplicación.
Servomotor	Los servomotores tienen precisión pero no altas velocidades, además posee una caja reductora acoplada, para regular la velocidad y fuerza.	Para el ángulo de giro de los servomotores, su alcance de giro es de 45°, 90° y 180°, ya que no permite tener un giro completo	Para controlar la posición, existe un pin que permite controlar el PWM, para tener una posición.

NOTA. Fuente: (Ramires, Jiménez, & Carreño, 2014)

2.5.3. Sistema ScrewsBall

Este sistema proporciona ventajas como mayor eficiencia, precisión, mayor capacidad de carga, mayor esperanza de vida, mayores velocidades de operación y capacidad de retroceder, tienen un porcentaje muy alto a la habilidad de transferir casi toda la potencia rotativa al movimiento lineal, alcanzando una eficiencia en un 90 por ciento o más: gracias a que los tornillos de bolas se interconectan a un rodamiento de bolas reduciendo radicalmente la fricción. Los tornillos tienen un costo más elevado que los tornillos comunes (Overby, 2010).



Figura 9. Tornillo de bolas Fuente: (Tornillo Y Tuerca De Bolas Sfu Rm1605x350mm , s.f.)

2.6.Sistema eléctrico

2.6.1. Fuente

Una fuente de poder o fuente de alimentación, es un elemento de hardware, se trata de un dispositivo que es utilizado para proveer la energía necesaria para el funcionamiento de un sistema o planta que la requiera.

Este dispositivo es vital, ya que no solo alimenta de electricidad a la placa controladora, sino que también genera la energía necesaria para el buen funcionamiento de la máquina (Fuentes de Poder , 2010).



Figura 10. Fuente 24V Fuente: (Fuente de Poder 24V 360W 15 Amperes Luces Led, s.f.)

2.6.2. Tarjeta controladora Duet

El Duet es una placa controladora de impresora 3D compatible con Arduino Due. Este controlador de impresora 3D combina el micro controlador Arduino Due de 32 bits con, Ethernet, ranura para tarjeta SD Hi-Speed y más (RepRap, 2016).



Figura 11. Tarjeta duet Ethernet Fuente: (RepRap, 2016)

2.6.3. PanelDue

PanelDue es un panel de control gráfico a todo color sensible al tacto para impresoras 3D. Aunque está diseñado principalmente para su uso con duet electronics, también funciona con otros componentes electrónicos de la impresora 3D que admite un verdadero puerto serie e incluyen el soporte requerido en el firmware, por ejemplo, RADDs. El soporte para PanelDue está presente en RepRapFirmware y en proceso de ser agregado a Repetier y Smoothieware. (PanelDue for 3D printers, 2015)



Figura 12. Panel due Electrónica de impresión Fuente: (PanelDue for 3D printers, 2015)

2.7. Sistema de control

2.7.1. Sistema de lazo abierto

Los sistemas de control lazo abierto, en donde ninguna salida es medida o retroalimentada para comparar con la entrada. En cualquier sistema de control de lazo abierto la salida no es comparada con la señal de referencia o entrada, entonces, para cada referencia de entrada corresponde una condición de operación fija y dependiente de una calibración, en donde al existir perturbaciones en el sistema de control de lazo abierto no realiza la tarea deseada. Siendo usado en la práctica, solo si la relación entre la entrada y la salida es conocida y si no existen perturbaciones externas o internas. Ver figura (Ogata, 2010)

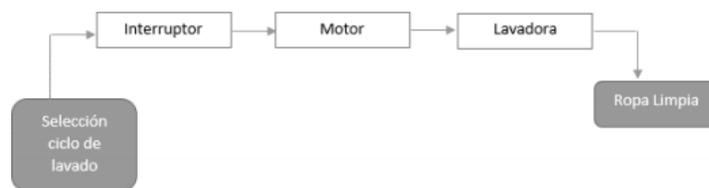


Figura 13. Sistema lazo abierto Fuente: (Ogata, 2010)

2.7.2. Sistemas de lazo cerrado

Los sistemas de control de lazo cerrado o sistemas de control por realimentación, son utilizados en sistemas de mayor complejidad ya que en un sistema de control de lazo cerrado se tiene una señal de error, la cual es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de retroalimentación (esta señal puede ser una salida como tal o una función de la señal de salida que puede ser derivado o a su vez integrada), la cual mediante un controlador se reduce el error y llevar a la salida del sistema al valor deseado (Ogata, 2010).

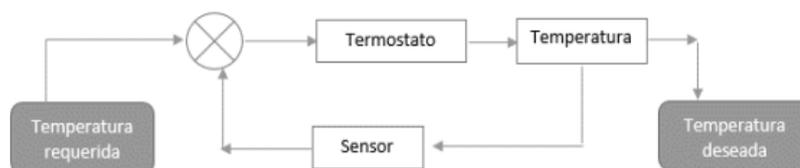


Figura 14. Sistema lazo cerrado Fuente: (Ogata, 2010)

2.8. Software open source

Open source es el término al que se da a un desarrollo libre. El código abierto está orientado a los beneficios prácticos de compartir código para un uso libre y la obtención de nuevas mejoras. El uso del código abierto nació en 1998 de la mano de usuarios de la comunidad de software libre. El código abierto tiene una serie de requisitos necesarios para que un programa entre en este, tales como, libre distribución, código fuente, trabajos derivados, integridad del código fuente del autor, distribución de licencia, entre otros. Siendo esta la filosofía al trabajar con un código abierto. (Open Source , 2012)

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Selección del sistema de generación de movimiento.

3.1.1. Requerimientos

Se requiere de un sistema de generación de movimiento que no solo permita describir una trayectoria para impresión 3D, sino que se pueda incorporar otras funciones que aprovechen el control numérico por computador, tales como el fresado, el corte o grabado por láser entre otros que formarán parte de la continuación del proyecto de investigación. Por lo que el sistema tiene que contar con fuerza en sus ejes de impresión y una mayor precisión en su ubicación.

Se requiere tener en cuenta que al momento de armar, desarmar, realizar mantenimiento o sufrir algún daño imprevisto la máquina, sea posible realizarlo de forma fácil y sin demora con la finalidad de ahorrar tiempo y facilidad al operario, consideración tomada como referencia a la NORMATIVA alemana VDI 3206.

3.1.2. Sistemas de impresión o CNC

Mediante los requerimientos ya establecidos y las especificaciones de los tipos de sistemas cartesiano, polar, delta, polar y brazo robótico se pondera cada uno de los tipos para seleccionar la mejor opción.

Tabla 3.
Selección sistema de impresión FDM

Tipo	Facilidad de montaje	Fuerza lineal	Uso de opciones en transmisión de movimiento	Mantenimiento	Total
Cartesiana	3	4	4	4	15
Delta	3	2	0	5	10
Polar	4	2	4	4	14
Brazo robótico	2	2	3	3	10

NOTA. En la tabla se califica con valores que van de 0 a 5, siendo 0 el valor con menor aceptación y el 5 con la mayor aceptación.

Construir un sistema cartesiano permitirá tener una mayor precisión y a la vez contar con mayor fuerza para una siguiente etapa en la que se implementará un sistema de fresado y corte por láser para prototipo rápido. A la vez el sistema cartesiano ofrece un nivel de precisión alto y una facilidad para que su montaje y desmontaje sea más sencillo mediante el uso de módulos independientes en cada eje.

3.2. Diseño mecánico del sistema de movimiento.

Para diseñar el sistema de movimiento se tomará en cuenta que el movimiento en los ejes X, Y, Z, será cada uno independiente. Cada eje se diseñará mediante módulos para facilitar su montaje y desmontaje sin tener que desarmar toda la máquina al momento de un daño o mantenimiento por secciones según este lo amerite.

3.2.1. Diseño de módulos

Para realizar el diseño de módulos se toma en cuenta las dimensiones, la carrera de trabajo, precisión y resolución.

Selección de traslación de movimiento lineal

Se tiene dos alternativas para la traslación de movimiento mediante tornillo o poleas, para determinar la que cumple con las especificaciones planteadas se realizará la ponderación para la elección.

Tabla 4.
Selección sistema de transmisión de potencia

Característica	Sistema ScrewsBall	Sistema de polea
Mayor fuerza lineal	X	
Mayor velocidad		X
Mayor resolución	X	
Mayor precisión	X	
Menor costo		X
Mayor eficiencia	X	
Mantenimiento más sencillo		X
Mayor seguridad	X	
Mayor durabilidad	X	
Mayor carrera		X
Total	6	4

NOTA. En la tabla 4 se califica con una X al sistema más conveniente con la característica pedida.

El sistema de screwsball tiene como ventaja una mayor fuerza lineal aprovechando más eficientemente el torque proporcionado por el motor, mayor resolución, precisión, como una mayor seguridad y durabilidad gracias al rodamiento de bolas que reducen el desgaste al tener menor contacto y rozamiento con el tornillo.

Bosquejo seleccionado.

Se realizan varios bosquejos del módulo ver figura 15 en donde se tiene un bosquejo sin partes que puedan separarse.

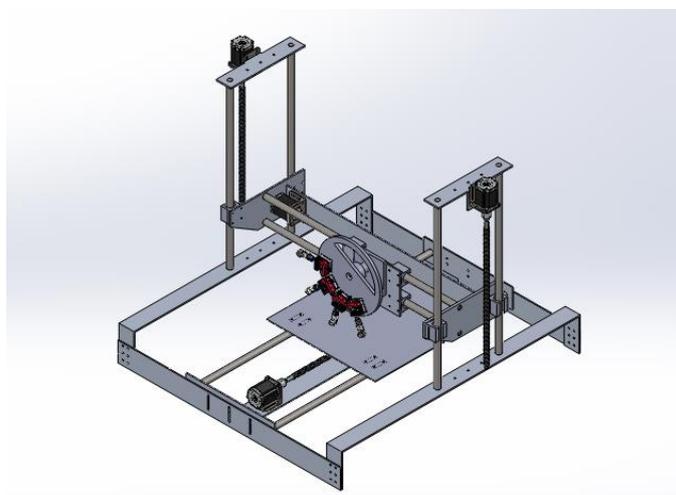


Figura 15 bosquejo inicial

Se escoge un bosquejo conformado por un sistema screwsball y más óptimo en sus dimensiones, ver figura 16, teniendo en cuenta que el sistema tendrá una carrera de 400mm.

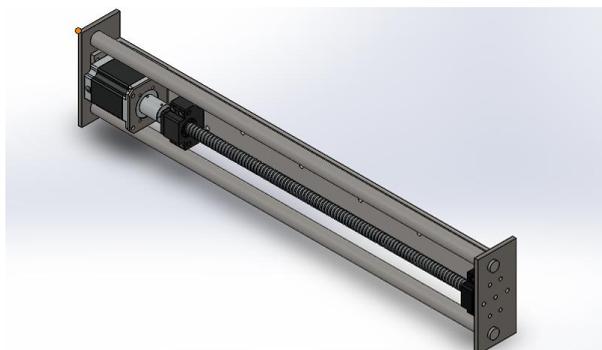


Figura 16. Módulo de eje x

Cálculo de torque para el tornillo de potencia.

Un tornillo de potencia generalmente trabaja sometido a un rozamiento elevado por la fricción continua entre la rosca y la tuerca, lo que influye en su eficiencia. No obstante este inconveniente es reducido en gran parte con el uso de rodamientos de bolas o collarines, permitiendo disminuir el coeficiente de rozamiento (Tornillos de potencia, s.f.)

Selección de tipo de rosca

En tornillos de potencia, screwsball a diferencia de los tornillos normales cuentan con una configuración con bolas que recirculan en el collarín reduciendo el rozamiento permitiendo aprovechar al máximo su eficiencia a diferencia de un tornillo con collarín normal, ver figura 17, (HIWIN, 2016).

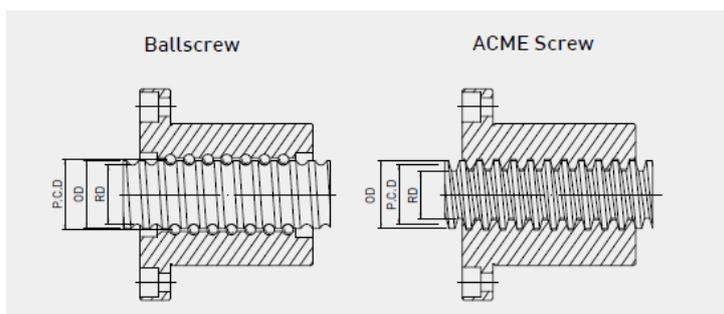


Figura 17. Configuración básica de husillos de bolas y de rosca de contacto **Fuente:** (HIWIN, 2016)

Al escoger una rosca tipo ballscrew, se contará con la capacidad de reducir al máximo la fuerza de rozamiento en el collarín con lo que se tendrá la mayor eficiencia posible en sistema, con el cual se selecciona un tornillo con las siguientes características:

- Alto rendimiento de vida útil a bajas fricciones, bajo ruido en el funcionamiento.
- Se requiere menor potencia de funcionamiento, menor calentamiento, no tiene efecto de antideslizamiento, posicionamiento más preciso.
- Fuerzas axiales elevadas, pequeña pérdida de fricción y alta eficiencia.
- Tornillo M16, acero de rodamiento, de 55mm de carrera.
- Eficiencia cerca de 90%.



Figura 18. Tornillo screwball Fuente: (HIWIN, 2016)

Configuración del tornillo

La condición del tornillo de tipo súper serie T, donde el camino de recirculación está conectado en tangente, formado entre el túnel del componente de recirculación y el canal de tornillo. Esta ruta de recirculación tangencial reduce en gran medida la fuerza de arrastre, lo que resulta en un movimiento de rotación más suave de la red de la bola hacia el eje, obteniendo

la velocidad de rotación máxima, un movimiento suave, de alta velocidad, bajo Ruido y larga vida útil, figura 19 (HIWIN, 2016).

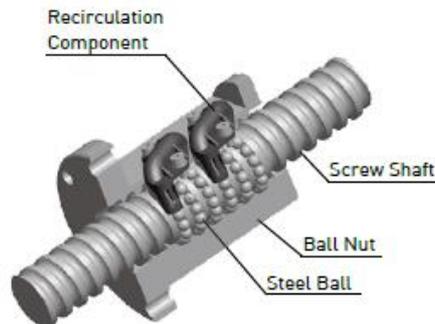


Figura 19. Serie súper T Fuente: (HIWIN, 2016).

Calculo de precarga

Para calcular la precarga para el tornillo ver ecuación (1) (HIWIN, 2016):

$$p = \frac{F_{bm}}{2.8} \quad (1)$$

donde

P : Fuerza de precarga

F_{bm} : Carga operativa media

$$T_d = \frac{K_p * P * \iota}{2\pi} \quad (2)$$

donde

T_d : Par de arrastre de precarga

P : Precarga

ι : Paso

K_p : Coeficiente de par de precarga

$$K_p = \frac{1}{\eta_1} - \eta_2$$

η_1, η_2 : Son las eficiencias mecánicas del husillo de bolas

Para transmisión común (para convertir movimiento giratorio a movimiento lineal) (HIWIN, 2016).

$$\eta_1 = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\alpha + \beta)} = \frac{1 - \mu \tan \alpha}{1 + \mu / \tan \alpha} \quad (3)$$

Para la transmisión inversa (para convertir el movimiento rotatorio lineal en movimiento rotatorio) (HIWIN, 2016).

$$\eta_2 = \frac{\tan(\alpha - \beta)}{\tan(\alpha)} = \frac{1 - \mu / \tan \alpha}{1 + \mu \tan \alpha} \quad (4)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{l}{\pi D_m} \quad (5)$$

$$\beta = \tan^{-1} \mu \quad (6)$$

donde

α : Ángulo de avance

β : Ángulo de fricción(0.17 ~ 0.57)

D_m : Diametro del circulo de paso del eje del tornillo

μ : Coeficiente de fricción(0.003 ~ 0.01)

Servicio de vida

Número promedio de rpm (HIWIN, 2016).

$$n_{av} = n_1 * \frac{t_1}{100} + n_2 * \frac{t_2}{100} + n_3 * \frac{t_3}{100} + \dots \quad (7)$$

donde

n_{av} : Velocidad media

n : Velocidad

$t_1/100$: % de tiempo de velocidad n_1 etc

Carga operativa promedio (HIWIN, 2016).

$$F_{bm} = \sqrt[3]{F_{b1}^3 * \frac{t1}{100} * f_{p1}^3 + F_{b2}^3 * \frac{t2}{100} * f_{p2}^3 + F_{b3}^3 * \frac{t3}{100} * f_{p3}^3 \dots} \quad (8)$$

donde

F_{bm} : Carga promedio

f_p : Factor de condicion de operación

f_b : 1.1 ~ 1.2 cuando se ejecuta sin impacto

1.3 ~ 1.8 cuando se ejecuta en condiciones normales

2.0 ~ 3.0 cuando se ejecuta con gran impacto y vibraciones

Con carga variable y velocidad constante (HIWIN, 2016).

$$F_{bm} = \sqrt[3]{F_{b1}^3 * \frac{n1}{n_{av}} * \frac{t1}{100} * f_{p1}^3 + F_{b2}^3 * \frac{n2}{n_{av}} * \frac{t2}{100} * f_{p2}^3 + F_{b3}^3 * \frac{n3}{n_{av}} * \frac{t3}{100} \dots} \quad (9)$$

Con carga variable lineal y velocidad constante (HIWIN, 2016).

$$F_{bm} = \frac{F_{b \min} * f_{p1} + 2 * F_{b \max} * f_{p2}}{3} \quad (10)$$

Si solo es una tuerca ver ecuación, (HIWIN, 2016).

$$L = \left(\frac{C}{F_a}\right)^3 * 10^6 \quad (11)$$

donde

L : Vida de servicio en revoluciones

C : Clasificación de carga dinamica

Conversión de revoluciones a horas, ver ecuación (13), (HIWIN, 2016).

$$L_h = \frac{L}{n_{av} * 60} \quad (11)$$

donde

L_h : Vida de servicio en horas

Transmisión común (HIWIN, 2016).

$$T_a = \frac{F_b + \iota}{2\pi\eta_1} \quad (123)$$

donde

T_a : Par motor para transmisión común

$F_b = F_{bm} + \mu * W$: Carga axial

η_1 : Eficiencia mecánica (0.9 ~ 0.95) Ref. (3)

W : Peso de la mesa + peso de la pieza de trabajo

Transmisión de reversa (HIWIN, 2016).

$$T_b = \frac{F_b * \iota * \eta_2}{2\pi} \quad (134)$$

donde

T_c : Par motor para transmisión de reversa

η_2 : Eficiencia mecánica. (0.9 ~ 0.95) Ref (4)

Par de accionamiento del motor (HIWIN, 2016).

$$T_M = (T_a + T_b + T_c) * \frac{N_1}{N_2} \quad (145)$$

donde

T_M : Par motor

T_b : Par de fricción del coginete de soporte

T_d : Par de arrastre de precarga. Ref (2)

T_a : Par motor para transmisión común

N_1 : Número de dientes para engranaje conductor

N_2 : Número de dientes para engranaje conductor

Para operación de aceleración (HIWIN, 2016).

$$T'a = J\alpha \quad (156)$$

donde

$T'a$: Par motor durante la aceleración

J : Sistema de inercia

α : Aceleración angular (HIWIN, 2016).

$$a = \frac{2\pi N_{dif}}{60t_a} J a \quad (167)$$

$$N_{dif} = rpm_2 - rpm_1$$

$$J = J_M + J_{G1} + J_{G2} \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 + \frac{1}{2g} W_s \left(\frac{D_N}{2}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 + \frac{W}{g} \left(\frac{t}{2\pi}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (178)$$

donde

W_s : Peso del husillo

D_N : Diametro nominal del husillo

g : Gravedad

J_M : Inercia del motor

J_{G1} : Inercia del engrane 1

J_{G2} : Inercia del engrane 2

J : Sistema de inercia

Par motor operacional total (HIWIN, 2016).

$$T_{Ma} = T_M + T'_a \quad (19)$$

La inercia de un disco concéntrico se calcula de la siguiente manera (HIWIN, 2016).

$$J = \frac{1}{2g} \pi p_4 R^4 L \quad (20)$$

donde

J : Inercia del disco

p_4 : Peso específico del disco $\left(7.8 * \frac{10^{-6} kgf}{mm^3}\right)$

R : Radio del disco

L : Longitud del disco

g : Gravedad

Poder del conductor (HIWIN, 2016).

$$P_d = \frac{T_{pmax} * N_{max}}{974} \quad (21)$$

donde

P_d : Máximo poder conductor

T_{pmax} : Máximo par motor

N_{mas} : Máxima velocidad de rotación

Verificación del tiempo máximo de aceleración (HIWIN, 2016).

$$t_a = \frac{J}{T_{MI} - T_L} * \frac{2\pi N_{max}}{60} * f \quad (22)$$

donde

t_a : Tiempo creciente de aceleración

J : Momento total de inercia

$T_{MI} = 2 * T_{mr}$

T_{mr} : Par nominal del motor

T_L : Par motor de alimentación nominal

f : Factor de seguridad=1.5

Consideraciones para el cálculo

Peso de mesa $W_1 = 100\text{N}$

Peso de trabajo $W_2 = 300\text{N}$

Coefficiente de fricción $\mu = 0.02$

1.2 al ser una carga sin impacto

Velocidad de aceleración $= 100 \text{ rad/sec}^2$

Condición del motor

Diámetro nominal $= 16\text{mm}$

Peso $= 15\text{N}$

Longitud $= 480\text{mm}$

Sin reacción con fuerza axial $= 1000\text{N}$

Par de rodamiento $= 0.018 \text{ Nm}$

Eficiencia mecánica $\eta_1 = 0.90$

Tabla 5.

Condiciones de cálculo

Condición	Fuerza axial (N)	Revoluciones (rpm)	Relación de tiempo de carga (%)
	(Fb)	(n)	(t)
1	100	100	60
2	200	60	30
3	300	30	10

NOTA. Fuente: (HIWIN, 2016)

Memoria de Cálculo

$$n_{av} = 100 * \frac{60}{100} + 60 * \frac{30}{100} + 30 * \frac{10}{100} = 81rpm. Ref(7).$$

$$F_1 = 100, F_2 = 200, F_3 = 300$$

$$F_{bm} = \sqrt{100^3 * \frac{100}{81} * \frac{60}{100} * 1.2^3 + 200^3 * \frac{60}{81} * \frac{30}{100} * 1.2^3 + 300^3 * \frac{30}{81} * \frac{10}{100} * 1.2^3}. Ref(9)$$

$$F_{bm} = 182.51N$$

$$P = \frac{200}{2.8} = 71.43N(fuerza axial200N). Ref(1)$$

$$F_b = F_{bm} + \mu W = 208N$$

$$T_a = \frac{F_b * l}{2\pi\eta_1} = \frac{208 * 0.005}{2\pi * .90} = 0.184Nm. Ref(13)$$

$$T_d = 0.2 * \frac{P * l}{2\pi} = \frac{0.2 * 71.43 * 0.005}{2\pi} = 0.012Nm. Ref(14)$$

$$T_M = (T_a + T_b + T_d) * \frac{N_1}{N_2} = (0.184 + 0.012 + 0.18) * 1 = 0.332Nm. Ref(15)$$

Inercia del motor

$$J = \frac{1}{2 * 9.81} * \pi * 76494.6 * (0.03)^4 * 0.1 = 9.921 * 10^{-8}Nmsec^2. Ref(20)$$

$$J_{G1} = J_{G2} = \frac{1}{2 * 9.81} * \pi * 76494.6 * (0.0125)^4 * 0.03 = 8.97 * 10^{-6}$$

$$J_{Gear(cq)} = J_{G1} + J_{G2} * \frac{N_1}{N_1} = 1.794 * 10^{-5}$$

Inercia del usillo

$$J_{ballscrew} = \frac{1}{2 * 9.81} * \left(\frac{0.016}{2}\right)^2 * 1 = 3.262 * 10^{-6}Nmsec^2$$

Inercia de la fuerza axial

$$J_{load} = \frac{400}{9.81} * \left(\frac{0.005}{2\pi}\right)^2 * 1 = 2.582 * 10^{-5} Nmsec^2$$

Total inercia

$$J = 1.804 * 10^{-5} + 3.262 * 10^{-5} + 2.582 * 10^{-5} = 35 * 10^{-5} Nmsec^2. Ref(18)$$

Total par motor

$$T'a = J * a = 3.805 * 10^{-5} * 100 = 5 * 10^{-3} Nm. Ref(16)$$

$$T_{Ma} = T_M + T'a = 3.805 * 10^{-3} + 0.332 = 0.321 Nm. Ref(19)$$

Factor de seguridad

$$T_{pmax} = 2 * 0.321 = \mathbf{0.642 Nm} (\text{factor de seguridad de } 2). Ref(22)$$

Se tiene un torque de 0.642 Nm para soportar una carga de 273 N

Diseño del eje para el modulo x, z.

La viga está sometida a una fuerza axial por lo que tendrá una deformación a causa del peso, (Goldenhorn, 2015), para realizar el diseño de esta se lo realizara de la siguiente forma:

Análisis de la carga a la que se encuentra sometida la viga, ver figura 20.

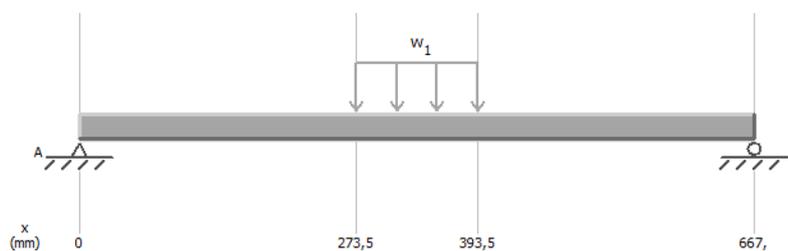


Figura 20. Diagrama de carga de la viga X, Z **Fuente:** Propia

Datos para diseño de la viga

Seccion redonda

$$W1 = 150N, \quad L = 0.667m$$

Acero bonificado AISI 4340, (Bohman, 2016), ver anexo 1.

Diseño de la viga mediante cálculo analítico.

Con la ayuda de un software de simulación, se obtiene la fuerza de corte máxima 75N y el momento flector máximo 25012,5 N-mm, ver figura 21.

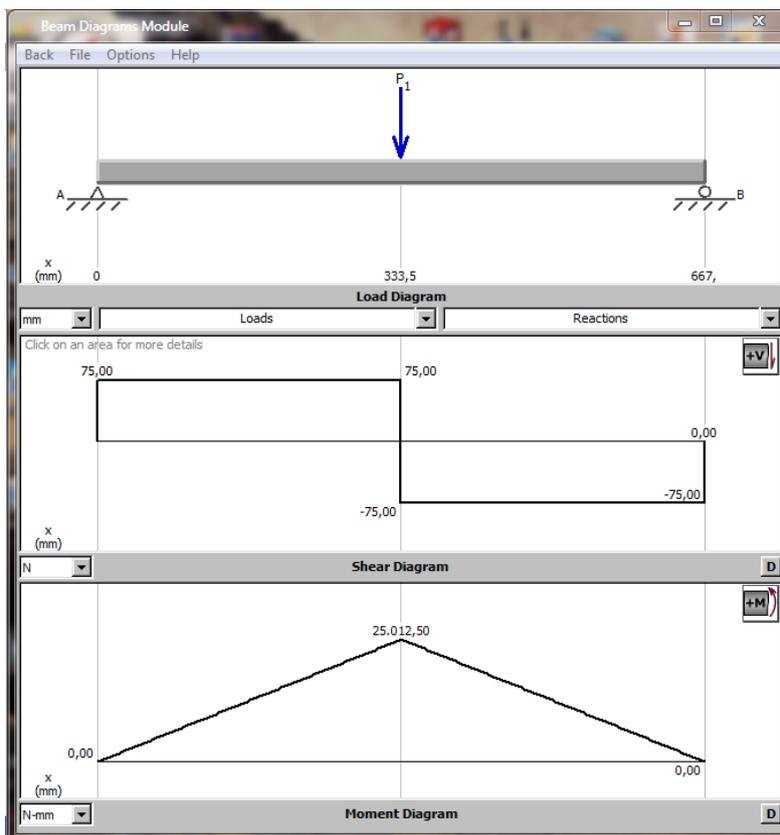


Figura 21 carga cortante

Calculo del mayor esfuerzo que sufre el eje, debido a la flexión.

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

donde:

σ : Esfuerzo a flexión

M : Momento de flexión

S : Módulo de sección

Se calcula el módulo de sección, que se obtiene con la siguiente formula:

$$S = 0,024(D_E^3 - D_I^3)$$

Entonces:

$$S = 0,024(20^3 - 0^3) = 192mm^3$$

$$\sigma = \frac{25012.5 \text{ N} \cdot \text{mm}}{192mm^3} = 130,27MPa$$

Se calcula el factor de seguridad con referencia al límite elástico del acero AISI 4340 normalizado ($S_y = 710MPa$)

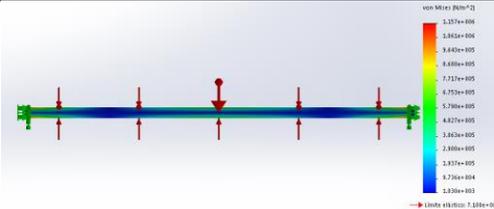
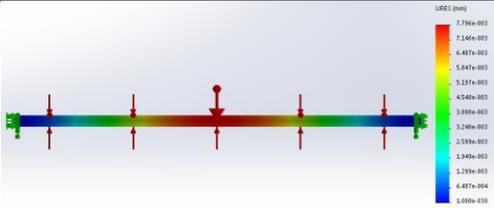
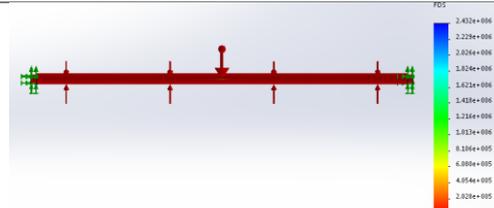
$$N = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$N = \frac{710}{130,27} = 5.45$$

Diseño de la viga mediante cálculo de elementos finitos.

Tabla 6.

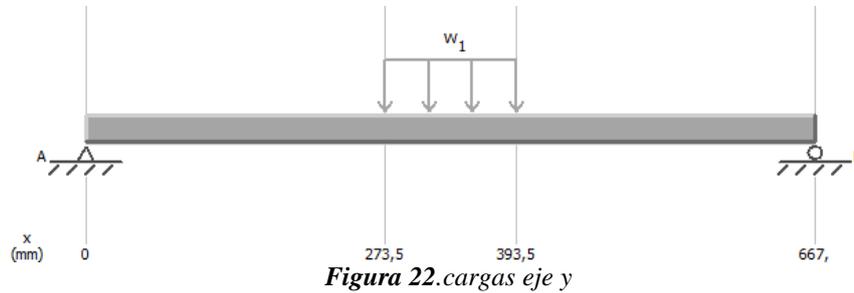
Resultados eje x, z

Resultados calculo por elementos finitos	
Propiedades volumétricas	Masa: 1.676 Kg Volumen: 0.0002134 m ³ Peso: 16.4296 N Densidad: 7850Kg/m ³
Características del material	Material: AISI 4340 Límite elástico: 7.1e+008 N/m ² Límite de tracción: 1.11e+009 N/m ² Modulo elástico: 2.05e+011 N/m ²
Resultado de tensiones	 <p>Limite elástico máximo de 1.157e+006 N/m²</p>
Resultado de deformación	 <p>Deformación máxima de 7.796e-003mm</p>
Factor de seguridad	 <p>Factor de seguridad de 1.393e+002=5.79</p>

Diseño del eje para el modulo Y.

Se realiza el diseño de este eje se lo realizara de la siguiente forma:

Análisis de la carga a la que se encuentra sometida la viga, ver figura 22.



Datos para diseño de la viga

Seccion redonda

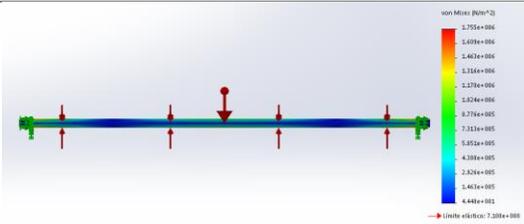
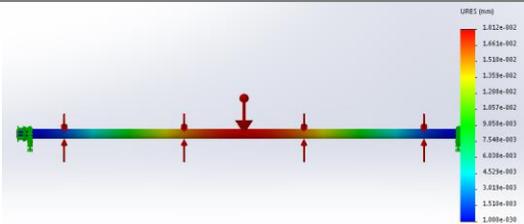
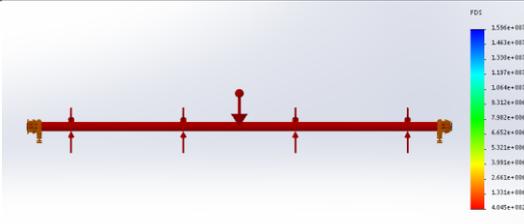
$$W1 = 200N,$$

$$L = 0.825m$$

Acero bonificado AISI 4340. (Bohman, 2016)

Diseño de la viga mediante cálculo de elementos finitos.

Tabla 7.
Resultados eje y

Resultados calculo por elementos finitos	
Propiedades volumétricas	Masa: 2.036 Kg Volumen: 0.000502 m ³ Peso: 19.9388 N Densidad: 7850Kg/m ³
Características del material	Material: AISI 4340 Límite elástico: 7.1e+008 N/m ² Límite de tracción: 1.11e+009 N/ m ² Modulo elástico: 2.05e+011 N/ m ²
Resultado de tensiones	 <p>Límite elástico máximo de 1.755e+006 N/m²</p>
Resultado de deformación	 <p>Deformación máxima de 1.812e-003mm</p>
Factor de seguridad	 <p>Factor de seguridad de 4.045e+002=4.84</p>

Rodamiento lineal

Según las características de cargas estáticas y cargas dinámicas del anexo 2, donde la carga estática determina en el punto máximo de esfuerzo entre las partes a contacto, una deformación permanente equivale 1/1000 del diámetro del elemento rodante, (NBS, Sistemas lineales, 2012). Este factor de seguridad del rodamiento se denomina como coeficiente de seguridad estático α_s , que viene expresado en la siguiente ecuación 24 (NBS, Sistemas lineales, 2012).

$$\alpha_s = \frac{f_c * f_B * C_O}{P} \quad (23)$$

Donde

α_s : Coeficiente de seguridad estático

f_c : Factor de contacto

f_B : Coeficiente de layout recirculaciones

C_O : Capacidad de carga estático[N]

P : Carga máxima aplicada[N]

Factor de contacto

El factor de contacto tiene como condición, “si se monta dos o más casquillos en un mismo eje, la durabilidad podría verse afectada por la falta de uniformidad en la distribución en las cargas aplicadas sobre los casquillos” (NBS, Sistemas lineales, 2012), ver tabla 8.

Tabla 8

.Factor de contacto

Factor de contacto f_c	
Numero de casquillo por eje	f_c
1	1.0
2	0.81
3	0.72
4	0.66
5	0.61

Fuente: (NBS, Sistemas lineales, 2012)

Al tener dos rodamiento lineales en el eje se tiene un factor de contacto de $f_c = 0.81$

Factor de recirculación

Para un sistema de guiado lineal del tipo eje-casquillo, la capacidad de cara estática C_O podrá ser aumentada en función de la posición de la carga F respecto a la posición de las bolas, esto resulta posible gracias a una mejor distribución de la carga sobre los elementos rodantes (NBS, Sistemas lineales, 2012), el coeficiente f_B respecto a la posición del rodamiento y el número de recirculación, ver figura 23

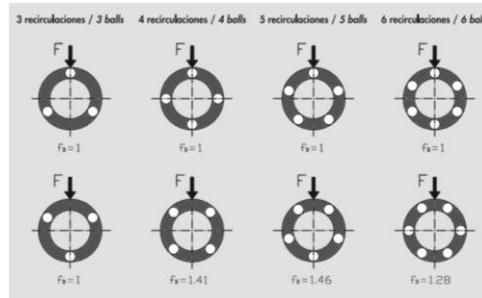


Figura 23. Numero de recirculaciones *Fuente:* (NBS, Sistemas lineales, 2012)

Para nuestro caso tenemos un rodamiento de 5 recirculaciones como se ve en la tercera opción superior con un factor $f_B = 1$.

Cálculo del factor estático

Al contar con un coeficiente de seguridad estático $\alpha_s > 1$ está determinada por la posibilidad de eventuales impactos y/o vibraciones, momentos de arranque y parada, cargas accidentales, elementos que si no se tuvieran en cuenta podría afectar la capacidad del sistema, (NBS, Sistemas lineales, 2012), y una vez conocidos los valores de los factores de contacto y recirculación procedemos a calcular nuestro factor estático.

Datos

$$f_C = 0.81$$

$$f_B = 1$$

$$C_o = 1400[N]$$

$$P = 200[N]$$

$$\alpha_s = \frac{0.81 * 1 * 1400N}{200N}$$

$$\alpha_s = 5.67$$

Al ser el coeficiente estático mayor a 1, ofrece una fiabilidad de un buen desempeño de los rodamientos sobre el eje.

Cálculo vida útil del rodamiento

Para realizar el cálculo de vida útil del rodamiento lineal se lo hará en km. Ver ecuación 25. (NBS, Sistemas lineales, 2012).

$$L = a_1 * \left(\frac{f_H * f_T * f_C * f_B * C}{f_W * P} \right) * 50 \quad (24)$$

Donde

L : Vida útil nominal

a_1 : Factor de probabilidad de rotura

f_H : Factor de dureza

f_T : Factor de temperatura

f_C : Factor de contacto

f_B : Factor de layout recirculaciones

f_W : Factor de carga

C : Capacidad de carga dinamica [N]

P : Carga aplicada [N]

Factor de probabilidad de rotura

Tabla 9.

Factor de rotura

Factor de probabilidad de no rotura a_1									
C%	80	82	90	92	95	96	97	98	99
a_1	1.96	1.48	1.00	0.81	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

NOTA. Fuente: (NBS, Sistemas lineales, 2012)

Se tomara en cuenta el 90 C% donde a_1 es 1, tomando como valor ideal para el rodamiento (NBS, Sistemas lineales, 2012)

Factor de dureza

Una dureza de la superficie de contacto menor a 58 HRC favorece al desgaste penalizado por lo tanto la vida útil del sistema (NBS, Sistemas lineales, 2012).

El valor ideal en el sistema eje-rodamiento es de 58HRC, pero la dureza del eje AISI 4340 es de 52HRC, por lo tanto el factor de dureza será $f_H = 0.7$, ver figura 24.

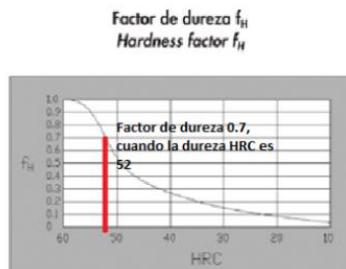


Figura 24. Factor de dureza **Fuente:** (NBS, Sistemas lineales, 2012)

Factor de temperatura

El rango permitido de trabajo del rodamiento está comprendido entre -20°C a 100°C , ver figura 25 indica la relación carga vs factor de temperatura, por lo cual se toma el valor de 1 como factor de temperatura para garantizar que el rodamiento en el mecanismo no exceda la temperatura de 100°C . (NBS, Sistemas lineales, 2012)

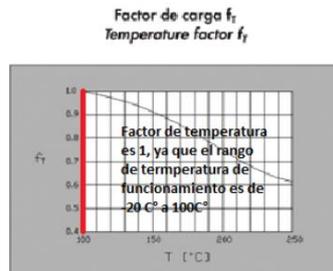


Figura 25. Factor de temperatura **Fuente:** (NBS, Sistemas lineales, 2012)

Factor de carga

Al tener un sistema de screwsball en el sistema se reducirán las vibraciones pero se tendrá una velocidad media ya que va estar propenso a impactos no deseados por lo que el factor de dureza a trabajar será de 1.5, ver tabla 10 (NBS, Sistemas lineales, 2012)

Tabla 10.
Factor de Carga

Factor de carga f_w	
Condiciones de trabajo	f_w
Ausencia de impactos y vibraciones y/o velocidad baja	$1.0 \div 1.5$
Impactos y vibraciones y/o velocidad media	$1.5 \div 2.0$
Impactos y vibraciones y/o velocidad alta	$2.0 \div 3.5$

NOTA. Fuente: (NBS, Sistemas lineales, 2012)

Cálculo de la vida útil

Datos

$$a_1 = 1$$

$$f_H = 0.7$$

$$f_T = 1$$

$$f_C = 0.81$$

$$f_B = 1.46$$

$$f_w = 2$$

$$C = 900[N]$$

$P: 100[N]$

$$L = 1 * \left(\frac{0.7 * 1 * 0.81 * 1.46 * 900}{1.5 * 200} \right)^3 * 50$$

$$L = 765.84 \text{ km}$$

Al ser calculado en el límite de la carga a soportar este valor calculado puede variar dependiendo de otras condiciones como:

- Flexión del eje
- Presencia de polvo
- Lubricación
- Montaje de guías
- Precarga

Sujetadores:

La longitud ideal del tornillo es aquella donde solo sobresalen una o dos roscas de la tuerca después de que se aprieta. Para seleccionar los tornillos a usar se lo hace mediante catalogo conociendo una carga de 100 N, produciendo un esfuerzo cortante en el tornillo. Ver anexo 3.

3.3.Diseño de la estructura

La estructura está diseñada para que se pueda ensamblar fácilmente los módulos, fácil maniobrabilidad en el traslado de la máquina y resistente a las cargas a actuar. Ver figura 26.



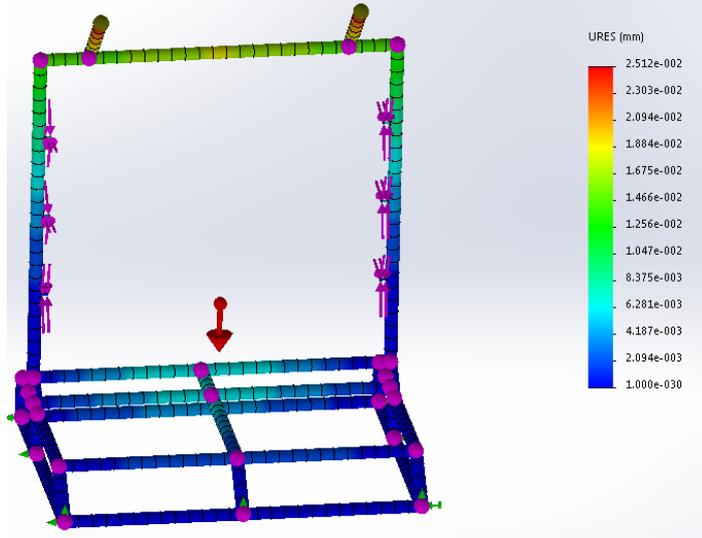
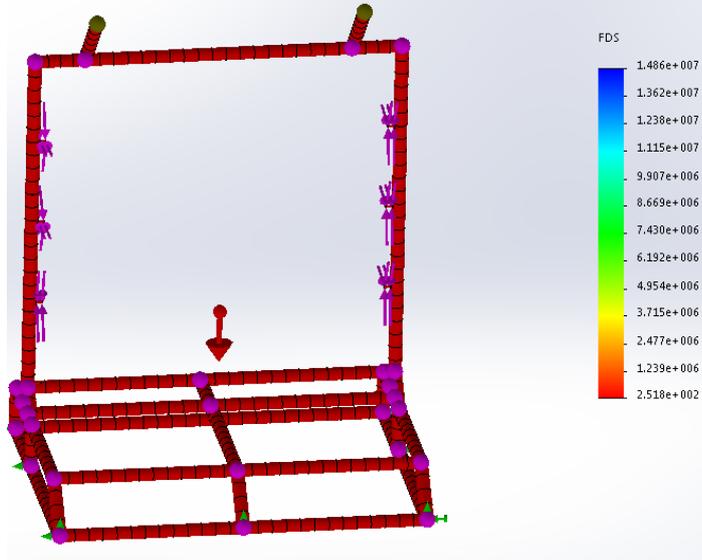
Figura 26. Estructura Fuente: Propia

El diseño de la estructura se realizará mediante el cálculo de elementos finitos.

Material AISI 304, ver anexo 4.

Sección cuadrada hueca.

Tabla 11.
Resultados estructura

Resultados calculo por elementos finitos	
Propiedades volumétricas	Masa: 15.94 Kg Peso: 159.37 N Densidad: 8000Kg/m ³
Características del material	Material: AISI 304 Límite elástico: 2.06e+008 N/m ² Límite de tracción: 5.17017e+008 N/ m ² Modulo elástico: 1.9e+011 N/ m ²
Resultado de tensiones	Se tiene un límite elástico máximo de 2.512+002 N/m ²
Resultado de deformación	 <p>Se tiene una deformación máxima de 1.812e-003mm</p>
Factor de seguridad	 <p>Se tiene un factor de seguridad de 2.5e+002</p>

NOTA. Fuente: Propia.

3.4.Sistema eléctrico y electrónico

Selección de los motores

En el sistema de generación de movimiento, se seleccionó el uso de motores a pasos y no un servo motor por las siguientes circunstancias,

En costos un motor a pasos es menor que un servo motor, tanto como el costo para el controlador del mismo.

El auto bloqueo en el sistema es alto, al contar con un tornillo el cual permite detener el movimiento lineal en el lugar posicionado sin que este sea alterado por otra fuerza.

Con el cálculo obtenido en el par motor del tornillo se tiene que es de 0.672 Nm, se escoge un motor de 1.2 Nm. Ver anexo 5.

Con la finalidad de que el sistema pueda proporcionar mayor fuerza para otras aplicaciones como fresado con lo cual se lograría obtener una fuerza de 525.54 N que equivale a una masa de 53.57 Kg.

Selección de la fuente

Al contar con 4 motores nema 23 en el sistema de generación de movimiento se tiene una corriente 2.5 amperios por cada motor con lo que se tiene una carga total de 10 amperios por lo que selecciona una fuente de 24v a 15 amperios.

Selección del cableado

Para que el cableado soporte el flujo de corriente sin sufrir recalentamiento se toma un cable de 1.4 mm de diámetro, el que tiene una capacidad máxima de intensidad de 11A, potencia máxima a un voltaje de 24V de 264W.

3.5.Sistema de control

Para realizar el control del sistema de movimiento se lo realiza mediante la electrónica duet 0.8.5 (RepRap, 2016), la cual tiene la capacidad de controlar los ejes X, Y, Z, mediante el firmware del software open source.

Configuración de la tarjeta

Cálculo de relación de motores

Para obtener la mayor precisión posible de los driver y los motores se realiza el cálculo de la relación, mismo que será introducido como parámetro en el firmware para poder obtener una medida correcta y una alta resolución evitando la pérdida de paso. La relación se la calcula de la siguiente forma.

$$R = \frac{N_p}{P} \quad (26)$$

donde

R: Cálculo de relación

N_p: Número de paso del driver

P: Paso por vuelta

$$R = \frac{3200}{5} = 640$$

El valor calculado para introducir en la configuración del firmware es de 640, este cálculo podría variar al momento de probar los módulos si no se consigue las velocidades deseadas al momento de comprobar los resultados

Tipo de control en el sistema de generación

El sistema de generación, es un sistema de lazo abierto ya que no se posee una realimentación en el sistema, pero si se cuenta con un sistema de protección para evitar choques utilizando finales de carrera.

CAPITULO IV

RESULTADOS

Para obtener los resultados del sistema de generación de movimiento es importante realizar un protocolo de pruebas para verificar el cumplimiento del alcance planteado y la eficiencia de la máquina al ser sometida a pruebas.

4.1. Evaluación de la máquina

Para evaluar el funcionamiento de la máquina se lo realizará en 6 fases las cuales son:

- Método de construcción
- Funcionamiento de los módulos sin y con carga, a baja y alta velocidad.
- Funcionamiento en conjunto de los módulos ensamblados sin y con carga.
- Facilidad de ensamblaje y mantenimiento por secciones y vibraciones.
- Funcionamiento total de la máquina
- Calidad de impresión

Método de construcción

Una vez obtenido el bosquejo total de la máquina, diseño y planos, se toma la decisión de simular y probar la construcción de un prototipo con materiales de bajo costo para probar la eficiencia del mecanismo de los módulos. Ver figura 27.



Figura 27. Modulo inicial de prueba

Comprobada el funcionamiento del módulo de prueba, en donde se tuvo un resultado favorable en cuanto al movimiento de traslación lineal, como en lo compacto para poder ser ensamblado a las demás partes de la máquina con facilidad, permitiendo realizar modificaciones

o mejoras de forma más rápida, por lo que se procedió a la construcción de los módulos de acuerdo a los planos establecidos.

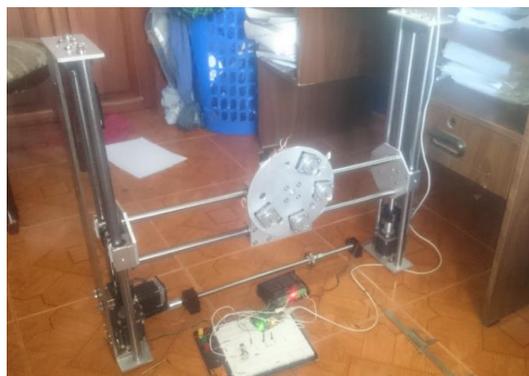


Figura 28. Módulos de X, Z

Se construyó una estructura temporal para comprobar el movimiento de los ejes X, Y, Z. ver figura 27. Al tener un buen resultado en la etapa preliminar, teniendo como resultado una fácil adaptación y calibración del ensamble de los módulos y una baja vibración de la máquina al momento del funcionamiento, se procedió a la construcción de la estructura definitiva, en acero inoxidable, considerando varias ventajas como: menor mantenimiento, mejor estética y acabado. Ver figura 29.



Figura 29. Montaje de módulos en estructura temporal.



Figura 30. Estructura definitiva en acero inoxidable

Uniendo los módulos a la estructura se obtiene la máquina completa. Ver figura 31.

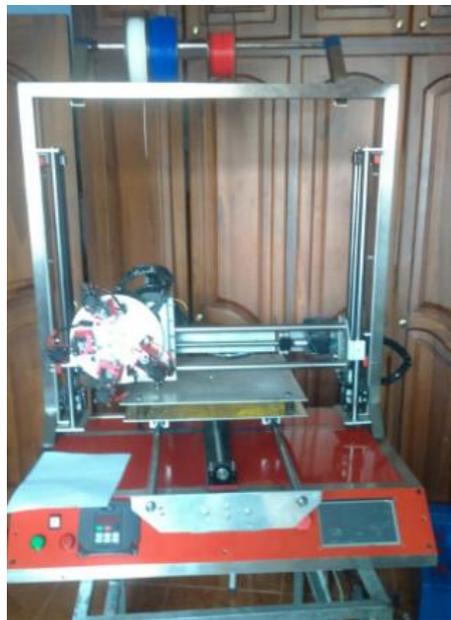


Figura 31. Impresora 3D Multi-extrusor

Funcionamiento de los módulos sin y con carga, a baja y alta velocidad.

Para obtener un correcto funcionamiento en el sistema de generación de movimiento se hicieron pruebas, sometiendo a los módulos a varias cargas en velocidades diferentes para obtener los resultados requeridos, teniendo en cuenta que se realizaron una media 25 periodos de pruebas comprendidos cada una cuatro etapas, sin carga a bajas velocidades, sin carga a altas velocidades, con carga a bajas velocidades y con carga a altas velocidades. Ver tabla 12.

Tabla 12.
Pruebas de carga

Característica	Resultado	Observación
Sin carga a bajas velocidades	Moviente suave sin pérdida de pasos	Sistema sin vibración
Sin carga a altas velocidades	Velocidad constante sin pérdida de pasos	Leve incremento de vibración
Con carga (20Kg) a bajas velocidades	Velocidad constante sin pérdida de pasos	Leve incremento de vibración
Con carga (20Kg) a altas velocidades	Velocidad constante sin pérdida de pasos	Leve incremento de vibración

Los módulos al ser probados individualmente en varias condiciones, no muestran cambios bruscos manteniendo las mismas condiciones con muy bajas alteraciones en todas las pruebas, dando un resultado satisfactorio.

Funcionamiento en conjunto de los módulos ensamblados sin y con carga.

Al ensamblar los módulos en conjunto a la estructura, la principal característica a evaluar es la correcta sincronía y bajar lo mayor posible las vibraciones en el sistema por lo que se hacen varias pruebas para obtener un correcto funcionamiento, teniendo en cuenta que se realizaron una media 25 periodos de pruebas comprendidos cada una dos etapas, una sin carga y la otra con carga. Ver tabla 13.

Tabla 13.
Resultado ensamblaje de módulos

Prueba	Resultado
Funcionamiento sin carga.	Baja vibración, sin pérdida de pasos o atrancamientos, coordenadas cartesianas correctas, buena sincronía a bajas y altas velocidades
Funcionamiento con carga (30 Kg)	Bajas vibraciones en el sistema, sin pérdida de pasos, coordenadas cartesianas correctas, buena sincronía a bajas velocidades, leves atrancamientos a altas velocidades

Al cumplir con la función de impresión no se necesita de mayor fuerza en el movimiento, ya que en la impresión se extruye material, que es depositado sin hacer esfuerzo alguno en la plataforma, en donde se puede aprovechar la máxima velocidad sin problema de atascos en el movimiento lineal. Al aumentar una carga se tiene leves atascamiento a alta velocidad por la pérdida de pasos en los motores, pero al probar con bajas velocidades se tiene un buen desplazamiento sin problema alguno, siendo excelente para el requerimiento para poder usar la máquina en otras actividades como fresado, ya que esta actividad se la realiza a bajas velocidades.

Facilidad de ensamblaje y mantenimiento por secciones y vibraciones.

El sistema modular proporciona grandes ventajas al permitir un ensamblaje rápido de la máquina ya que son de dimensiones más grandes que una impresora normal, permitiendo ahorrar tiempo al trasladarla de un lugar a otro y ponerla a funcionar.

Al ser un sistema modular se facilita el mantenimiento, ya que se puede realizarlo por secciones, al surgir un percance en cualquier parte de la máquina, se soluciona solo desmontando dicha falla sin afectar todo el sistema, contando con esta facilidad en la mayoría de componentes de la máquina.

Las vibraciones en la máquina son mínimas ya que al usar el sistema de screwball permite reducirlas al máximo, mejorando la estabilidad de la velocidad, la precisión y su funcionamiento prolongado.

Funcionamiento total de la máquina

Para aprovechar el funcionamiento total de la máquina se realizan pruebas de impresión, comprobando la velocidad de movimiento del cabezal y los ejes para comprobar si el cálculo de las relaciones ingresadas en el firmware son las correctas para mantener la mayor velocidad

posible respecto a la configuración de los pasos del driver, haciendo un estudio de las pruebas hechas para determinar la mayor velocidad, ver tabla 14.

Tabla 14.
Resultado de velocidades

Configuración del driver	Relación	Velocidad máxima sin pérdida de pasos	Resultado “resolución de impresión”	Observaciones
1	40	27.9 mm/s	0.025mm	Velocidad más alta en impresión, con altas vibraciones.
1/2	80	23.8 mm/s	0.0125mm	Alta velocidad de impresión, bajas vibraciones en desplazamientos en X, Y pero mayor vibración en Z.
1/4	160	18.2 mm/s	0.00625mm	Buena resolución en acabado con tiempos muy altos de impresión sin vibraciones en X, Y, y con vibraciones en Z.
1/8	320	13.5 mm/s	0.003125mm	Alta resolución en acabado con tiempos muy altos de impresión sin vibraciones.
1/16	640	7.5 mm/s	0.001562mm	Más alta resolución en acabado con tiempos muy altos de impresión sin vibraciones.

Se toma como mejor opción configurar al driver en $\frac{1}{2}$ los aso para los ejes X, Y, ya que en las pruebas realizadas se obtiene la mayor velocidad posible sin tener la pérdida de pasos obteniendo una impresión de buena calidad. Mientras para el eje z se usa una configuración de 1/16, ya que en esta las vibraciones son las más bajas y al ser un eje que no se mueve a altas velocidades.

Calidad de impresión

Al realizar las impresiones ya con las configuraciones realizadas se tiene una buena impresión al momento en que se va imprimiendo, ver figura 32.



Figura 32. Transcurso de impresión

Se obtiene una pieza con una buena calidad de impresión, ver figura 33.



Figura 33. Impresión total

Costo del proyecto

Tabla 15
Costo del proyecto

COSTO DEL PROYECTO					
3D MILLAPRINT					
Sistema de generación de movimiento					
Cantidad	Descripción	Medida	P. Unt.	P. total	Total
16	Acero normalizado AISI 4340	Kg	3.76	60.16	
6	Ejes para modulo X, Z	U	14.00	84.00	
2	Mecanizado de Ejes Y	U	18.00	36.00	
4	Platina Acero inoxidable 2 1/2x1/4	M	16.70	66.80	
4	Soldadura y corete para módulos X, Y, Z	U	10.00	40.00	
2	Tubo inoxidable 1 1/4	U	45.00	90.00	
1	Soldadura y corte estructura	U	150.00	150.00	
12	Rodamientos lineales	U	14.85	178.21	
4	TEN-HIGH Ballscrew SFU1605 RM1605 16mm 550mm with nut+bk/bf12 End Supports+1pcs 6.3510mm Coupler	U	145.60	582.41	
4	Discos de corte	U	3.50	14.00	
4.5	Plancha de aluminio 6mm	Kg	11.2	50.40	
1.8	Plancha de aluminio 3mm	Kg	11.2	18.00	
48	Tornillos hexagonales M6	U	0.18	8.64	
40	Tornillo M6	U	0.16	6.40	
8	Pernos 1/4" x 2"	U	0.21	1.68	
40	Pernos M6	U	0.22	8.80	
16	Pernos M4	U	0.16	2.56	
16	Tornillos M3	U	0.06	0.96	
16	Pernos M5	U	0.19	3.04	
4	Soporte de Motores Nema23	U	12.31	49.27	
4	Ball Nut Mount Bracket Flange Nut Mount for 1605 1610 16mm	U	21.91	87.63	
48	Rodelas de presión	U	0.06	2.88	
16	Seguros	U	0.15	2.40	
23	Sujeciones de piezas impresas	U	2.00	46.00	
4	Motor NEMA23	U	42.00	168.00	
2	Ventiladores	U	4.00	8.00	
4	SainSmart TB6600 CNC Micro-Stepping Stepper Motor Driver 4.5A	U	36.98	147.91	
1	Fuente 24V 15A	U	38.00	38.00	
3	Finales de Carrera	U	5.00	15.00	
2	Cables conectores	U	4.00	8.00	
20	Cable # 14	M	0.30	6.00	
20	Cable # 16	M	0.36	7.20	
20	Cable # 20	M	0.15	2.00	
10	Cable gemelo flexible 14 AWG	M	1.00	10.00	

5	Conectores	U	2.00	10.00
3	Fusible	U	0.20	0.60
1	Relé de protección	U	15.00	15.00
1	Plancha de latón 1/32, corte y pintura	U	30.00	30.00
1	Otros gastos	U	25.00	25.00
1	DUET CONTROLLER V0.8.5	U	178.12	178.12
600	Ingeniería (horas de trabajo hombre)	H	2.30	1380.00
	Total			3639.07

3639.07

Multicabezal extrusor

2.5	Plancha de aluminio 6mm	Kg	10.00	25.00
0.3	Eje aluminio 19mm	M	23.00	6.90
0.1	Eje aluminio 70mm	M	170.00	17.00
10	Tornillo M6	U	0.16	1.60
30	Tornillos 1/8" x 3/4"	U	0.02	0.60
6	Tornillos 3/16"x1"	U	0.14	0.70
4	Tornillos 1/4" x 2"	U	0.10	0.40
1	Mecanizado y corte de planchas de aluminio, eje y soldado	U	40.00	40.00
40	Mecanizado de engranes por cada diente	U	1.00	50.00
1	Prisionero M3	U	0.15	0.15
1	Seguro interno #23	U	0.26	0.26
1	Seguro externo	U	0.15	0.15
2	Rodamiento lineal 6201	U	1.50	3.00
1	Eje cromado para rodetes	U	5.00	5.00
4	Motores Nema17	U	16.00	64.00
4	Driver pololu DRV8824 2A	U	5.00	20.00
1	Arduino CNC shieldV3	U	10.00	10.00
20	Cable # 20	M	0.15	2.00
20	Cable # 14	M	0.30	6.00
20	Cable # 16	M	0.36	7.20
10	Cable UTP flexible	M	0.80	8.00
24	Autocoplador CT817C	U	0.70	16.80
10	Taipe	U	0.50	5.00
3	Fuentes 12V	U	18.00	56.00
1	Relé estado solido	U	15.00	15.00
8	Brocas	U	4.00	32.00
1	Cama de silicona	U	90.00	90.00
4	Mecanismo acarreo MK8	U	14.00	56.00
1	Motor Nema 23 1.9N	U	54.94	54.94
4	Conectores	U	2.00	8.00
1	Vidrio templado	U	30.00	30.00
1	Espiral para cable 3/4x5	U	12.00	12.00
2	Espiral para cable 1/4x10	U	15.00	30.00
1	Amarras plasticas	U	2.00	2.00
1	SainSmart TB6600 CNC Micro-Stepping Stepper Motor Driver 4.5A	U	36.98	36.98
4	Resortes amortiguadores	U	3.00	12.00

4	RepRapDiscount, Hexagon Full Metal Hot End, Hotend, 1.75mm, .4mm nozzle	U	75.20	300.08
10	Sujeciones de piezas impresas	U	3.00	30.00
1	DUEX4 EXPANSION BOARD	U	82.20	82.20
1	PANELDUE	U	130.14	130.14
1	Otros gastos	U	50.00	50.00
5	Materiales de impresión	U	55.00	275.00
400	Ingeniería (horas de trabajo hombre)	H	2.30	920.00
	Total			2527.10
				2527.10
	Valor total del proyecto			6166.17

En la implementación del proyecto de tesis se utiliza materiales mecánicos, eléctricos, procesos de impresión y de mecanizado de acuerdo a la tabla 15 se invirtió un total de \$ 6166.17 por lo tanto el proyecto de “sistema de generación de movimiento para una impresora 3D multi-extrusor” es de \$3639.07, considerando que es un prototipo inicial, su costo es considerablemente bajo y viable, en donde este prototipo puede ser sometido a mejoras con la finalidad de corregir fallas que se detecten en pruebas futuras.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El sistema cartesiano en la generación de movimiento permite tener control total e independiente en cada uno de los ejes facilitando la traslación del cabezal a un punto deseado.
- Al tener componentes de acero inoxidable en la estructura y en los módulos como también componentes en aluminio hacen que la máquina tenga una mejor estética como factible para el uso de aplicaciones alimenticias
- Al contar con sistema modular independiente en los ejes X, Y, Z, se consigue la facilidad de realizar el mantenimiento de cada uno de los ejes por separado cuando estos lo requieran sin tener que desmontar en su totalidad la máquina.
- La utilización de código abierto permite adaptar de forma sencilla el funcionamiento, control y automatización de un modelo de impresora a otro al ser códigos de libre acceso para su utilización de forma más rápida.
- Se obtuvo una alta resolución en las impresiones realizadas gracias al sistema de movimiento implementado screwball, el cual permite un acabado de alta calidad.
- La velocidad de impresión se ve reducida a una cuarta parte de una impresora convencional al tener solo una conversión lineal de 5 mm por cada revolución que da el motor.

- El sistema screwballl empleado en los ejes de movimiento permite tener una gran fuerza lineal, la cual facilita poder emplear la máquina en otras actividades como el mecanizado de piezas mediante el fresado.
- Se consigue una buena adaptación del cabezal multi-extrusor al sistema de generación de movimiento permitiendo cumplir la función de impresión.

Recomendaciones

- Se recomienda la continuación del trabajo de grado con la aplicación de nuevas formas de utilización de la máquina, desarrollando una parte electrónica nueva para corregir posibles fallas en próximas aplicaciones.
- Se sugiere investigar más acerca de los driver controladores de los motores de los ejes con la finalidad de lograr aumentarla velocidad de impresión sin la pérdida de pasos.
- Es aconsejable tener conocimientos en el área de programación de tarjetas controladoras de impresión para poder modificar de forma en se la pueda usar para varias aplicaciones como fresado o corte sin necesidad de tener varias tarjetas para cada función.
- Se recomienda utilizar las herramientas adecuadas para el desmontaje de cualquier sección de la maquina con la finalidad de evitar aislamiento en los sujetadores

Bibliografía

- 3D Printing Database*. (s.f.). Recuperado el 18 de 10 de 2017, de 3D Printing Database:
<http://3dprintingdatabase.org/es/3dprinter/polar-3d-printer>
- 3Dnatives*. (19 de 6 de 2017). Recuperado el 18 de 10 de 2017, de 3Dnatives:
<https://www.3dnatives.com/es/tipos-impresoras-3d-fdm-19062017/>
- Acero Inoxidable Qué es, Componentes, Tipos y Propiedades*. (s.f.). Recuperado el 18 de 10 de 2017, de Areatecnologia.com: <http://www.areatecnologia.com/materiales/acero-inoxidable.html>
- Benchhoff, B. (2015). *3D Printing Has Evolved Two Filament Standards*. Recuperado el 17 de 10 de 2017, de HACKADAY: <https://hackaday.com/2015/09/29/3d-printing-has-evolved-two-filament-standards/>
- Bohman, I. (2016). *Catalogo de productos*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- CARMAN, G. (5 de 11 de 2015). *Tipos de control numérico*. Recuperado el 10 de 29 de 2017, de Grupo CARMAN: <http://grupocarman.com/blog/tipos-de-control-numericoparte-i/>
- Conde, J. E. (11 de 03 de 16). *Impresoras 3D. Centro de Análisis y Prospectiva Gabinete Técnico de la guardia Civil*, 17. Obtenido de http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf
- Definición de Open Source - ¿Que es el Open Source*. (s.f.). Recuperado el 16 de 10 de 2018, de Gestión de Proyectos y Soluciones: <https://www.gpsos.es/soluciones-open-source/definicion-de-open-source/>

Fuente de Poder 24V 360W 15 Amperes Luces Led. (s.f.). Recuperado el 17 de 10 de 2017, de Luces de Navidad: <http://lucedenavidad.mx/fuente-de-poder-24v-360w/>

Fuentes de Poder 220V AC a 24V DC. (s.f.). Recuperado el 17 de 10 de 2017, de Dmu.cl: <http://dmu.cl/fuentes-de-poder/fuentes-de-poder-24vdc>

Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2009). *Mecanica de materiales*. Mexico: Cengge Learning.

Goldenhorn, S. (2015). *Calculista de estructuras*. Buenos Aires: S.E. Obtenido de 2015.

Gonzálvez, A. J., & Chuliá, F. V. (2016). *Diseño de máquinas*. Valencia, España: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA .

Indumetan. (2016). *Proceso de torneado, en que consiste y que es el torno (Definición) / www.Indumetan.com*. Obtenido de Indumetan.com: <http://www.indumetan.com/que-es-el-torneado-definicion/>

La impresión 3D . (2017). Obtenido de U. de palermos: http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/docentes/trabajos/24673_81494.pdf

Máquinas y Herramientas. (2015). Recuperado el 29 de 10 de 2017, de ¿Cómo funciona la Fresadora CNC?: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc>

Marin, F. B. (2012). *Control Numerico Computarizado*. Recuperado el 18 de 10 de 2017, de Universidad Nacional Abierta CCAV Neiva : <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/4883/1/Modulo%20Control%20Numerico%20Computarizado.pdf>

MCNC. (16 de 07 de 2014). *Historia y evolución del CNC | Industrias y Empresas*. Obtenido de Industriasyempresas.com.ar: <http://www.industriasyempresas.com.ar/node/2088>

- NBS, Sistemas lineales. (1 de Agosto de 2012). Obtenido de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/2623/Sistemas-Lineales_NBS.pdf
- Ogata, K. (2010). *SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO*. PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A. Recuperado el 16 de 10 de 2017
- Ortolá, S. (17 de Abril de 2009). *INGENIERIA DEMATERIALES*. Obtenido de <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>
- Overby, A. (2010). *CNC MACHING handbook*. Londres: Mc Graw hill.
- PanelDue for 3D printers*. (s.f.). Recuperado el 18 de 10 de 2017, de David Crocker's Solutions blog: <https://miscsolutions.wordpress.com/paneldue/>
- Ramires, e. G., Jiménez, G. S., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y Actuadores*. México: Patria.
- RepRap. (s.f.). *Duet - RepRapWiki*. Recuperado el 18 de 10 de 2018, de Reprap.org: <http://www.reprap.org/wiki/Duet>
- Sanches, A. (22 de 12 de 2015). *Impresoras 3D Cartesianas vs. impresoras 3D Delta | DIWO*. Recuperado el 18 de 10 de 2017, de Diwo.bq.com: <http://diwo.bq.com/impresoras-3d-cartesianas-vs-delta/>
- Taladradora*. (s.f.). Recuperado el 29 de 10 de 2017, de Es.wikipedia.org: <https://es.wikipedia.org/wiki/Taladradora>
- Toledo, M., Arenas, M. M., Galán, J. J., Ramírez, L., Borja, S. M., Conde, A., & Monsalve, A. (2014). RESISTENCIA A FATIGA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 7075-T6 EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ENSAYO Y ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO . *ResearchGate*, 1,2.

Tornillo Y Tuerca De Bolas Sfu Rm1605x350mm Ideal Cnc. (s.f.). Recuperado el 18 de 10 de 2017, de *Articulo.mercadolibre.com.ar*: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-609958724-tornillo-y-tuerca-de-bolas-sfu-rm1605x350mm-ideal-cnc-_JM

Tornillos de potencia. (s.f.). Recuperado el 19 de 10 de 2017, de *Ingemecanica.com*: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>

ANEXOS