



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

DE INGENIERA MECATRÓNICA

TEMA: REDISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D Y

REACONDICIONAMIENTO DE LA EXTRUSORA PARA ARCILLA

NANO ESTRUCTURADA

AUTORA: ARMIJOS MIJAS, VIKY PAOLA

DIRECTOR: MG. ESCOBAR CARVAJAL, LUIS FERNANDO

SANGOLQUÍ

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CERTIFICADO DEL DIRECTOR

Certifico que el trabajo de titulación, "*REDISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D Y REACONDICIONAMIENTO DE LA EXTRUSORA PARA ARCILLA NANO ESTRUCTURADA*", fue realizado por la señorita *Viky Paola Armijos Mijas*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 26 de julio del 2019

Firma:

Ing. Luis Fernando Escobar Carvajal
Director
C.C. 1002403200



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

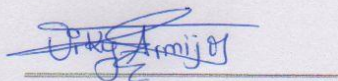
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, *Armijos Mijas Viky Paola*, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"REDISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D Y REACONDICIONAMIENTO DE LA EXTRUSORA PARA ARCILLA NANO ESTRUCTURADA"** en el repositorio institucional cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad

Sangolquí, 26 de julio del 2019

Firma:



Armijos Mijas Viky Paola
C.C. 1718322033



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Armijos Mijas Viky Paola*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"REDISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D Y REACONDICIONAMIENTO DE LA EXTRUSORA PARA ARCILLA NANO ESTRUCTURADA"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 26 de julio del 2019

Firma:

Armijos Mijas Viky Paola
C.C. 1718322033

DEDICATORIA

A todas aquellas personas que siempre estuvieron en mi camino...

AGRADECIMIENTOS

A cada una de las personas que me han estado conmigo a lo largo de mí caminar, a mi familia, amigos y profesores que han sido mi apoyo durante todo este tiempo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 Presentación	1
1.2 Definición del problema.....	1
1.2.1 Antecedentes	1
1.3 Descripción del proyecto.....	3
1.4 Justificación e importancia.....	5
1.5 Área de influencia	7
1.6 Objetivos	7
1.6.1 Objetivo general	7
1.6.2 Objetivos específicos.....	7
1.7 Alcance del proyecto	8
1.8 Subistemas.....	8
1.9 Pruebas	9
1.10 Metodología	10
CAPÍTULO II	12
ESTUDIO DEL ARTE	12

2.1	Nanotubos de carbono	12
2.1.1	Propiedades	13
2.1.2	Aplicaciones	15
2.1.3	Arcilla, Bentonita	17
2.2	Impresoras 3D	20
2.2.1	Tipos de impresoras	21
2.2.2	Impresión de diversos materiales	23
2.2.3	Aplicaciones	26
CAPÍTULO III.....		28
DISEÑO DEL SISTEMA		28
3.1	Introducción de robots delta	28
3.2	Diseño del subsistemas.....	30
3.2.1	Rediseño de impresora 3D tipo delta	30
3.2.2	Rediseño de extrusor para arcilla	35
3.2.3	Programación del controlador	40
3.3	Pruebas del material impreso	43
CAPÍTULO IV		45
PRUEBAS Y RESULTADOS		45
4.1	Diseño experimental.....	45
4.2	Desarrollo de pruebas.....	46
4.3	Pruebas y resultados de la máquina.....	55
CONCLUSIONES.....		59
RECOMENDACIONES		61
TRABAJOS FUTUROS		62
BIBLIOGRAFÍA.....		63
ANEXO A. MANUAL DE USUARIO		67
ANEXO B. PLANOS DE LA MÁQUINA		68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Impresoras de Arcilla comerciales.</i>	2
Tabla 2 <i>Propiedades de Nanotubos de Carbono</i>	14
Tabla 3 <i>Uso y aplicaciones industriales de la bentonita</i>	19
Tabla 4 <i>Ventajas y desventajas de las impresoras 3D (Delta vs. Cartesiana)</i>	22
Tabla 5 <i>Experimentos según Método Taguchi</i>	47
Tabla 6 <i>Gramos de agua y Bentonita para las muestras</i>	48
Tabla 7 <i>Resultados del experimento Taguchi</i>	50
Tabla 8 <i>Datos de prueba de máquina</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concepto inicial de émbolo a presión para la impresión de arcilla nano estructurada...	4
Figura 2. Impresora 3D para la construcción - Contour Crafting	6
Figura 3. Subsistemas de la máquina	8
Figura 4. Modelo en V de la Metodología de Diseño de Sistemas Mecatrónicos	10
Figura 5. Sumio Iijima descubridor de los Nanotubos de Carbono	12
Figura 6. Tipos de Nanotubos	13
Figura 7. Aplicaciones de los Nanotubos de Carbono	16
Figura 8. Tipos de Arcillas.....	17
Figura 9. Bentonita.....	18
Figura 10. Impresoras 3D.....	21
Figura 11. Tipos de impresoras 3D.....	21
Figura 12. Material Laybrick para impresión 3D.....	24
Figura 13. Laywoo-D3	24
Figura 14. Soft PLA	25
Figura 15. Niños beneficiarios de prótesis realizadas en impresión 3D	26
Figura 16. Impresión de pizzas	27
Figura 17. Robot tipo delta.....	29
Figura 18. Robots tipo delta en la industria	30
Figura 19. Impresora Delta antes de las modificaciones.....	31
Figura 20. Impresora Delta de arcilla.....	32

Figura 21. Caja de la impresora para la realización de un ambiente controlado, (Fusion 360, Autodesk versión estudiantil).....	33
Figura 22. Simulación para la realización de un ambiente controlado. (Temperatura)	34
Figura 23. Simulación para la realización de un ambiente controlado. (Flujo del calor)	34
Figura 24. Simulación para la realización de un ambiente controlado. (Gradiente de Temperatura)	35
Figura 25. Extrusor original	36
Figura 26. Prototipo primario de extrusor, (a) tornillos sin fin, (b) base del extrusor, (c) partes del extrusor de izquierda a derecha: Boquilla de entrada de arcilla, base del extrusor, boquilla de salida del material, tornillo sin fin, pieza del cierre del extrusor, empaque y pernos	37
Figura 27. Primer Prototipo del extrusor por inyección.....	38
Figura 28 Prototipo final del extrusor por inyección	39
Figura 29. Partes del extrusor. (a) Base del extrusor (b) De izquierda a derecha: cilindro con su extrusor, émbolo, tornillo sin fin tapa, columnas, motor paso a paso, binchas, acople, pernos y tuercas.....	39
Figura 30. Extrusor de la impresora armado	40
Figura 31. Controlador RAMPS 1.4	41
Figura 32. Programa Marlin, interfaz ARDUINO	41
Figura 33. Diagrama de Flujo de configuración en Marlin.....	42
Figura 34. Software Ultimaker Cura 3.4.1, versión estudiantil	43
Figura 35. Inicio de la Impresión	44
Figura 36. Primeras pruebas de impresión.....	44
Figura 37. Diseño de Taguchi	46
Figura 38. Muestras de Arcilla para pruebas 7, 8 y 9.....	48

Figura 39. Muestras de Arcilla para pruebas 4, 5 y 6.....	49
Figura 40. Muestras de Arcilla para pruebas 1, 2 y 3.....	50
Figura 41. Muestras de Arcilla: (a) Prueba 1 (b) Prueba 2 (c) Prueba 3 y (d) Muestra con Nanotubos de Carbono	51
Figura 42. Ensayo no destructivo, radiografía de muestras de arcilla.....	52
Figura 43. Muestra N°1 con factores 25gr de Bentonita, 40° C de Temperatura ambiental y 15% de relleno.....	53
Figura 44. Muestra N°2 con factores 25gr de Bentonita, 50° C de Temperatura ambiental y 30% de relleno.....	53
Figura 45. Muestra N°3 con factores 25gr de Bentonita, 60°C de Temperatura ambiental y 50% de relleno.....	54
Figura 46. Muestra Nanotubos de Carbono	54
Figura 47. Impresora 3D realizando pruebas de repetitividad y exactitud.....	56

RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó el rediseño de una impresora 3D tipo delta, con un reacondicionamiento de su extrusor para que logre realizar impresiones de arcilla común y nano estructurada, para lo cual se investigó propiedades de la arcilla y nanotubos de carbono, y con ayuda de especialistas en nano materiales de Yachay Tech se logró obtener parámetros adecuados para que el equipo tenga un óptimo funcionamiento. Previamente se mejoró la impresora, pues era un equipo en desuso que se encontraban en malas condiciones; algunas piezas y subsistemas fueron reemplazados mientras que en general se realizó el mantenimiento respectivo, también se le agrego un ambiente controlado mediante convección forzada, con lo que la maquinaria quedó en óptimas condiciones. El extrusor fue totalmente renovado mediante un sistema de inyección guiado por un embolo y tornillo sin fin que proporcionan el empuje del material para que realice las impresiones solicitadas, ya sea mediante una conexión USB o una tarjeta SD. El extrusor y la estructura delta, trabajan en conjunto para brindar una buena calidad de impresión y realizarlo con un material amigable con el planeta; en este caso arcilla de tipo bentonita, presente en la mayor parte de países a nivel mundial.

PALABRAS CLAVE:

- **IMPRESORA 3D TIPO DELTA**
- **ARCILLA, BENTONITA**
- **NANOTUBOS DE CARBONO**

ABSTRACT

In the present work, a 3D delta printer was redesigned, with a refurbishment of its extruder so that it could make impressions of common and nano-structured clay, for which properties of clay and carbon nanotubes were investigated, in order to obtain adequate parameters for the clay a study was carried out with help of specialists in nano-materials from Yachay Tech. The first step to accomplish the goal was to recover some of the subsystems, replace some parts and make a general maintenance to the total system, also a controlled environment was added by forced convection. The extruder was completely renewed by means of a system of injection guided by a plunger and worm that provide the push of the material so that it makes the impressions requested, either by means of a USB connection or an SD card. The extruder and the delta structure work together to provide a good quality printing and make it with a friendly material for the planet; in this case, bentonite clay, present in most countries worldwide.

KEYWORDS:

- **DELTA 3D PRINTER**
- **CLAY, BENTONITE**
- **CARBON NANOTUBES**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 PRESENTACIÓN

En el capítulo se precisa la problemática del proyecto, necesidad actual por la que se dio inicio la investigación de los precedentes para el desarrollo adecuado de la propuesta, llegando a una justificación y nivel de importancia adecuados para la realización. Se hace una breve descripción de la idea a efectuarse, presentando de manera corta su área de influencia, su alcance, sus objetivos y la metodología a ser empleada.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Antecedentes




Uno de los principales objetivos de los robots industriales es el aumento de la calidad, productividad y competitividad de los productos que pueden realizar frente a diferentes mercados que en el momento están sobresaliendo y compitiendo con su mano de obra barata. (Comité Español de Automática (CEA), 2008) Un tipo de tecnología en auge en el mercado, es la impresión 3D, esta ayuda a realizar un fácil y rápido prototipado así como manufactura del producto final.

En el mercado a nivel nacional son muy conocidas las impresoras 3D de polímeros como PLA o ABS. Por su resistencia, flexibilidad y costo que permite realizar diferentes piezas con

facilidad y buenas propiedades mecánicas, a pesar de que algunos de ellos son materiales biodegradables, toman mucho tiempo para descomponerse. En contraste, las impresoras de arcilla son poco conocidas y existen desarrollos iniciales en el extranjero, en la Tabla 1 se muestran algunos de estos ejemplos. (ClayXYZ, 2017) (Hyrel 3D, 2017) (VORM VRY, 2016)

Tabla 1

Impresoras de Arcilla comerciales.

Nombre	Impresora	Tamaño	Función
LUTUM® v3 MXL Fuente: (VORM VRY, 2016)		30x460x750mm	Imprime arcilla para la creación de diseños de alfarería.
Hyrel 3D emo1 Fuente: (Hyrel 3D, 2017)		200x200x200mm	Permite la impresión de arcilla, plastilina y silicona y está especialmente diseñada para su utilización escolar y su presencia en escuelas, desde infantil en adelante.
Clay XYZ Fuente: (ClayXYZ, 2017)		210x220x180mm	Imprimir arcilla para crear de manera más sencilla y con diseños más complejos cerámica y alfarería, ideal para escultores y artistas.

Las impresoras presentadas en la Tabla 1, poseen diferentes características. LUTUM v3 MXL solo puede realizar impresiones con arcilla, es recomendada para objetos altos debido a su área de impresión pero se debe tomar en cuenta que solo pueden ser prototipos. Hyrel 3D emo1 en cambio puede imprimir varios materiales como ABS, arcilla de metales preciosos, nylon, PET, PLA, plastilina entre otros, su área de impresión es mucho menor. Por último, Clay XYZ es una impresora que busca crear piezas sencillas para cerámica y alfarería, al igual que la LUTUM, es decir, solo imprime arcilla.

Al notar los costos, limitaciones y oportunidades, se busca iniciar investigaciones en el país para la impresión de nuevos materiales como es el caso de la arcilla nano estructurada y con esto estudiar propiedades mecánicas que pueden llegar a tener esta clase de arcillas para así desarrollar aplicaciones en diversos campos.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto tiene como fin mejorar la estructura de la tesis desarrollada en el proyecto de grado titulada “Estudio, diseño y construcción de una impresora 3D implementada a través de un robot delta” (Celi, y otros, 2015), el cual consiste en el diseño y la implementación de un prototipo de impresora 3D basado en un robot delta paralelo, que reduce el tiempo de impresión sin perder calidad en el producto final. Además, el software libre, Repetier, se usó para programación y GUI. Para la calibración de altura de la base de impresión, se desarrolló un sistema de nivelación automática a través de un sensor inductivo para evitar el manejo manual.

Considerando lo antes mencionado del prototipo existente, se realizará un estudio del equipo para verificación de funcionalidad del mismo, así como realizar el mantenimiento respectivo y las modificaciones necesarias para que ésta pueda realizar su nueva tarea.

Se necesita realizar un prototipo de extrusor para la impresión de arcilla, reutilizando un motor a pasos existente en la máquina inicial, el cual moverá el mecanismo de inyección y dará la forma adecuada al material.

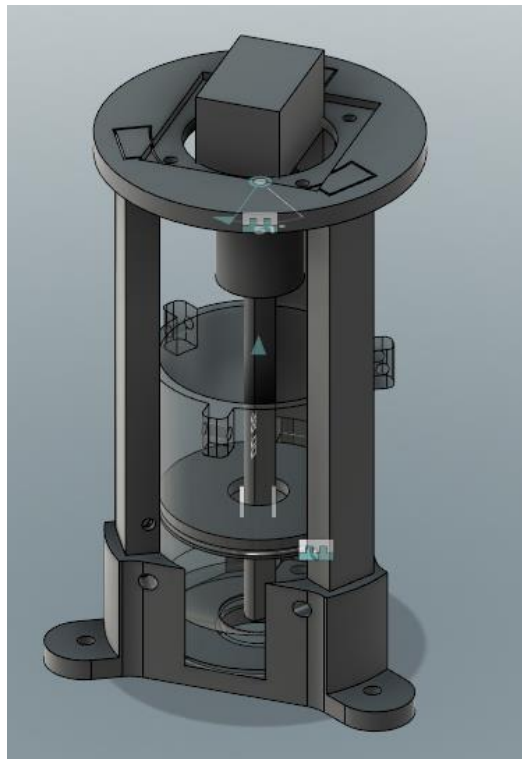


Figura 1. Concepto inicial de émbolo a presión para la impresión de arcilla nano estructurada

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido a que no existen estudios de arcilla nano estructurada en el país, ya sea de su composición o sus propiedades mecánicas; existen algunos estudios sobre arcilla bentonita y de nanotubos de carbono por separado (Palacios, Flores, & Nieto, Repositorio Digital Universidad Nacional de Chimborazo, 2018) (Palacios & Chimbolema, Repositorio Digital Universidad Nacional de Chimborazo, 2017). En consecuencia, tampoco se encuentran registros de equipos que usen este tipo de arcilla compuesta. El proyecto está orientado hacia la investigación, para determinar las características más adecuadas del material ya que tiene propiedades especiales, pues los nanotubos de carbono son parte esencial en el estudio de la nanotecnología. Así también se adaptará una impresora 3D convencional, es decir, que imprime materiales como PLA y ABS, y transformarla en una maquina donde se pueda usar como material de aporte arcilla nano estructurada.

El fácil manejo de una impresora 3D hace que tenga una gran versatilidad con respecto a los materiales. En este caso, se usará la arcilla ya que es manipulable para la construcción de modelos a escala, así como modelos estructurales de gran tamaño que hacen que el trabajo se realice de forma más rápida y precisa, así también, como se menciona en el trabajo de Irene Gil, la visión de edificar obras fuera del planeta por parte de la NASA. (Gil, 2015)

El proyecto contribuirá en el campo de investigación a nivel nacional, pues se han realizado estudios de arcilla para impresión 3D añadiendo fibras de coco como lo realizaron Javier Palacios,

Paúl Flores y Bacilio Nieto en su investigación (Palacios, Flores, & Nieto, Repositorio Digital Universidad Nacional de Chimborazo, 2018) o cemento como lo llevó acabo Javier Palacios y Silvia Chimbolema (Palacios & Chimbolema, Repositorio Digital Universidad Nacional de Chimborazo, 2017), las cuales han dado otra visión de los materiales de construcción dentro del país ya que es una forma innovadora y económica para la realización de edificaciones.

El prototipo tendrá como base la investigación del proyecto de Tesis de Ana Sampértegui y Ricardo Celi (Celi, y otros, 2015), en el cual se realizó un diseño del prototipo de impresora 3D tipo delta, que se encontraba fuera de uso en el laboratorio de Procesos de Manufactura.



Figura 2. Impresora 3D para la construcción - Contour Crafting
Fuente: (Contour Crafting Corporation, 2017)

1.5 ÁREA DE INFLUENCIA

El proyecto beneficiará directamente a las investigaciones futuras en el área de arcilla nano estructurada, para las carreras de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE e Ingeniería en Nanotecnología de Yachay Tech.

Además de esta investigación se espera obtener resultados publicables que benefician a docentes, estudiantes e instituciones que participen en el proyecto además de la generación de conocimiento para el desarrollo de aplicaciones en la industria, especialmente de la construcción, el cual es el objetivo final.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Rediseñar de una impresora 3D y reacondicionamiento de la extrusora para arcilla nano estructurada

1.6.2 Objetivos específicos

- Evaluar y rediseñar la impresora 3D tipo delta realizada en el 2015 como proyecto de tesis.
- Investigar los parámetros necesarios para el diseño del extrusor de arcilla nano estructurada (bentonita- nanotubos de carbono).
- Diseñar y construir el extrusor para el sistema de impresión de arcilla nano estructurada.

- Desarrollar un estudio de las características del material antes y después de ser ingresado a la maquinaria mediante un Diseño experimental.

1.7 ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto pretende mejorar el diseño y construcción de la tesis desarrollada en la institución, considerando que la impresora 3D posea un extrusor adecuado para arcilla nano estructurada y realizar un modelo experimental para validar la mezcla adecuada de componentes a usarse en la máquina.

1.8 SUBSISTEMAS

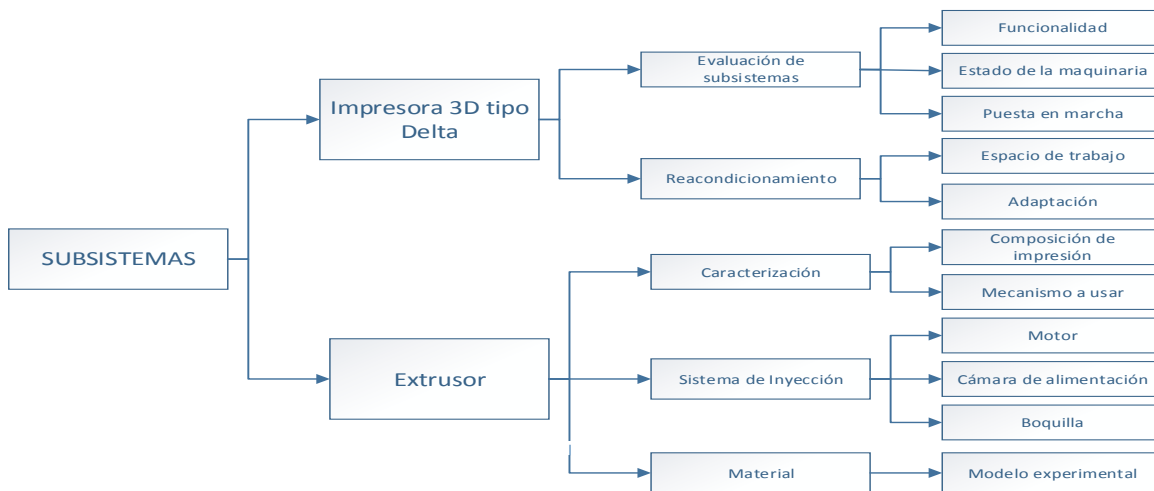


Figura 3. Subsistemas de la máquina

En la Figura 3 se muestra un esquema de los subsistemas como son la impresora 3D tipo delta, el extrusor. En la Impresora 3D, se realizará una evaluación de la funcionalidad y estado de conservación de cada uno de los componentes, para finalmente poner en marcha la maquina con un reacondicionamiento del espacio de trabajo y del extrusor. Para el reacondicionamiento del extrusor, se debe realizar una caracterización de la composición del material así como del mecanismo a usar; si el motor a usarse así como la cámara que contendrá el material y los diversos tipos de boquilla a usarse o el más adecuado para la impresión del material. Finalmente, en la etapa de pruebas se realizará una serie de ensayos destructivos y no destructivos para determinar sus propiedades mecánicas. Con que se ayudará al reacondicionamiento que se desea realizar en la impresora 3D tipo delta existente en el Laboratorio de Procesos de Manufactura para que pueda imprimir arcilla nano estructurada.

1.9 PRUEBAS

Para comprobar que el material impreso haya sido extruido de manera correcta, se realizarán ensayos no destructivos con el fin de preservar las muestras realizadas por la máquina; los ensayos a realizarse serán de tipo visual y radiográfico, mediante los cuales se podrá ver posibles falencias de la impresión y con ello mejorar la calidad de impresión de las piezas.

1.10 METODOLOGÍA

Metodología del Diseño Mecatrónico

La sistemática a usarse en el proyecto, será un modelo concurrente, basado en la Guía Alemana de Metodología de Diseño para Sistemas Mecatrónicos - VDI 2206; la cual es aceptada con la utilización del modelo en V, como se muestra en la Figura 4.

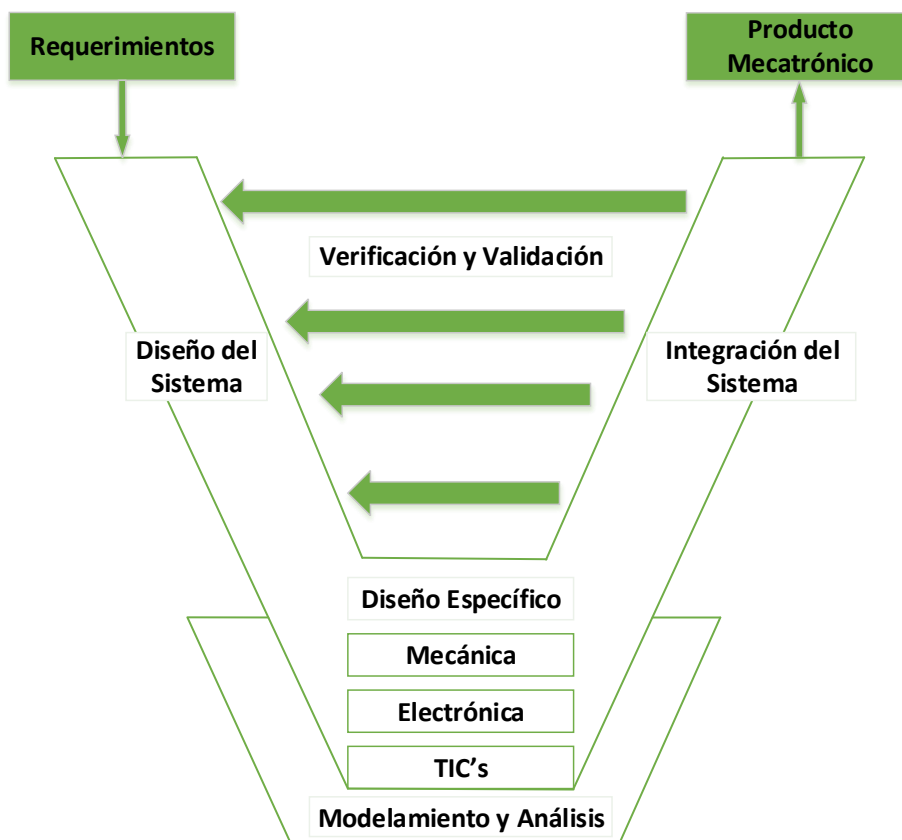


Figura 4. Modelo en V de la Metodología de Diseño de Sistemas Mecatrónicos
Fuente: (VDI2206, 2004)

Debido a los requerimientos del proyecto que son realizar un extrusor de arcilla nano estructurada y acoplarlo a una impresora 3D tipo delta, se tendrá varias etapas para realizar el mismo.

1. **Requerimientos del sistema:** Rediseñar una impresora 3D tipo delta reacondicionando el extrusor de arcilla nano estructurada
2. **Diseño del Sistema:** Rediseño de la impresora 3D tipo delta y realización del diseño del extrusor que permita la impresión de arcilla nano estructurada.
3. **Diseño específico:** Diseñará el subsistema mecánico, electrónico e informático para poder integrarlo en las siguientes etapas.
4. **Modelamiento y análisis:** Comprende el modelamiento y análisis de cada uno de los subsistemas anteriormente diseñados
5. **Integración del sistema:** Aquí los subsistemas diseñados en las anteriores etapas se integran y con ellos se puede realizar diversas validaciones y verificaciones para llegar al producto final requerido.
6. **Producto Mecatrónico:** El producto Final será una impresora 3D tipo delta de arcilla nano estructurada.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DEL ARTE

2.1 NANOTUBOS DE CARBONO

La primera vez que los nanotubos de carbono fueron estudiados de manera oficial fue por el físico japonés Sumio Iijima (Figura 5) en 1991, el cual había investigado las estructuras a escalas atómicas de las fibras de carbono; el experimento que realizó fue la verificación de dichas formaciones descubiertas por Harry Kroto y por Richard Smalley en 1985. Por lo cual estos trabajos han introducido a la ciencia a un mundo de nano materiales y nanotecnologías con aplicaciones en diversos campos como medicina, construcción, comunicación entre otros.

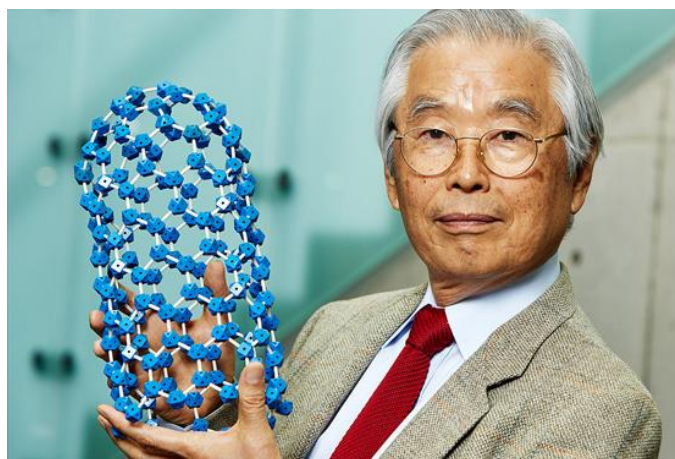


Figura 5. Sumio Iijima descubridor de los Nanotubos de Carbono
Fuente: (Nanodecarbono, 2016)

2.1.1 Propiedades

Los nanotubos de carbono (NTCs) son estructuras unidimensionales que poseen propiedades físicas únicas, ya sean térmicas, mecánicas, eléctricas y electrónicas, lo cual permite su uso en diversas aplicaciones. Los NTCs, con diámetros entre 0.5 y 3 nm pueden transmitir 1 y 3 eV de energía. Hay que tener en cuenta que existen dos tipos de nanotubos, de pared múltiple y de pared simple (Figura 6).

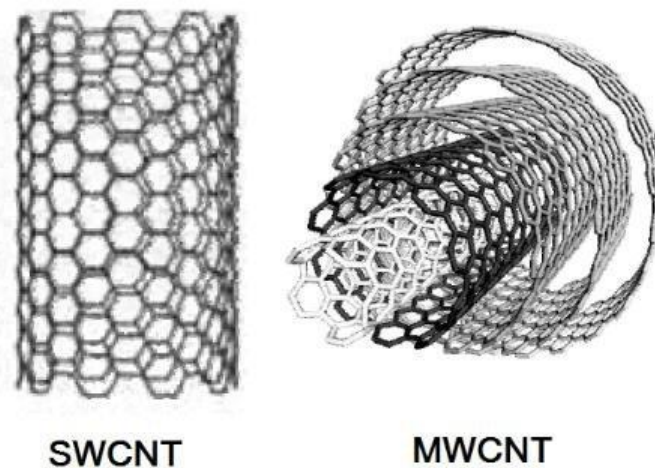


Figura 6. Tipos de Nanotubos
Fuente: (Ramos, 2016)

Por ejemplo al tener una gran relación radio/longitud permite un mejor control de las propiedades resultantes, si se desea tomar en cuenta las propiedades eléctricas pueden ser conductores, semiconductores o aislantes, todo depende del diámetro y elasticidad. Debido a su

elevada fuerza mecánica y flexibilidad poseen diferentes aplicaciones; claro está que sus propiedades pueden ser modificadas al ser encapsulados en diferentes materiales.

Tabla 2

Propiedades de Nanotubos de Carbono

Propiedades Generales de los Nanotubos de Carbono		
Propiedades	NTC	Comparación
Diámetro	0.4 – 5 nm	La litografía de haz electrónico puede crear líneas de 50 nm de ancho.
Densidad	1.33 – 1.40 g · cm ⁻³	El aluminio tiene una densidad de 2.7 g · cm ⁻³
Fuerza de tensión	45 · 10 ¹² Pa	Las aleaciones de acero de alta resistencia se quiebran cuando se les aplica una fuerza de ~2 · 10 ¹² Pa
Resistencia	Pueden ser doblados en ángulos grandes y volver a su estado normal sin sufrir daño.	Los metales y las fibras de carbono se fracturan cuando se someten a esfuerzos similares.
Conductividad Eléctrica	Se estima en 1 · 10 ¹² A · cm ⁻²	Los cables de Cu se funden a ~1 · 10 ¹² A · cm ⁻²
Campo de emisión	Pueden activar fósforos de 1-3 V si los electrodos están alejados en 1 um.	Las puntas de Mo requieren campos de 50 – 100V · m ⁻¹ y tirrn tiempos de vida muy limitados.
Transmisión de calor	Se predice ser tan alto como 6000W · m ⁻¹ · °K ⁻¹ , a temperatura ambiente.	El diamante puro permite a 3320 W · m ⁻¹ · °K ⁻¹ .
Estabilidad de la temperatura	Estable a > 2800°C en vacío a > 750°C en aire	Los cables en microchips se derriten entre 600 y 1000°C.
Costos	1g NTC cuesta 0.15 USD	1g Au cuesta 10 USD

Fuente: (Baldrán, Romero, Mendoza, & Sotelo, 2008)

2.1.2 Aplicaciones

Los nanotubos de carbono tienen un amplio campo de aplicaciones científicas como veremos a continuación (Rivas, Román, & Cosme, 2007):

- **Electrónica:** Debido a las peculiares propiedades eléctricas, se lo usa en nanocircuitos y nanocables para interconectores, diodos, filtros RF, Memorias y Dispositivos optoelectrónicos.
- **Sensores:** Los nanotubos tienen un pequeño tamaño, portátiles, rápidos y de bajo consumo, existen diferentes tipos de sensores que se pueden realizar usando nanotubos como sensores químicos, biológicos, mecánicos, térmicos, electromagnéticos y de presión por emisión de campo.
- **Instrumentación científica:** Son utilizados para mejorar las características los equipos científicos por ejemplo para microscopios de sonda de barrido y cortadores Coulter
- **Fotónica:** Los utilizan para generar dispositivos mejorados con nuevas tecnologías, ya que presentan fotoluminiscencia además son absorbentes saturables de luz.
- **Materiales:** Pueden formar nanocompuestos, ya sea mezclándolos con otros materiales o formando haces.
- **Biotecnología y Química:** Usados comúnmente en investigaciones para aplicaciones médicas.
- **Energía:** Usados en almacenamiento y conversión de energía. Ya que mejorando las propiedades de los equipos que ayudan en estas dos situaciones, se podrá conseguir mejores resultados.

- Mecánica: Lo que siempre ha destacado de los nanotubos son sus excelentes propiedades mecánicas, ya que se encuentran por encima de todos los materiales conocidos hasta ahora; lo que generalmente se realiza es introducir nanotubos en otros materiales y con ello modificar sus propiedades.

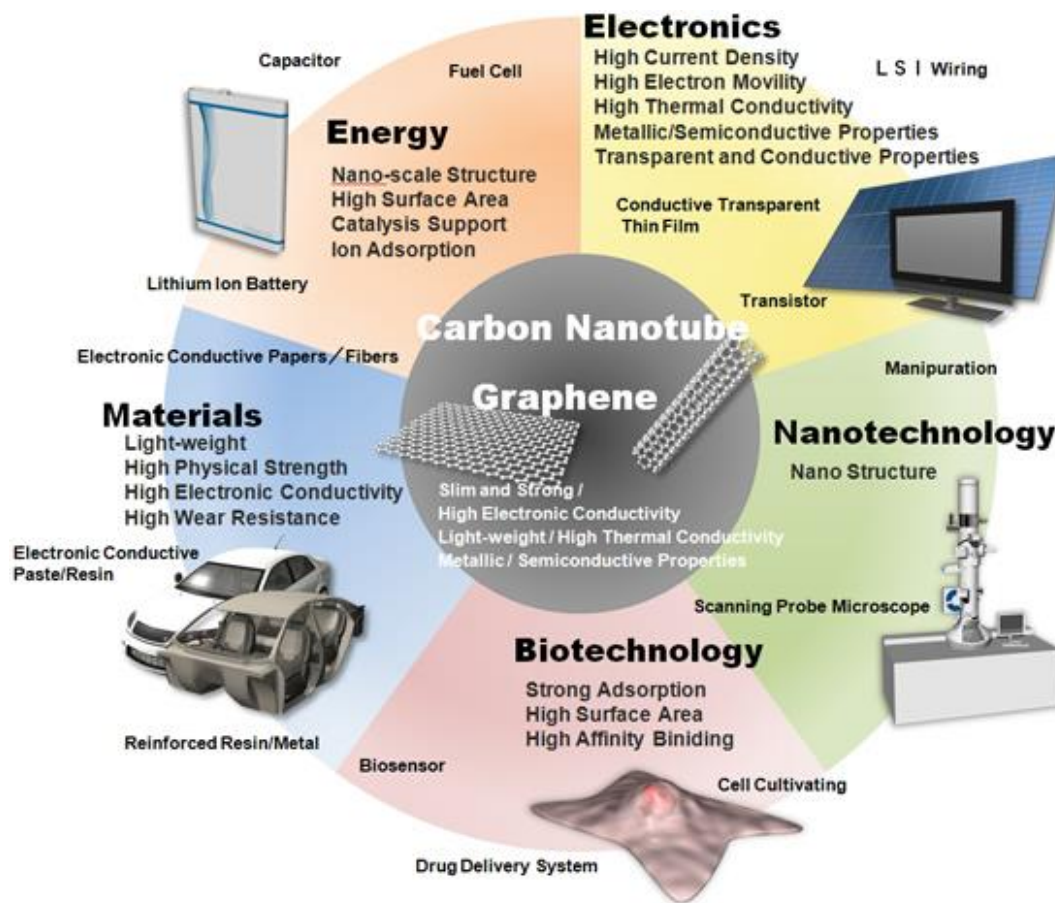


Figura 7. Aplicaciones de los Nanotubos de Carbono
Fuente: (V.U., s.f.)

2.1.3 Arcilla, Bentonita

La arcilla son rocas sedimentarias de origen natural descompuestas que contienen agregados de silicatos hidratados, estas pueden tener varios colores según su composición; las más comunes son blancas, rojas y café (Figura 8).



Figura 8. Tipos de Arcillas
Fuente: (Tendenzias Media SL, 2019)

La bentonita (Figura 9) posee buenas propiedades como textura cremosa ideal para la impresión, y gran absorción de líquidos; para realizar una mezcla con nanotubos de carbonos y mejorar sus propiedades. La bentonita pertenece al grupo de las esmectitas y posee diversos minerales como cuarzo, feldespato, mica, illita y caolín. La bentonita posee características peculiares, ya que su grano es muy fino y coloidal, de hecho, es 0.03% menor que el de la Caolinita; la cual puede estar entre $10 - 0.1 \mu\text{m}$ (Bartolomé, 1997) y algunas veces menores; además

contiene bases y hierro que le proporcionan su color característico. Este tipo de arcilla tiende a fracturarse en el momento que se somete a cocción y enfriamiento, se dice también que no es recomendable trabajarla sola o como material base en una masa.



Figura 9. Bentonita
Fuente: (Tendenzias Media SL, 2019)

2.1.3.1 Propiedades

La Bentonita en su estado natural es una roca blanda por lo general es de color beige claro a oscuro, hay otras pocas que poseen distintos colores como amarillo verdoso o blanco verdoso; por lo general, su textura es cremosa y grasosa. La bentonita a diferencia de otras arcillas es muy absorbente por lo cual se puede clasificar en Cálcidas y Sódicas; las cálcicas, como su nombre lo indica poseen una mayor concentración de calcio y de magnesio, lo cual provoca que no atraigan

grandes cantidades de agua; en cambio las sódicas, su mayor concentración es de sodio, lo cual provoca que sea muy adsorbente y crezca 10 a 20 veces su tamaño.

Puede tener un comportamiento tixotrópico, el cual se presenta en fluidos no newtonianos y pseudoplásticos, que muestran un cambio de viscosidad, según la velocidad de cizalla. (Hernández, 1996)

Tabla 3

Uso y aplicaciones industriales de la bentonita

Uso	Bentonita natural Ca^{2+}, Mg^{2+}	Bentonita natural Na^+	Bentonita activa (alcalina)	Bentonita activa (ácida)	Bentonita organofílica
Fundición		Componentes en arenas para moldeo			
Petrolera		Agente tixotrópico			Tixotrópico (fluidos no iónicos)
Alimenticia	Refinación de azúcar, clarificación de jugos y vinos				
Química	Carga para caucho/plásticos			Catalizadores, carga para caucho/plástico	
Cerámica	Pastas	Esmaltes			
Construcción	Plastificante en concretos, sellador, lubricante				
Farmacéutica	Materia prima para tierras medicinales, ungüentos y cosméticos				

CONTINÚA

Minera	Peletización de minerales	
Aceite/ grasa comestible	Refinación, decoloración, purificación	Refinación, decoloración, purificación
Limpieza	Aditivo en jabones	
Brea/ alquitrán		Estabilizador de suspensiones de alquitrán
Pintura		Estabilizador y extendedor

Fuente: (Moreira, 2016)

2.2 IMPRESORAS 3D

Las impresoras 3D (Figura 10), son robots que permiten realizar prototipos de diferentes piezas, ya sean para manufacturarlas en un corto período de tiempo o para realizar maquetas de diferentes campos por ejemplo de arquitectura, prototipado de mecanismos, pues poseen una buena resolución como la impresora Ultimaker 2 Extended+ con una resolución de capa de 600 a 20 micras (Ultimaker, s.f.), aunque ésta depende de algunos factores, ya sea de la velocidad de extrusión del material, velocidad de impresión, el tamaño de la capa; entre otros. En el mercado actual existe una gran variedad de impresoras con las cuales ha ido mejorando la calidad de impresión.

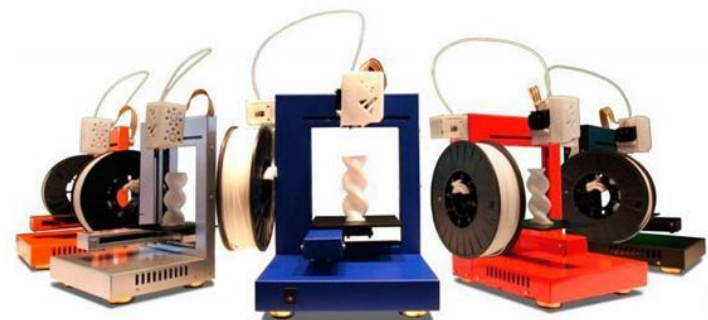


Figura 10. Impresoras 3D
Fuente: (Abc-Pack, 2016)

2.2.1 Tipos de impresoras

En la actualidad, los tipos de impresoras más comunes son las cartesianas y las deltas, cualquiera de estas pueden realizar un prototipado genérico.

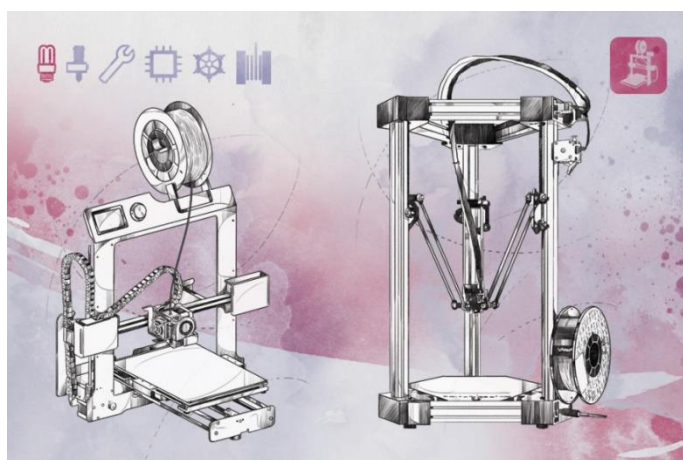


Figura 11. Tipos de impresoras 3D
Fuente: (Sánchez, 2015)

Las impresoras cartesianas, reciben este nombre debido a su arquitectura de sistema de coordenadas que usa en su software, para su movimiento. Es decir, el movimiento se produce en los tres ejes los cuales son ortogonales, donde el home u origen puede variar según la máquina o la programación. El desplazamiento es transmitido mediante el eje a través de un motor a pasos.

En cambio, las impresoras tipo delta, se basan en el algoritmo de programación de un robot delta, donde la cama se queda fija, pues lo que en verdad realiza el desplazamiento de arriba hacia abajo o viceversa son los brazos robóticos, los cuales están siendo guiados por ejes verticales que sujetan la estructura y el movimiento es transmitido mediante correas o poleas, por lo cual se obtiene mayor precisión en el trabajo.

2.2.1.1 Ventajas & Desventajas

Después de conocer unas cuantas características de las impresoras podremos ver un cuadro comparativo y tener un mejor criterio al respecto.

Tabla 4

Ventajas y desventajas de las impresoras 3D (Delta vs. Cartesiana)

Impresora →	Delta	Cartesianas
Propiedades↓		
Velocidad	Alta	Media
Definición	Alta	Media
Precisión	Alta	Alta
Calibración	Difícil	Sencilla
Ajustes	Complicado	Sencillo

CONTINÚA

Capacidad de Movimiento	Amplia	Limitada
Cama de impresión	Fija	Móvil
Información	Poca	Amplia

Fuente: (Sánchez, 2015)

2.2.2 Impresión de diversos materiales

El uso de polímero a nivel mundial ha aumentado de forma exponencial, ya sea en envases plásticos o prototipos de impresiones 3D, cada año se producen 500 millones de plásticos de un solo uso (GREENPEACE INTERNATIONAL, 2019), lo cual produce altas contaminaciones ambientales; se buscan diversos materiales que sean biodegradables o reusables y reducir el impacto producido en el planeta. A continuación da a conocer los materiales más comunes para impresión 3D.

El ácido poliláctico (PLA) y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), son los materiales más comúnmente usados por las impresoras 3D en el mercado. Ambos son termoplásticos, generalmente se venden en rollos de filamento que pueden pesar 1kg cada uno.

PLA es de origen natural, por lo cual es más amigable con el ambiente y no emite gases perjudiciales para la salud en el momento de la impresión; hay que tomar en cuenta que la resistencia es baja a comparación del ABS que es más duro, el ABS resiste altas temperaturas y se lo encuentra comúnmente en juguetes. Existen otros materiales que sirven para imprimir como es Laybrick (Pérez, 2014) de la Figura 12 que es un compuesto entre yeso y plástico que da una textura

rocosa, la cual puede tener dos tipos de acabado lisa o rugosa. Si se necesita algo similar a la madera Laywoo-D3 (Pérez, 2014) como se aprecia en la Figura 13 es la mejor opción, pues es una mezcla de madera con plástico que en aspecto, olor y textura es igual a la madera.



Figura 12. Material Laybrick para impresión 3D
Fuente: (Iniciativas 3D, 2019)



Figura 13. Laywoo-D3
Fuente: (Impresoras3D.com, s.f.)

Cuando piensen en piezas que necesiten un rango mayor de flexibilidad, Soft PLA (Pérez, 2014) es un filamento flexible y gomoso para este tipo de aplicaciones como se puede ver en la Figura 14, pero el Nylon es más resistente e igualmente flexible además es natural, repele el agua y es reutilizable. Bendlay (Pérez, 2014), también es elástico su única diferencia es su color ya que es completamente transparente y se puede usar de forma segura en el sector alimenticio.



Figura 14. Soft PLA

Fuente: (VEXMA TECHNOLOGIES PVT LTD, 2016)

2.2.3 Aplicaciones

Con las impresoras 3D se abre un amplio campo de posibilidades y aplicaciones, con las cuales se puede mejorar la calidad de vida, entretenimiento, personalizar objetos, modelar comida e incluso armas.

Cuando se habla de mejorar la calidad de vida de las personas, se puede trabajar con un sector vulnerable de la sociedad como son las personas discapacitadas como se ve en la Figura 15, en este caso personas que por diversas situaciones o por nacimiento, perdieron algún miembro o parte de su cuerpo del tamaño exacto puesto que lo puedes reemplazar por una impresión 3D de su brazo, pierna, mano, trozo de hueso e incluso ciertos tipos de cubiertas de cara; los elementos para estas prótesis son elaboradas con materiales que no causan ningún tipo de daño a los tejidos de las personas e incluso pueden llegar a reemplazar órganos de ser necesario. Este es un campo muy amplio en la medicina y la biomédica.



Figura 15. Niños beneficiarios de prótesis realizadas en impresión 3D
Fuente: (open bionics, 2018)

Para el entretenimiento y personalización de objetos, es muy fácil llegar a las personas, ya que el producto que se realiza está hecho a su gusto e imaginación, se pueden hacer juguetes con figuras complejas y originales de un tamaño realmente minúsculo y con gran detalle; ahora también empresas como New Balance las están implementando ya que hay una demanda creciente en el campo de la personalización de prendas de vestir. (UniMOOC, 2015)

Algo novedoso, son las impresoras 3D donde se puede modelar postres y dulces (Figura 16) logrando diseños increíbles y de gran complejidad, de hecho hasta la NASA estudia la opción de encapsular alimentos nutritivos que se pueden conservar hasta 30 años. (UniMOOC, 2015)

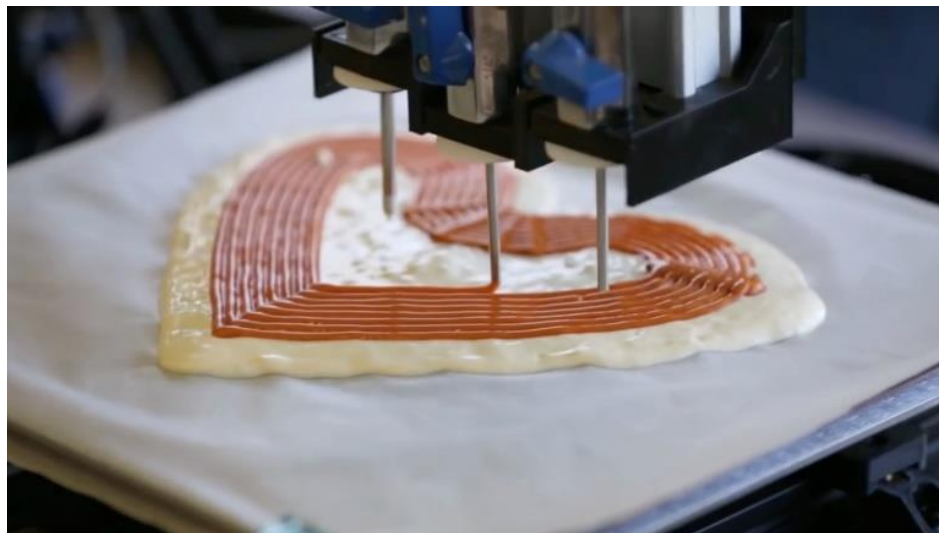


Figura 16. Impresión de pizzas
Fuente: (Morato, 2017)

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA

Para la realización del diseño de la máquina se usó la metodología mencionada en el capítulo 1 GENERALIDADES en el numeral 1.10 Metodología; en el cual se habla del modelo en V de la Norma VDI 2206, con la cual se puede llegar a diseñar un equipo mecatrónico funcional; para el proyecto fue necesario realizar una revisión exhaustiva del estado de la máquina, pues fue realizada en el año 2015 y durante estos años sufrió varias modificaciones.

La máquina requiere modificaciones en su físico, en el controlador y en su programación; en la parte externa es necesario el cambio de su apariencia, el material de la base se renovó totalmente y se realizó un cámara para ambiente controlado, el extrusor fue rediseñado para imprimir mediante un sistema de inyección; el controlador fue reemplazado por uno de las mismas características con dos entradas de alimentación 12V DC, que puede llegar a alimentar configuraciones como extrusor, ventilador, cama; además se programó según los requerimientos necesarios para el funcionamiento óptimo.

3.1 INTRODUCCIÓN DE ROBOTS DELTA

Un robot tipo delta (Figura 17), es un robot paralelo que posee una cadena cinemática cerrada con tres grados de libertad en X, Y e Z; están compuestos de una estructura móvil bajo la cual se

encuentra una plataforma fija, estos equipos son más usados que los cartesianos en aplicaciones de la industria, porque tienen altas velocidades con mayor precisión y resolución al moverse; además pueden soportar pesos mayores a los de su estructura. (GUDIÑO-LAU, NARRARRO-GUTIÉRREZ, ALCALÁ-RODRÍGUEZ, & CHARRE-IBARRA, 2017) Se debe tomar en cuenta que para la realización de un análisis cinemático de este tipo de máquinas se puede usar métodos geométricos.

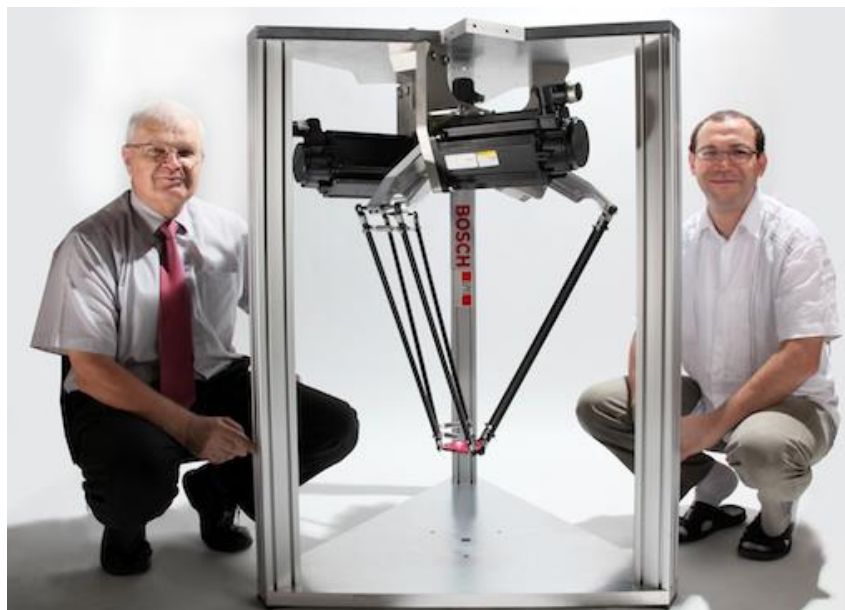


Figura 17. Robot tipo delta
Fuente: (School of Engineering , s.f.)

Sus Principales aplicaciones son en el campo industrial como se puede ser en la Figura 18, ya sea para posicionamiento o clasificación de productos y empaquetado (Serracín, Moreno, Vásquez, & Bonilla, 2017), en el campo médico se están realizando investigaciones para rehabilitación física

en niños (GUDIÑO-LAU, NARRARRO-GUTIÉRREZ, ALCALÁ-RODRÍGUEZ, & CHARRE-IBARRA, 2017)



Figura 18. Robots tipo delta en la industria
Fuente: (Cama 1 S.p.A., 2016)

3.2 DISEÑO DEL SUBSISTEMAS

Al analizar los requerimientos se procedió a realizar una división del trabajo por subsistemas para mayor facilidad.

3.2.1 Rediseño de impresora 3D tipo delta

La impresora 3D tipo delta, fue realiza en el año 2015 como proyecto de Tesis de Ana Sampértégui y Ricardo Celi (Celi, y otros, 2015); con el paso de los años ha sido sometida a varias

modificaciones, con esta última logro imprimir arcilla (Bentonita) como material de aporte. A la estructura se le dio un mantenimiento, ya que no se encontraba en buenas condiciones y se realizaron cambios en el material de las bases superior e inferior haciendo que la máquina posea una estructura cerrada, el controlador también fue reemplazado por uno nuevo, puesto que tenía partes faltantes y en malas condiciones.

La impresora no poseía sensores para un control de temperatura por lo cual se adicionó dichos sensores para controlar la cama, el sensor del extrusor fue usado para tener un ambiente controlado con lo cual se puede realizar una convección forzada y mantener el calor ambiental dentro de la máquina estable. En la Figura 19 se muestra como se encontraba la máquina al inicio del rediseño.



Figura 19. Impresora Delta antes de las modificaciones

Actualmente, la impresora se encuentra en óptimas condiciones como se muestra en la Figura 20, ya que todos los cambios que se realizaron ayudaron a que tenga un mejor funcionamiento, la máquina consta de un ambiente cerrado con material acrílico transparente, con lo cual se puede mantener una temperatura adecuada para la impresión de arcilla.

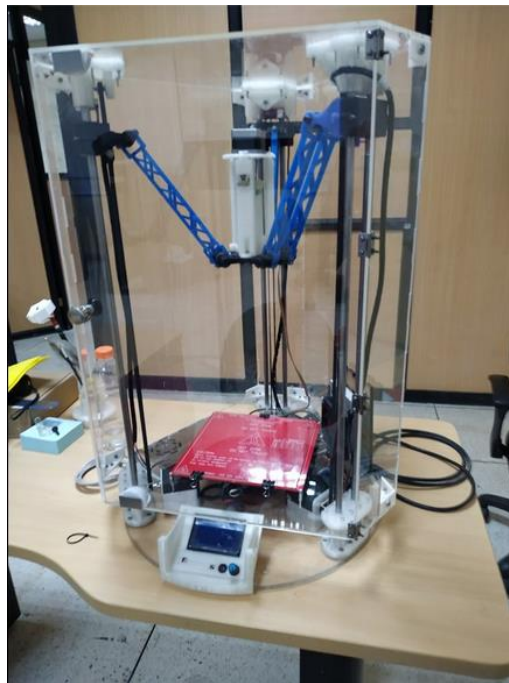


Figura 20. Impresora Delta de arcilla

Para realizar convección forzada, fue necesario tomar en cuenta las fuentes de calor existentes en la máquina, en este caso la cama caliente y una placa extra sobre la cual se encuentra una niquelina que puede alcanzar una temperatura de 260°C y un ventilador de 12V para conducir el aire caliente por toda la cámara, en este caso la temperatura máxima del ambiente será de 60°C puesto que si se eleva la temperatura puede causar burbujas de aire por la ebullición del agua que

es su principal aglutinante; tanto la niquelina como el ventilador fueron acondicionados e implementados en la parte derecha de la máquina como se muestra en la Figura 21; se los usa de esta manera ya que el material no necesita que se le aplique calor de forma directa en el momento de la extrusión con lo que se pudo realizar una distribución calorífica diferente.

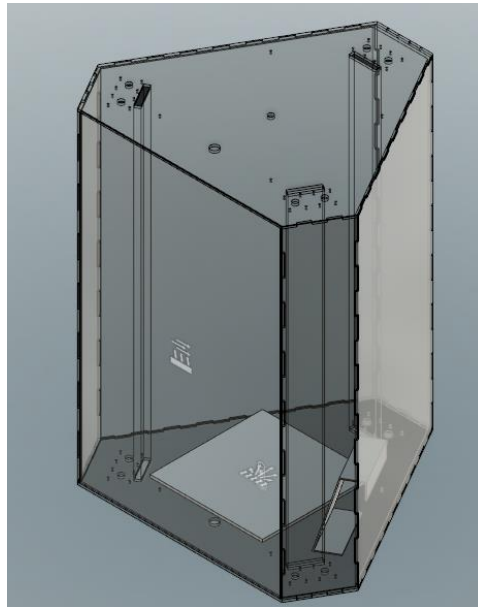


Figura 21. Caja de la impresora para la realización de un ambiente controlado, (Fusion 360, Autodesk versión estudiantil)

En la Figura 22, Figura 23 y Figura 24, se muestra la simulación de convección forzada en el software Autodesk versión estudiantil, Fusion 360, en donde la placa ubicada en la parte derecha y la cama mantienen un ambiente controlado, ya que la temperatura aplicada sobre los dos elementos que conducen calor es de 60°C para la simulación y en la Figura 22 se puede ver que se mantiene estable.

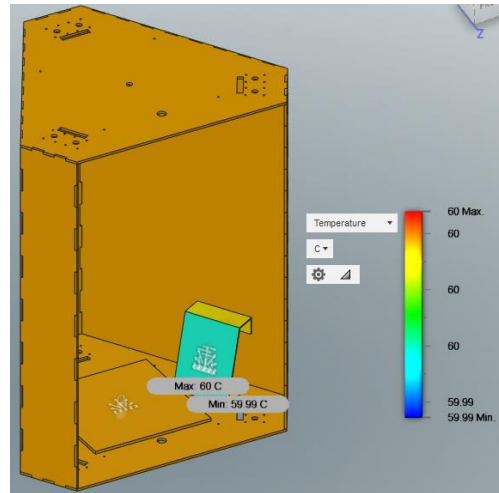


Figura 22. Simulación para la realización de un ambiente controlado. (Temperatura)

En la Figura 23 y Figura 24, se aprecia el flujo de calor y el gradiente de temperatura respectivamente y se ve la manera en cómo se va denotado en cada una de las partes de la máquina.

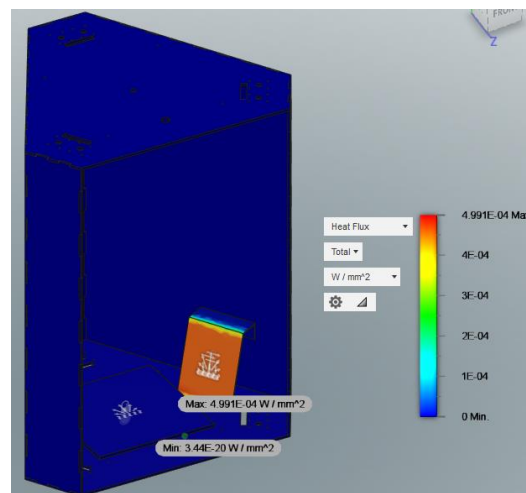


Figura 23. Simulación para la realización de un ambiente controlado. (Flujo del calor)

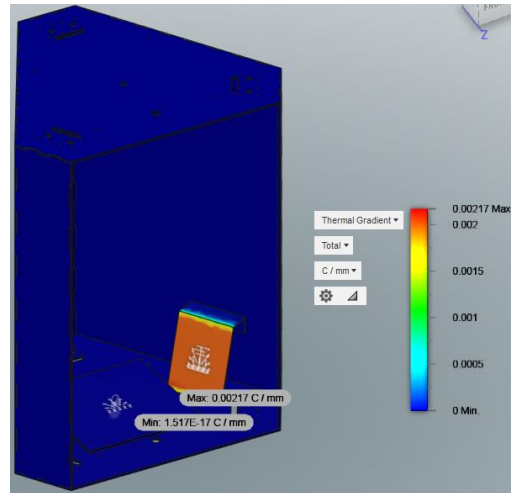


Figura 24. Simulación para la realización de un ambiente controlado. (Gradiente de Temperatura)

En la parte electrónica de la máquina; los controladores y sensores fueron cambiados pues se encontraban en condiciones inoperables ya que la vida útil de los mismos llegó a su fin; los actuadores (motores paso a paso) que se encontraban en la impresora fueron debidamente probados para verificar su correcto funcionamiento, además se añadió sensores y actuadores necesarios para la operabilidad de la máquina, como es el caso de sensores de temperatura, niquelina, cama caliente y ventilador.

3.2.2 Rediseño de extrusor para arcilla

El extrusor es una de las partes más importantes del proyecto, puesto que con él se realiza la impresión del material; al iniciar la tesis el extrusor consistía de una estructura cerrada con un tornillo sin fin en su interior para empujar el material y con una boquilla cónica como se muestra en la Figura 25.



Figura 25. Extrusor original

Al cambiar el diseño del extrusor se probaron varios conceptos, uno de ellos era muy similar al original, ya que mediante un tornillo sin fin se empuja el material, este mecanismo era similar al de un molino; este primer prototipo no tuvo un funcionamiento óptimo por la densidad del material así que se adicionó una bomba de aire comprimido con el cual se esperaba ayudar a la fluidez del material, en la realización de las pruebas no se obtuvo buenos resultados, pues el aire empujaba una cantidad mínima hasta formar un canal de paso y poder escapar, también se tomó en cuenta el diseño del tonillo por lo cual se realizó diferentes prototipos, sin embargo los resultados seguían siendo desfavorables, todas las partes creadas para el extrusor se las puede apreciar en la Figura 26; por lo cual la mejor opción se consideró a un sistema de inyección, donde el material es empujado por un émbolo el cual es guiado por un tonillo sin fin como en la Figura 27, este diseño tuvo problemas debido a que todas las partes eran mecanizadas bajo impresión 3D por lo cual se resolvió

ver otra opción con partes que posean materiales que permitan mejor fluidez del material y del émbolo para facilitar la impresión.

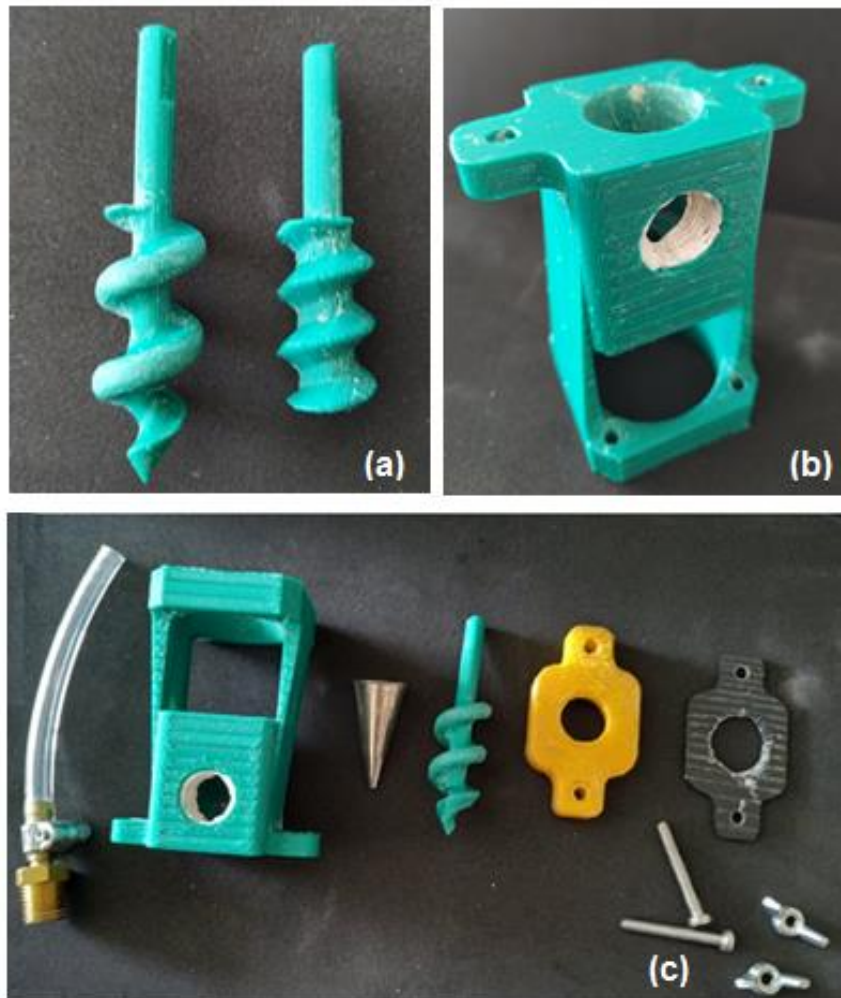


Figura 26. Prototipo primario de extrusor, (a) tornillos sin fin, (b) base del extrusor, (c) partes del extrusor de izquierda a derecha: Boquilla de entrada de arcilla, base del extrusor, boquilla de salida del material, tornillo sin fin, pieza del cierre del extrusor, empaque y pernos

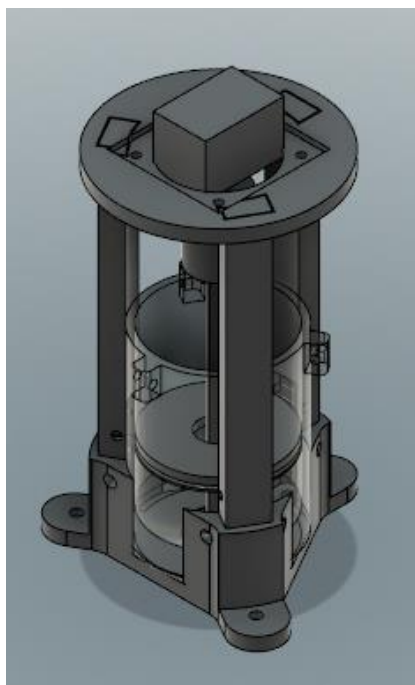


Figura 27. Primer Prototipo del extrusor por inyección

En el tercer prototipo que se realizó con un cilindro liso el cual se puede adquirir fácilmente ya que es comercial pues es una jeringa de uso veterinario de 50 ml, la cual ha sido adaptada para el empuje del material mediante un émbolo guiado por un tornillo sin fin y a su vez este es movido por un motor paso a paso Nema 17 que pertenece a la tesis original, al final posee una boquilla de 2.3mm de diámetro que pertenece a la misma jeringa por donde sale el material para imprimirlo, en la Figura 28 se aprecia la estructura que fue diseñada e impresa en PLA para que el cilindro tenga un buen ajuste y se lo pueda manipular de manera fácil.

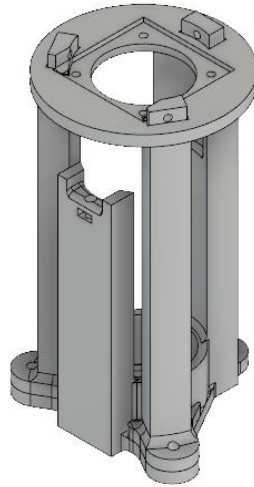


Figura 28 Prototipo final del extrusor por inyección

Como se muestra en la Figura 29, el extrusor consta de varias partes, unas impresas y otras comerciales, las cuales ayudan a la sujeción en la máquina y la correcta impresión del material.

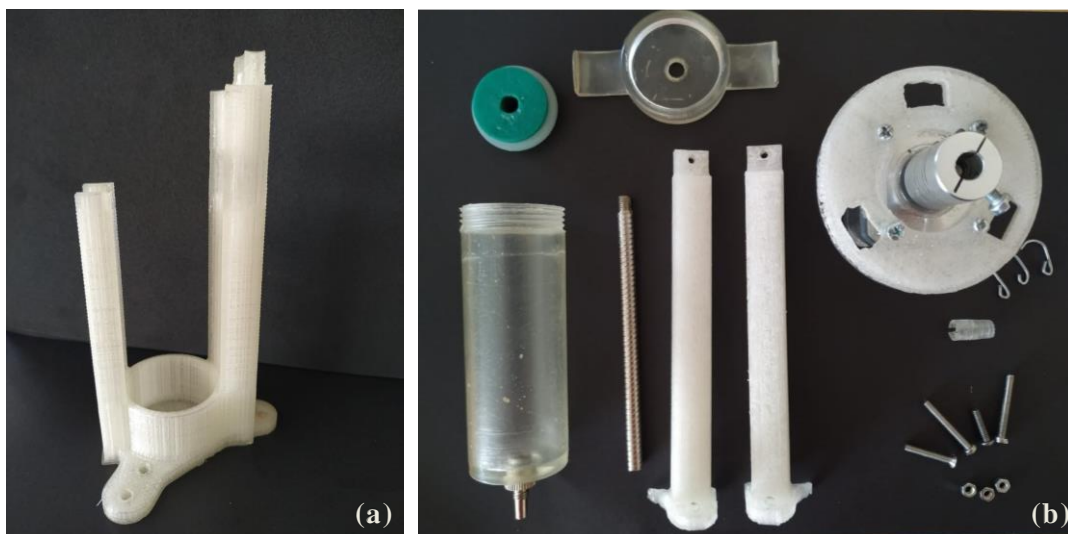


Figura 29. Partes del extrusor. (a) Base del extrusor (b) De izquierda a derecha: cilindro con su extrusor, émbolo, tornillo sin fin tapa, columnas, motor paso a paso, binchas, acople, pernos y tuercas.

Al ensamblar en el orden correcto todas las partes obtenemos un resultado como el de la Figura 30, así es como se lo coloca en la impresora, para realizar las impresiones. Se debe tener en cuenta que antes de realizar cualquier tipo de impresión el extrusor debe estar lubricado para que funcione de manera correcta y el material fluya de mejor manera en la impresión.



Figura 30. Extrusor de la impresora armado

3.2.3 Programación del controlador

El controlador de la impresora, es una tarjeta genérica llamada Ramps 1.4 (Figura 31), la cual puede ser programada según los requerimientos de la máquina, en este caso se usa una programación en el software libre Arduino llamado Marlin que posee una gran cantidad de librerías y puede ser usado tanto en máquinas tipo cartesiana como en tipo delta con solo configurarlo. La configuración que se usó es de una impresora tipo delta llamada DELTABOT, esta permite realizar varias configuraciones extras, como son número de extrusores, ventilador, temperaturas máximas y mínimas, velocidad de impresión y de extrusión, fines de carrera, altura de la máquina.

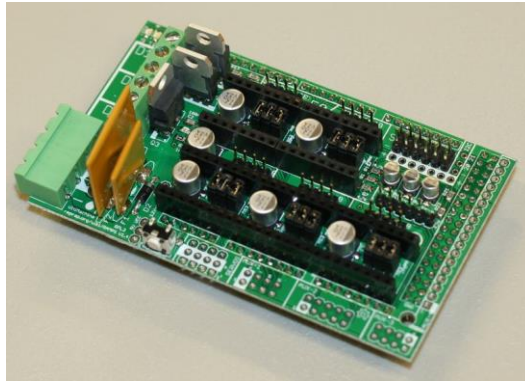


Figura 31. Controlador RAMPS 1.4
Fuente: (RepRap, 2018)

En el programa Marlin (Figura 32), en Configuration.h se puede realizar las configuraciones necesarias para el uso de la Deltabot, para que la impresión se realice de manera correcta se redujo la velocidad del extrusor, se configuró las temperaturas adecuadas para la impresión y definió la configuración de uso.

```

Marlin Firmware delta 2 esta estoy usando =)

(c) 2011-2018 MarlinFirmware
Portions of Marlin are (c) by their respective authors.
All code complies with GPLv2 and/or GPLv3

-----

Greetings! Thank you for choosing Marlin as your 3D printer firmware.
To configure Marlin you must edit Configuration.h and Configuration_adv.h
located in the root 'Marlin' folder. Check the example_configurations folder to
see if there's a more suitable starting-point for your specific hardware.

Before diving in, we recommend the following essential links:

Marlin Firmware Official Website

- http://marlinfw.org/
  The official Marlin Firmware website contains the most up-to-date
  documentation. Contributions are always welcome!

Configuration

- https://www.youtube.com/watch?v=3qvVFidg-4
  A good 20-minute overview of Marlin configuration by Tom Saalderer.
  
```

Figura 32. Programa Marlin, interfaz ARDUINO

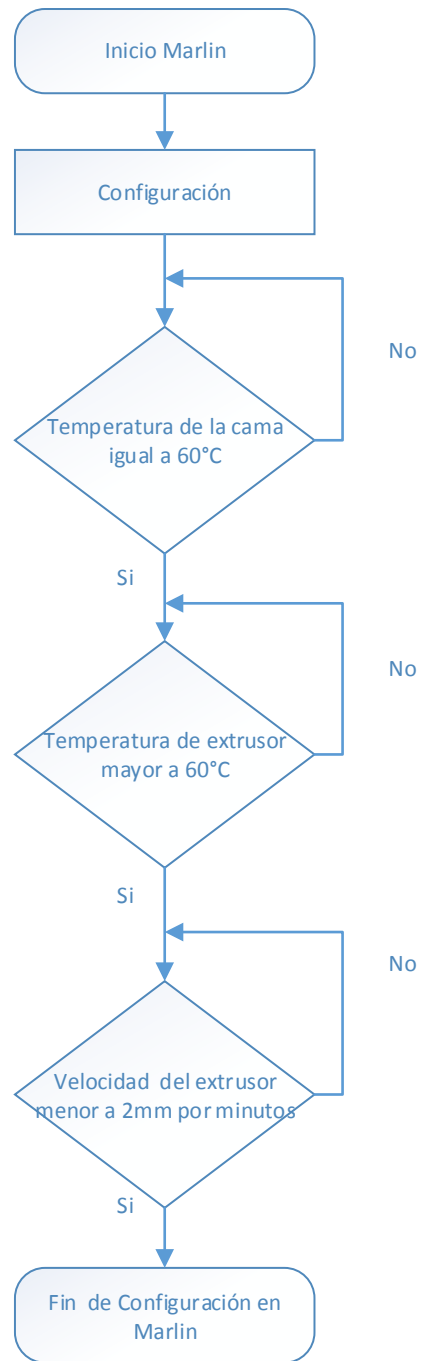


Figura 33. Diagrama de Flujo de configuración en Marlin

3.3 PRUEBAS DEL MATERIAL IMPRESO

Se realizaron varias pruebas para llegar a definir cuáles son los parámetros adecuados para la impresión, se usó el software versión estudiantil Ultimaker Cura 3.4.1, donde se puede configurar de manera más amigable las temperaturas y velocidades necesarias para la impresión, como se en la ve en la Figura 34, se puede cambiar el porcentaje de relleno del material, verificar el tamaño y de ser necesario escalarlo, moverlo, girarlo o duplicarlo; también se puede controlar la velocidad de impresión, la colocación de soportes, y en el caso de realizar una impresión mediante USB, controlarla.

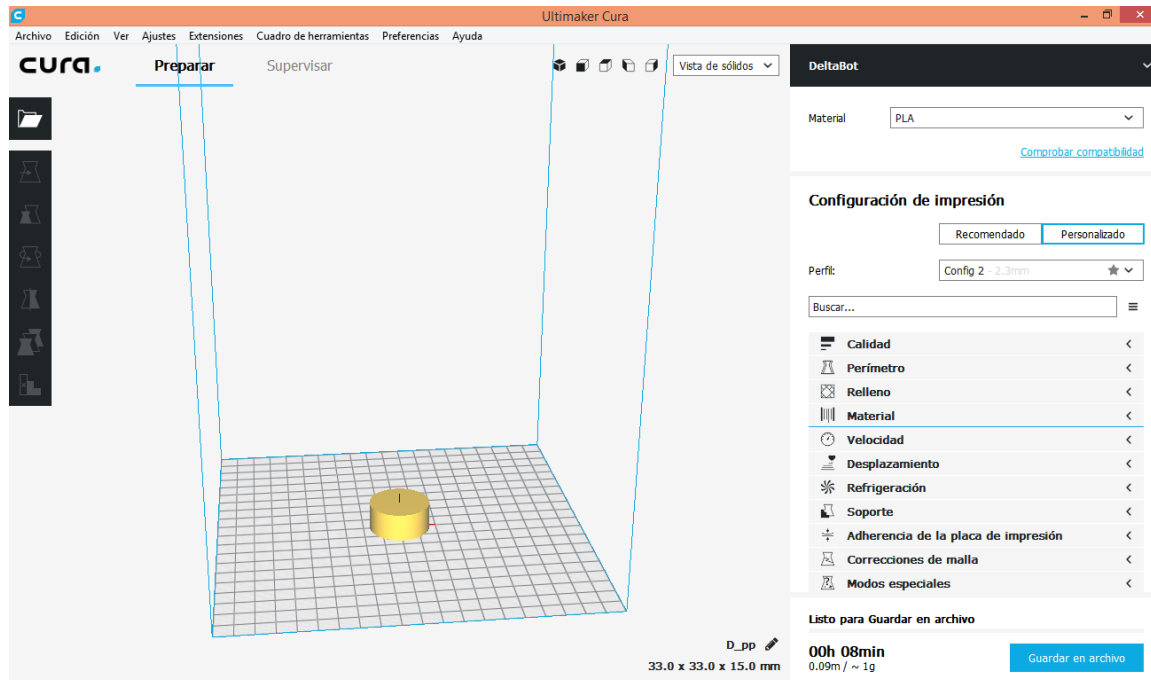


Figura 34. Software Ultimaker Cura 3.4.1, versión estudiantil

Las primeras pruebas realizadas fueron con arcilla aglutinada con agua, con lo que se pudo realizar varios test para ver la solidez del material y como se sostiene en el momento de la impresión y de ser necesario cambiar los parámetros para mejorar la calidad como se pueden ver en las imágenes de la Figura 35 y Figura 36 que se presentan a continuación.

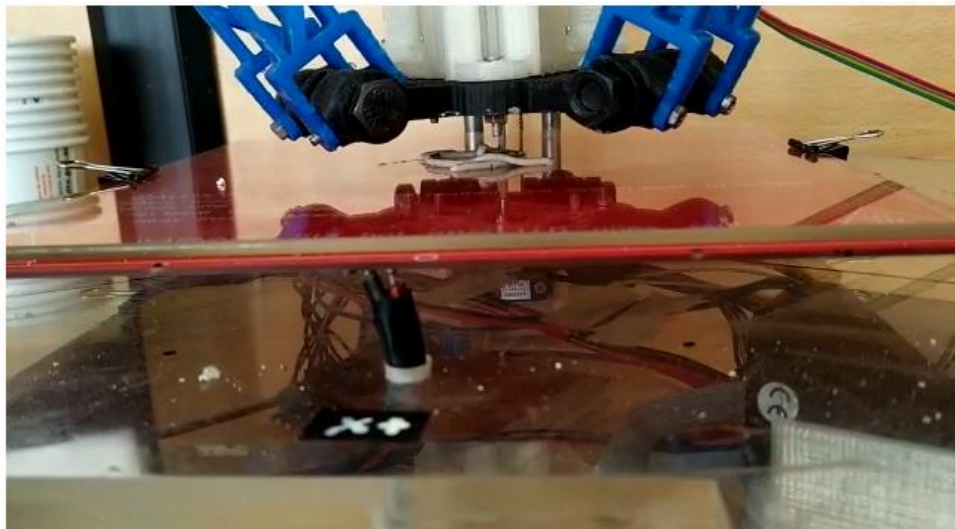


Figura 35. Inicio de la Impresión



Figura 36. Primeras pruebas de impresión

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo, se realizó un experimento mediante método Taguchi para obtener los parámetros más adecuados para la impresión 3D de arcilla común y nano estructurada con un modelo L9, donde se varió las medidas de velocidad, temperatura, porcentaje de relleno para la impresión, así como las cantidades de material (arcilla y agua) para realizar las pruebas necesarias.

4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Un diseño experimental es un método estadístico en el cual se pueden realizar diversas pruebas para conocer el resultado adecuado a parámetros que se imponen en el proyecto, en este caso el método que se aplica es el de Taguchi, además nos permite conocer los valores deseados sin un modelo matemático realizando el menor número de pruebas.

Las variables de entrada del experimento son las siguientes:

- Temperatura del ambiente controlado: Es necesario, pues el secado superficial ayudará a que la estructura que se imprime no se desmorone o su forma cambie bruscamente
- Cantidad de Bentonita: Los gramos de Bentonita son esenciales para la fluidez del material al ser impresos, es decir, a menor concentración mayor facilidad de flujo.

- Porcentaje de Relleno: En las pruebas de impresión, se colocó un relleno del material del 100%; la cantidad que este extruía, causaba una deformación excesiva generando un pandeo de la probeta; para lo cual se realizó pruebas con diferentes porcentajes de relleno.

La variable de la velocidad del extrusor se mantiene fija ya que si aumenta o disminuye, tiende a obstruir la boquilla del extrusor; por lo tanto se generó un Taguchi L9 con tres variables. El tamaño de las muestras será de 20mm de diámetro con una altura de 20mm.

Para realizar el análisis se planteó las siguientes variables de salida:

- Tiempo de secado superficial para que el material mantenga su forma.
- Porcentaje de Error existente entre las dimensiones reales y las del diseño.

4.2 DESARROLLO DE PRUEBAS

Para la realización de pruebas, mediante el software especializado, se pudo realizar un análisis del Taguchi mencionado en el Diseño experimental con lo que se obtuvo lo siguiente:

Diseño de Taguchi

Resumen del diseño

Arreglo de Taguchi	L9(3 ³)
Factores:	3
Corridas:	9

Columnas del arreglo de L9(3⁴): 1 2 3

Figura 37. Diseño de Taguchi

Y en la Tabla 5 se ven los 9 experimentos a realizar según el método Taguchi.

Tabla 5

Experimentos según Método Taguchi

	Bentonita	Temperatura	Relleno
1	25	40	15
2	25	50	30
3	25	60	50
4	50	40	30
5	50	50	50
6	50	60	15
7	100	40	50
8	100	50	15
9	100	60	30

Antes de realizar las pruebas se consideró un limitante, el cual obliga a que impresión no sobrepase los 50 CC por lo cual se aplicó lo siguiente:

$$V_{Total} = V_{H2O} + V_{Bentonita} \quad (1)$$

$$Volumen = \frac{Masa}{Densidad} \quad (2)$$

El volumen total aplicado en la ecuación 1, será el antes mencionado, por lo que la composición del material de acuerdo a las cantidades de agua y bentonita serán despejadas una en función de la otra con la ayuda de la ecuación 2, teniendo en cuenta que la densidad del agua es 0.997 g/ml (MetAs y Metrólogos Asociados, 2010) y la de la bentonita sódica es 4.23g/ml (GTM, 2016) por lo que al despejar obtenemos la ecuación 3, con la que se logra la Tabla 6.

$$4.23M_{H_2O} + 0.997M_{Bentonita} = 210.8655 \quad (3)$$

Tabla 6

Gramos de agua y Bentonita para las muestras

	Bentonita	Agua
1	25	43.96
2	50	38.07
3	100	26.28



Figura 38. Muestras de Arcilla para pruebas 7, 8 y 9

Como se puede ver en la Figura 38. Muestras de Arcilla de las muestras para las pruebas 7, 8 y 9; se encuentran demasiado secas para ser impresas; al realizar la prueba de impresión el extrusor se obstruye constantemente y el motor no logra extruir el material.



Figura 39. Muestras de Arcilla para pruebas 4, 5 y 6

Algo similar sucedió con las muestras de las pruebas 4, 5 y 6, como se muestra en la Figura 39 pues a pesar de tener mayor cantidad de agua no eran las cantidades adecuadas para que el material se pueda imprimir de forma correcta. Al contrario de la Figura 40, donde esta las muestra para las pruebas 1, 2 y 3, la cual es mucho más pastosa y fluida que las anteriores con las cuales se puede realizar las debidas pruebas obteniendo buenos resultados de impresión y con ellas se midió porcentaje de error y tiempo de secado superficial con lo cual se podrá realizar el análisis respectivo.

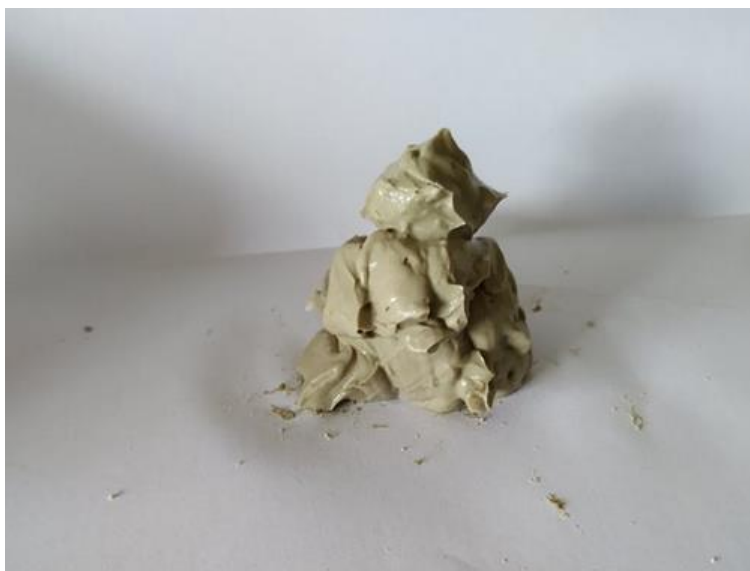


Figura 40. Muestras de Arcilla para pruebas 1, 2 y 3

Para medir el porcentaje de error se debe tomar en cuenta la ecuación 4, y con ello medir el porcentaje de error de cada una de las probetas

$$\%error = \frac{real - ideal}{ideal} * 100 \quad (4)$$

Tabla 7

Resultados del experimento Taguchi

	Bentonita	Temperatura	Relleno	Medidas Software (mm)	Medidas reales (mm)	Porcentaje de Error		Tiempo se secado superficial (~25°C)
						Altura	Ø	
1	25	40	15	20 x Ø 20	20.33 x Ø 19.86	1.65%	0.7%	8h15min
2	25	50	30		20.76 x Ø 20.74	3.8%	3.7%	8h45min
3	25	60	50		20.12 x Ø 19.60	0.6%	2%	9h00min
4	50	40	30		-	-	-	

CONTINÚA

5	50	50	50	-	-	-
6	50	60	15	-	-	-
7	100	40	50	-	-	-
8	100	50	15	-	-	-
9	100	60	30	-	-	-

Como se puede ver en la Tabla 7 los errores obtenidos son menores al 5% por lo que se puede decir que las probetas poseen una buena exactitud, repetitividad y precisión gracias a los parámetros de la máquina.

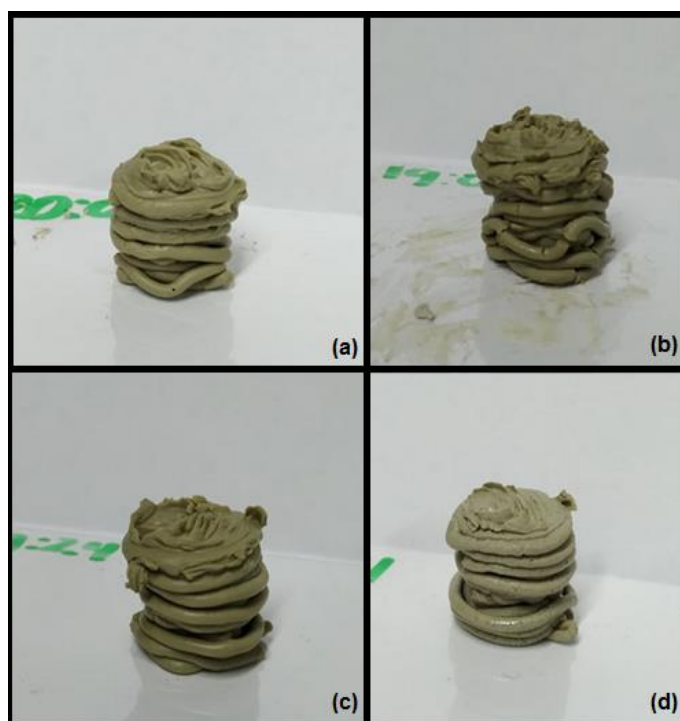


Figura 41. Muestras de Arcilla: (a) Prueba 1 (b) Prueba 2 (c) Prueba 3 y (d) Muestra con Nanotubos de Carbono

Ya que es un proyecto conjunto con Yachay Tech, también se realizó pruebas con arcilla nano estructurada (Figura 41, literal (c)) con los parámetros obtenidos por el Método Taguchi; se debió tomar en cuenta los parámetros establecidos por un diseño experimental del material realizado por el Dr. Julio Chacón y Vanessa Hinojosa, quienes determinaron que la temperatura adecuada no debe sobrepasar los 60°C para que las muestras no sufran mayores porosidades debido a la ebullición del solvente, en este caso el agua; además el tiempo determinado de secado total de las muestras varía entre 8 a 10 horas a temperaturas de 90 a 120 °C y lo ideal es de 90 a 100 °C; por lo tanto a temperatura ambiente el secado de la arcilla es mucho más lento.

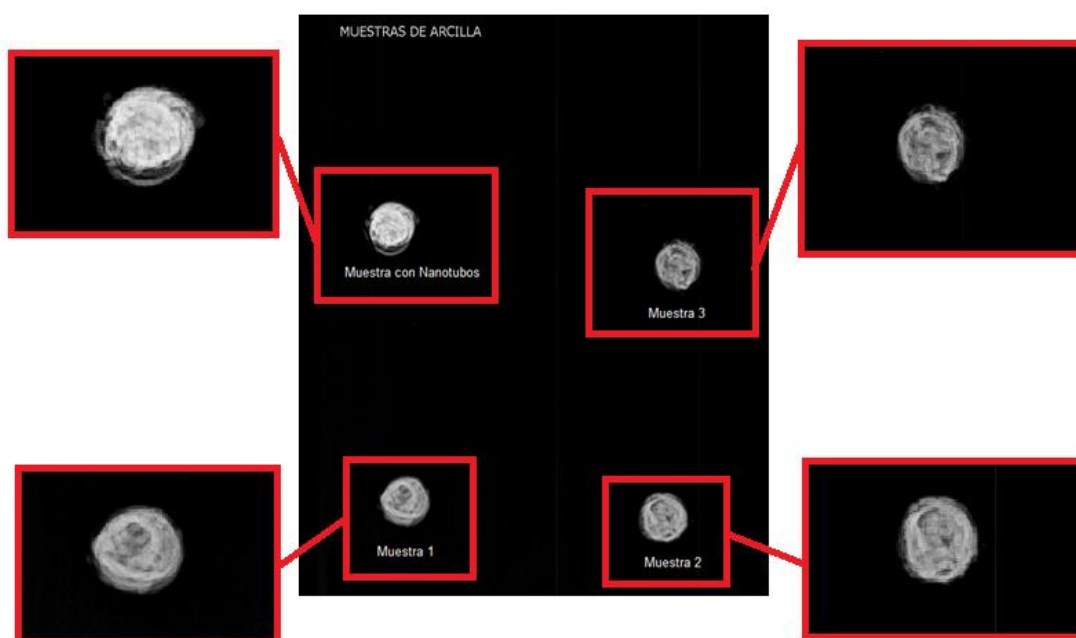


Figura 42. Ensayo no destructivo, radiografía de muestras de arcilla

Para saber la calidad de la impresión se realizó un ensayo no destructivo de tipo radiográfico, donde se observa la cantidad de poros internos de las muestras se obtuvo los siguientes resultados:

- Muestra 1: Las porosidades son pocas pero de gran tamaño lo que hace que la muestra tenga menor capacidad de resistencia

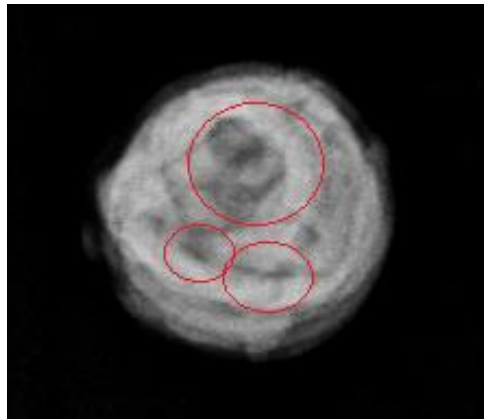


Figura 43. Muestra N°1 con factores 25gr de Bentonita, 40° C de Temperatura ambiental y 15% de relleno

- Muestra 2: Las porosidades aumentaron pero son de menor tamaño.

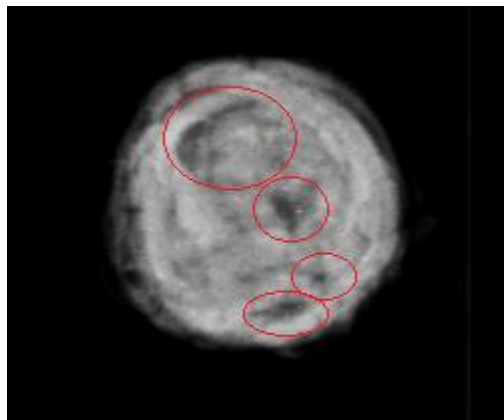


Figura 44. Muestra N°2 con factores 25gr de Bentonita, 50° C de Temperatura ambiental y 30% de relleno

- Muestra 3: El tamaño es mucho menor que la primera muestra por lo que hace que este ensayo sea el mejor.

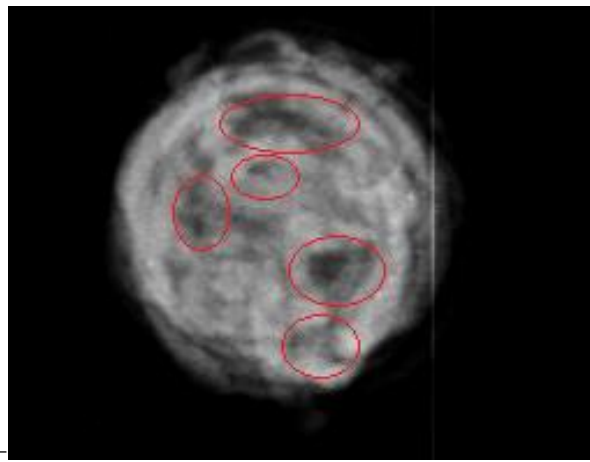


Figura 45. Muestra N°3 con factores 25gr de Bentonita, 60°C de Temperatura ambiental y 50% de relleno

- Muestra con nanotubos de Carbono: En cambio, la muestra con nanotubos de carbono, muestra que las porosidades se reducen en tamaño y en concurrencia, se observa que los Nanotubos ayudan a mejorar una propiedad del material.

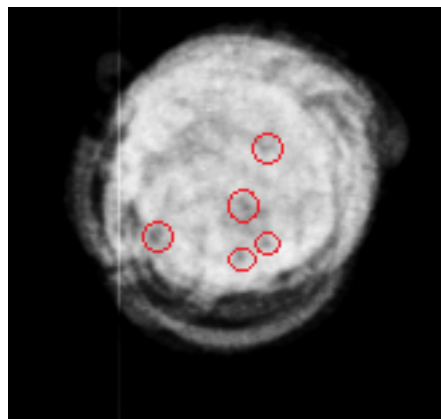


Figura 46. Muestra Nanotubos de Carbono

4.3 PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA MÁQUINA

El funcionamiento del Robot se mejoró en su totalidad ya que a las partes que fueron recuperadas de proyectos anteriores se les brindó un mantenimiento adecuado como son los ejes, motores, estructuras impresas y correas; por lo cual está en óptimas condiciones de funcionamiento. Finalmente se obtuvo una impresora de un área de trabajo de 210x210x350 mm, la cual es un área considerable para realizar todo tipo de trabajos.

Tabla 8

Datos de prueba de máquina

	Punto Software			Punto Real			% Error x	% Error y	% Error z
	x	y	z	x	y	z			
1				44	25	3.00	2.22	0.00	0.00
2				46	24	3.00	2.22	4.00	0.00
3				45	26	2.90	0.00	4.00	3.33
4				46	24	3.10	2.22	4.00	3.33
5				45	25	2.90	0.00	0.00	3.33
6				44	26	3.20	2.22	4.00	6.67
7				42	23	2.92	6.67	8.00	2.67
8				41	24	2.81	8.89	4.00	6.33
9				43	24	2.90	4.44	4.00	3.33
10				44	23	2.80	2.22	8.00	6.67
11				42	24	3.04	6.67	4.00	1.33
12				45	26	2.85	0.00	4.00	5.00
13	45	25	3	46	26	3.08	2.22	4.00	2.67
14				44	24	2.87	2.22	4.00	4.33
15				43	23	2.93	4.44	8.00	2.33
16				45	23	2.90	0.00	8.00	3.33
17				46	25	3.10	2.22	0.00	3.33
18				45	24	2.90	0.00	4.00	3.33
19				44	23	3.12	2.22	8.00	4.00
20				44	25	2.95	2.22	0.00	1.67
21				44	24	3.07	2.22	4.00	2.33
22				43	23	2.92	4.44	8.00	2.67
23				42	24	2.84	6.67	4.00	5.33
24				43	26	2.91	4.44	4.00	3.00
25				43	24	3.11	4.44	4.00	3.67

CONTINÚA

26	44	24	3.09	2.22	4.00	3.00
27	44	25	3.12	2.22	0.00	4.00
28	45	26	2.90	0.00	4.00	3.33
29	44	25	2.92	2.22	0.00	2.67
30	44	25	3.00	2.22	0.00	0.00
			Error Promedio	2.96	3.33	2.97

Para saber la exactitud y repetitividad se realizaron varias pruebas donde se obtuvo que 7 de cada 9 veces, la máquina llegaba su destino con una fidelidad al dato de 97.04% en X, 96.67% en Y y 97.03% en Z como se ve en la Tabla 8

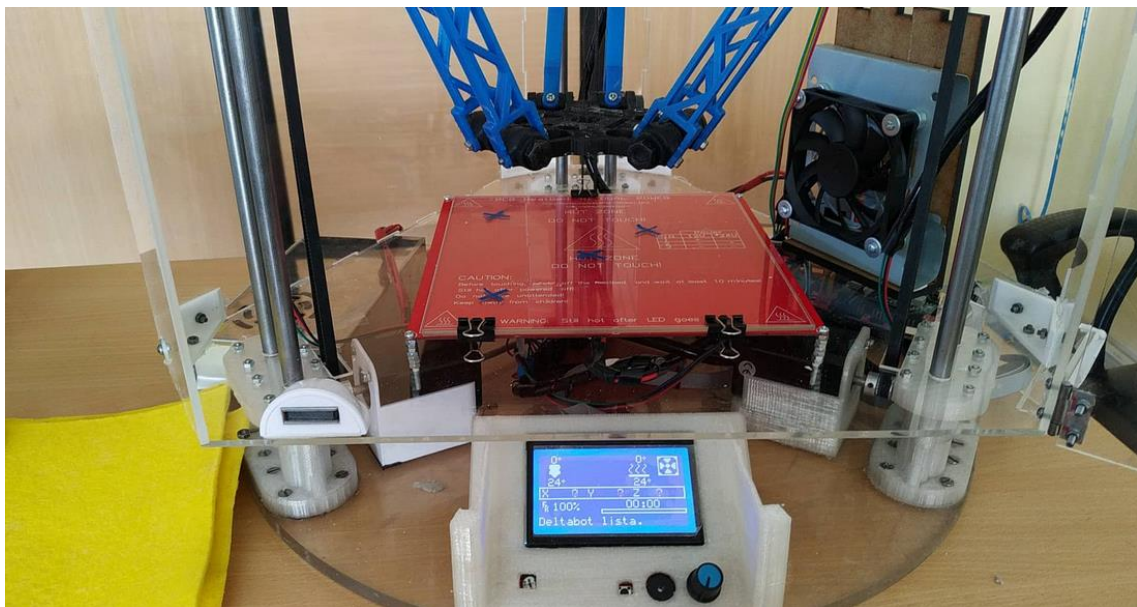


Figura 47. Impresora 3D realizando pruebas de repetitividad y exactitud

Según la norma 9283 de Robots manipuladores industriales, para el cálculo de repetitividad y precisión se usan las siguientes ecuaciones:

$$RP_l = \bar{l} + 3S_l \quad (5)$$

Donde en la Ecuación 5 tenemos:

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j \quad (6)$$

$$l_j = \sqrt{(x_j - \bar{x})^2 + (y_j - \bar{y})^2 + (z_j - \bar{z})^2} \quad (7)$$

$$S_l = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (l_j - \bar{l})^2}{n - 1}} \quad (8)$$

Donde en las Ecuaciones 6, 7 y 8 tenemos:

x_j, y_j, z_j : Es el dato tomado en la máquina.

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$: Es la media de los datos

n : número de datos tomados

Al reemplazar los datos con los de la tabla nos da como resultado

$$RP_l = \pm 0.237 [mm]$$

La repetibilidad obtenida como resultado de la norma es ± 0.237 milímetros

Y para la precisión tenemos

$$AP_p = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2} \quad (9)$$

Donde en la Ecuacione 9 tenemos:

$$AP_x = (\bar{x} - x_c) \quad (10)$$

$$AP_y = (\bar{y} - y_c) \quad (11)$$

$$AP_z = (\bar{z} - z_c) \quad (12)$$

Donde en las Ecuaciones 10, 11 y 12:

x_c, y_c, z_c : Es el dato tomado en la máquina.

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$: Es la media de los datos

n : número de datos tomados

En donde al resolver las ecuaciones obtenemos una presición de:

$$AP_p = \pm 0.452 [mm]$$

Por lo tanto se tiene una precisión de ± 0.452 milímetros.

CONCLUSIONES

- Se rediseño una impresora 3D con un reacondicionamiento del extrusor para arcilla común y nano estructurada, la cual consta de un ambiente controlado con el fin de que el secado superficial de las muestras se produzca en un menor tiempo, optimizando el tiempo de fabricación de probetas. La máquina puede ser monitoreada de dos manera la primera mediante una pantalla LCD perteneciente al hardware de la impresora o mediante un software versión estudiantil llamado Ultimaker Cura 3.4.1, donde también se pueden modificar los parámetros de impresión como relleno, temperatura y en caso de ser necesario la velocidad.
- Al evaluar el funcionamiento de la impresora, reflejó una precisión del movimiento de sus ejes $\pm 0.452 \text{ mm}$ y una repetitividad de $\pm 0.237 \text{ mm}$, dando como resultado una máquina funcional, puesto con un menor al 5%.
- Se realizó una ardua investigación para conocer los parámetros necesarios consecuentemente diseñar un extrusor de arcilla, donde se adquirió conocimientos acerca de las condiciones adecuadas para le impresión de la arcilla mediante un extrusor de inyección mediante tornillo sin fin.
- El extrusor consta de una estructura impresa con PLA, construida con la ayuda de modelamiento 3D, para sostener la estructura y con ello fijar los elementos al movimiento de los ejes de la máquina, adicional a esto posee un motor paso a paso el cual da el movimiento

necesario al diseño del mecanismo, el cual es un tonillo sin fin que empuja al émbolo para la extrusión del material.

- El material antes de ser impreso, previamente debe poseer ciertas características, pues su fluidez debe ser la suficiente para que la boquilla del extrusor no forme grumos en la mezcla, según las pruebas realizadas es recomendable usar 25 gramos de Bentonita Sódica y 43.96 gramos de agua, ya que una de las limitantes es el volumen de impresión, con ellos las pruebas realizadas tuvieron buenos resultados.
- En el análisis de las pruebas de impresión del material, se pudo observar que las probetas sin nanotubos de carbono posee más porosidades internas que las que si los contienen, por lo que se verificó que los nanotubos de carbono ayudan a que los espacios internos.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable usar solventes o aglutinantes de secado rápido para que el tiempo de solidificación de las muestras o impresiones sea menor y con ello tener una mejor manipulación de las mismas, ya que se pueden estropear en su manejo
- Los parámetros de impresión deben ser modificados según la densidad de la arcilla para obtener mejores resultados, ya sea en apariencia, secado o relleno.
- Para la preservación del equipo, se debe lubricar constantemente la maquinaria en especial los ejes y el cilindro del extrusor; ya que la arcilla es un material que provoca un alto desgaste en el extrusor, debido a la fricción, calor y constante uso.

TRABAJOS FUTUROS

Para trabajos futuros en máquinas de impresión 3D de arcilla, se propone:

- Realizar un extrusor que posea una alimentación continua, y con ello no limitar el volumen de trabajo, ni el número de piezas a realizar.
- Mejorar las condiciones del material antes de ser impreso, mediante un análisis reológico del material que se desea imprimir.
- Elaborar una máquina complementaria que ayude al secado de probetas realizadas en la máquina y con ellos optimizar el tiempo de realización.
- Crear un sistema de limpieza y lubricación con el fin de preservar la vida útil del equipo.
- Implementar un sistema de visión artificial con el cual se pueda determinar los errores frecuentes mediante procesamiento de imágenes.

BIBLIOGRAFÍA

- Abc-Pack. (2016). *Abc-Pack*. Obtenido de Abc-Pack: <https://www.abc-pack.com/enciclopedia/que-tipos-de-impresoras-3d-hay-y-cuanto-pueden-costar/>
- Baldrán, R., Romero, G., Mendoza, A., & Sotelo, R. (2008). Nanotubos de carbono y bionanotecnología. *INCI*, 33(5), 331-336. Obtenido de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000500005
- Bartolomé, J. (1997). El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones . *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 36(1), 7-20.
- Cama 1 S.p.A. (2016). *Cama Group*. Obtenido de Cama Group: <http://www.camagroup.com/triaflex-delta-robots-dried-fruits-packaging/>
- Celi, R., Sampértegui, A., Morocho, D., Loza, D., Alulema, D., & Proaño, M. (2015). *IEEE Xplore, Digital Library*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7778501/>
- ClayXYZ. (17 de 05 de 2017). *KICKSTARTER*. Recuperado el 2018 de 04 de 22, de <https://www.kickstarter.com/projects/clayxyz/clayxyz-desktop-3d-clay-printer-create-your-own-ar>
- Comité Español de Automática (CEA). (2008). *Libro Blanco de la Robótica: De la investigación al desarrollo tecnológico y aplicaciones futuras*. CEA - GTRob con subvención del MEC.
- Contour Crafting Corporation. (2017). *Contour Crafting Corporation*. Recuperado el 22 de 04 de 2018, de <http://contourcrafting.com/>
- Gil, I. (20 de 05 de 2015). *La impresión 3D y sus alcances en la arquitectura*. Recuperado el 22 de 04 de 2018, de http://oa.upm.es/38442/7/PFC_IRENE_GIL_GIL.pdf
- GREENPEACE INTERNATIONAL. (2019). *GREENPEACE*. Obtenido de GREENPEACE: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>

GTM. (Abril de 2016). *GTM*. Obtenido de GTM: <http://www.gtm.net/images/industrial/b/BENTONITA%20S%C3%93DICA%20POLVO.pdf>

GUDIÑO-LAU, J., NARRARRO-GUTIÉRREZ, H., ALCALÁ-RODRÍGUEZ, J., & CHARRE-IBARRA, S. (2017). Diseño de un robot delta y su análisis cinemático. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 13- 24. Obtenido de http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica/vol3num8/Revista_de_Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica_V3_N8_2.pdf

Hernández, M. J. (1996). *Caracterización reológica de hidrogeles de MCC-NaCMC + almidón. Tixotropía y sinergismo*. Valencia: Imprenta Llorens.

Hyrel 3D. (17 de 04 de 2017). *IMPRESORAS3D.COM*. Recuperado el 22 de 04 de 2018, de <https://www.impresoras3d.com/hyrel-3d-imprime-arcilla-plastilina-y-silicona-una-opcion-de-impresoras-3d-escolares/>

Impresoras3D.com. (s.f.). *Impresoras3D.com*. Obtenido de Impresoras3D.com: <https://www.impresoras3d.com/producto/laywood-flex-madera-flexible-300-mm/>

Iniciativas 3D. (2019). *i3D*. Obtenido de i3D: <http://iniciativa3d.blogspot.com/2013/12/nuevos-materiales-investigando-laybrick.html>

MetAs y Metrólogos Asociados. (Junio de 2010). *MetAs* . Obtenido de MetAs : <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-Metas-10-06-densidad-agua.pdf>

Morato, A. (11 de 03 de 2017). *Omicrono* . (Omicrono) Obtenido de <https://omicrono.elespanol.com/2017/03/pizza-impresora-3d/>

Moreira, R. (2016). *Propiedades de una bentonita industrial nacional y su caracterización estructural basada en absorción y difracción de rayos X (XANES y DRX)*. Obtenido de https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/6132/11746_6132.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Nanodecarbono. (31 de Marzo de 2016). *Nanotubos de Carbono*. Obtenido de Nanotubos de Carbono: <https://nanodecarbono.wordpress.com/2016/03/31/origen-de-los-nanotubos-de-carbono/>

- open bionics. (2018). *open bionics*. (open bionics) Obtenido de <https://openbionics.com/>
- Palacios, J., & Chimbolema, S. (2017). *Repositorio Digital Universidad Nacional de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4341>
- Palacios, J., Flores, P., & Nieto, B. (2018). *Repositorio Digital Universidad Nacional de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4713>
- Pérez, S. (29 de 04 de 2014). *Tecnonauta*. (Neox Producciones Digitales) Obtenido de <https://www.tecnonauta.com/notas/1881-impresoras-3d-materiales>
- Ramos, R. (Enero de 2016). *Research Gate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/322852337_Modificacion_de_electrodos_grafit_o-epoxi_GE_con_nanotubos_de_carbono_GEMWCNTs_nanoparticulas_de_oro_GEAu-Np_y_nanotubos_de_carbono_decorados_con_nanoparticulas_de_oro_GEMWCNTsAu-Np_para_su_uso_potenci/fig
- RepRap. (17 de Enero de 2018). *RepRap*. Obtenido de https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4/es
- Rivas, M., Román, J., & Cosme, M. (2007). *Aplicaciones actuales y futuras de los nanotubos de carbono*. Madrid: Fundación madrid para el Conocimiento.
- Sánchez, A. (2015). *Impresoras 3D Cartesianas vs. impresoras 3D Delta*. (DIWO Mundo Reader) Obtenido de <http://diwo.bq.com/impresoras-3d-cartesianas-vs-delta/>
- School of Engineering . (s.f.). *EPFL, School of Engineering* . Obtenido de EPFL, School of Engineering : <https://sti.epfl.ch>
- Serracín, J., Moreno, I., Vázquez, T., & Bonilla, I. (2017). Prototipo de Robot Paralelo Delta para fortalecer el proceso educativo a nivel superior. *Memorias De Congresos UTP*, 155-160.
- Tendencias Media SL. (2019). *UNISIMA.COM*. Obtenido de UNISIMA.COM: <https://unisima.com/belleza/bentonita/>
- Ultimaker. (s.f.). *Ultimaker Grupo Sicnova*. Obtenido de Ultimaker Grupo Sicnova: <https://ultimaker.tr3sdland.com/producto/ultimaker-2-extended/>

UniMOOC. (16 de 04 de 2015). *UniMOOC*. (UniMOOC) Obtenido de <https://unimooc.com/6-aplicaciones-de-las-impresoras-3d/>

V.U., A. (s.f.). *Cuestión de Química*. Obtenido de Cuestión de Química: <https://cuestiondequimica.com/tag/nanotubos-de-carbono/>

VDI2206. (2004). *Design methodology for mechatronic systems*.

VEXMA TECHNOLOGIES PVT LTD. (2016). *VEXMA*. Obtenido de VEXMA: <http://vexmatech.com/flexpla.html>

VORM VRY. (12 de 2016). *VORM VRY*. Recuperado el 22 de 04 de 2018, de <https://lutum.vormvrij.nl/shop/#!/LUTUM%C2%AE-v3-MXL-3d-clay-printer/p/69941040/category=13496106>

ANEXO A.
MANUAL DE USUARIO

ANEXO B.
PLANOS DE LA MÁQUINA