



**Diseño e implementación de un sistema de manufactura aditiva, indexado al CIM como
estación de impresión en 3D**

Cortez Gavilanez, Stalin Olay y Uñog Ninasunta, Iván Andrés

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de ingeniero en Mecatrónica

Ing. Acuña Coello, Fausto Vinicio

Agosto del 2023

Latacunga

Reporte de verificación del contenido



CORTEZ S-UÑOĞ I TESIS UIC.pdf

Scan details

Scan time:
August 8th, 2023 at 20:1 UTC

Total Pages:
106

Total Words:
26456

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	2.6%	676
Minor Changes	0.3%	72
Paraphrased	3.6%	950
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
 AI text
 Human text

🔍 Plagiarism Results: (67)

📄 (PDF) DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA ... 0.3%

<https://dokumen.tips/documents/departamento-de-ciencias-...>

Others

📄 Automatización de la estación neumática PN-2800 ... 0.3%

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/258>

DSpace Repository Automatización de la estación neumática PN-2800 del laboratorio C.I.M. 2000 mediante la plataforma compactlogix...

📄 Implementación de un prototipo de impresora 3D c... 0.3%

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14619/1/Up...>

Vasconez Saltes, Evelyn

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍAS CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA PROYECTO TÉCNICO...

Acuña Coello, Fausto Vinicio

C.C.: 0501510267

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Diseño e Implementación de un sistema de manufactura aditiva, indexado al CIM como estación de impresión en 3D"** fue realizado por los señores **Cortez Gavilanez, Stalin Olay y Uñog Ninasunta, Iván Andrés** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 10 de agosto del 2023

Acuña Coello, Fausto Vinicio

C.C.: 0501510267



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Cortez Gavilanez, Stalin Olay** y **Uñog Ninasunta, Iván Andrés**, con cédulas de ciudadanía n° 0504109141 y n° 1805321617 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Diseño e Implementación de un sistema de manufactura aditiva, indexado al CIM como estación de impresión en 3D** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 10 de agosto del 2023

Cortez Gavilanez, Stalin Olay

C.C.: 0504109141

Uñog Ninasunta, Iván Andrés

C.C.: 1805321617



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, **Cortez Gavilanez, Stalin Olay** y **Uñog Ninasunta, Iván Andrés**, con cédulas de ciudadanía n° 0504109141 y n° 1805321617, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: : **Diseño e Implementación de un sistema de manufactura aditiva, indexado al CIM como estación de impresión en 3D** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 10 de agosto del 2023

Cortez Gavilanez, Stalin Olay

C.C.: 0504109141

Uñog Ninasunta, Iván Andrés

C.C.: 1805321617

Dedicatoria

Este logro se lo dedico a Dios por haberme dado las fuerzas y la sabiduría para concluir con éxito esta etapa de mi vida.

Este trabajo se lo dedico a mis padres Darwin y Luciana que con su amor y comprensión fueron el pilar fundamental para lograr este objetivo.

A mis hermanos Jenny, Tatiana y Darwin que nunca han dejado de apoyarme en cada momento difícil de mi vida.

A mi sobrino Gael que con sus ocurrencias y travesuras siempre me alegra mis días.

En general este logro alcanzado se lo dedico a todas las personas que confiaron en mí y de una u otra forma me ayudaron y me dieron ese apoyo en los momentos más difíciles.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de todo corazón a mi padre Olguer y a mi madre Maria ya que sin ustedes esto no hubiera sido posible, son el mejor regalo que Dios me ha dado en la vida, gracias a ustedes he logrado culminar esta etapa de mi vida. Este logro no es solo mío sino también de ustedes, ya que ustedes son mi motivación y mi ejemplo a seguir, son el motivo de levantarme todas las mañanas para lograr cumplir nuevas metas tanto en la vida profesional y como persona. Gracias por confiar en mí y apoyarme incluso cuando yo dudaba de mí mismo, por enseñarme a nunca rendirme, y por enseñarme que con esfuerzo y sacrificio siempre se puede llegar a la meta.

También dedico este trabajo a mi querida hermana Leidy y a mi querido hermano Matias, ustedes siempre han estado ahí en los momentos de alegría y tristeza, siempre confiando en mí y brindándome su cariño y amor incondicional.

A mi abuelo Andrés que me cuida y protege desde el cielo, festejando mis triunfos y los logros que alcance a lo largo de mi vida.

A mis abuelitas, tíos y tías que siempre me brindaron su apoyo y confiaron en que podría lograrlo.

A mis amigos con los que he compartido buenos momentos ustedes que me han demostrado su apoyo y brindándome ánimos y consejos durante todo este trayecto.

Agradecimiento

Un agradecimiento eterno a Dios por permitirme vivir esta hermosa experiencia de culminar mi carrera universitaria.

Infinitas gracias a mis padres Darwin y Luciana que con todo su apoyo y comprensión me enseñaron a valorar cada esfuerzo que han hecho por darme la mejor herencia que es el estudio, nunca los defraudaré.

A mis hermanos les agradezco por apoyarme y por siempre estar cuando los necesito.

A mis docentes quienes compartieron sus conocimientos para plasmarlos y dar resultados en este trabajo realizado.

A mis amigos y compañeros con los que compartí esta hermosa etapa de mi vida, gracias por las anécdotas y las risas que nunca faltaron.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por ser mi segundo hogar y darme la oportunidad de culminar mi carrera universitaria en tan prestigiosa institución.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por que me ha brindado fortaleza, protección y darme fuerzas para culminar mi carrera universitaria.

A mi madre Maria por estar siempre presente en esta etapa de mi vida, por su amor y apoyo incondicional, que es mi fortaleza en los momentos más complicados de mi vida, por todas las veces que me ayudo a levantarme cuando estaba a punto de rendirme, gracias por haberme brindado todo su cariño y confianza para culminar esta etapa de mi vida. A mi padre Olguer que me enseñó a nunca rendirme a pesar de las adversidades que siempre confió en mí y me apoyo durante todo este trayecto.

A mis hermanos Leidy y Matias que siempre han estado conmigo motivándome y confiando en mí, siempre dándome ánimos y las fuerzas necesarias para obtener mi título profesional, ustedes son mi razón de seguir adelante.

A los Ingenieros que fueron nuestra guía este camino, compartiendo sus conocimientos para poder plasmarlos en este trabajo.

A mis amigos que me han acompañado en este largo trayecto y siempre me brindaron su apoyo y amistad sincera.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación del contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de auditoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de tablas	16
Índice de figuras	18
Resumen.....	22
Abstract	23
Capítulo I : Fundamentación Teórica.....	24
Definición de CIM	24
<i>Elementos y Arquitectura de un CIM.....</i>	<i>24</i>
<i>Tipos de Sistema CIM.....</i>	<i>25</i>
Manufactura aditiva.....	26
<i>Partes de una impresora 3d</i>	<i>26</i>
<i>Tecnologías de impresión 3D</i>	<i>27</i>

<i>Tipo de impresoras 3D FDM</i>	28
CIM a Nivel Nacional	28
<i>Laboratorio CIM 2000 de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe (Sangolquí)</i> .	28
CIM a Nivel de Latinoamérica	30
<i>Laboratorio CIM de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Colombia)</i>	30
<i>Laboratorio CIM de la Universidad Ricardo Palma (Perú)</i>	31
<i>Estación de impresión 3d en el laboratorio de fabricación digital FabLAB Neiva indexado a un CIM</i>	33
<i>Estación de manufactura aditiva en la Universidad de Texas en el Paso</i>	34
Impresoras 3D indexadas al CIM.....	34
<i>3D Printer Farm - Robot-based Automation</i>	36
Línea base del sistema	38
<i>Impresora 3D Auto-Replicable controlada inalámbricamente para el prototipado de piezas plásticas de bajo costo mediante software libre</i>	39
<i>Impresora 3D de cinco ejes para el ahorro de material y mejoramiento de la resistencia mecánica en piezas fabricadas mediante el método de deposición de material fundido en la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga</i>	41
<i>Sistema de impresión 3D mediante el brazo robótico Kuka KR16</i>	42
Alternativas de desarrollo de la impresora 3D indexada al CIM	45
<i>Alternativas de solución para el desarrollo del CIM</i>	45
<i>Alternativa de solución para la estación de Manufactura Aditiva</i>	46

<i>Selección de alternativas para el sistema CIM</i>	<i>47</i>
<i>Criterio de selección del CIM</i>	<i>47</i>
<i>Selección de alternativas para la impresora 3D</i>	<i>48</i>
<i>Criterio de selección de la estación de Impresión.....</i>	<i>49</i>
Capítulo II : Parámetros de Diseño	51
Selección de componentes	51
<i>Tabla de escala de evaluación para la selección de los subsistemas</i>	<i>52</i>
<i>Subsistema de estructura de la impresora 3D.....</i>	<i>52</i>
<i>Parámetros para considerar la selección de la estructura indexada al CIM.....</i>	<i>55</i>
<i>Selección de la estructura de la impresora 3D indexada al CIM.....</i>	<i>55</i>
<i>Subsistema del mecanismo de transmisión de la impresora 3D.....</i>	<i>56</i>
<i>Parámetros para considerar la selección del mecanismo de transmisión del eje Z...58</i>	
<i>Selección del mecanismo de transmisión en el eje Z</i>	<i>59</i>
<i>Parámetros para la selección del mecanismo de transmisión del eje X-Y</i>	<i>59</i>
<i>Selección del mecanismo de transmisión en el eje X-Y.....</i>	<i>60</i>
<i>Alternativa de actuadores para la impresora 3D</i>	<i>61</i>
<i>Parámetros para considerar la selección del actuador de la impresora 3D</i>	<i>63</i>
<i>Selección del actuador de la impresora 3D</i>	<i>64</i>
<i>Sistema de extrusión</i>	<i>64</i>
<i>Parámetros para considerar del sistema de extrusión</i>	<i>66</i>
<i>Selección del sistema de extrusión.....</i>	<i>66</i>

<i>Subsistema de la base de impresión (Cama)</i>	67
<i>Parámetros para considerar la selección de la base de impresión</i>	68
<i>Selección de la base de impresión</i>	69
<i>Sistema de la tarjeta de control de la impresora 3D</i>	69
<i>Parámetros para considerar de la tarjeta de control de la impresora 3D</i>	72
<i>Selección de la tarjeta de control de la impresora 3D</i>	72
<i>Transmisión de Datos para el CIM</i>	73
<i>Parámetros para considerar para la transmisión de datos del CIM</i>	75
<i>Selección de la transmisión de datos del CIM</i>	75
Diseño mecánico.....	77
<i>Bosquejo de la impresora 3D</i>	77
<i>Área de impresión</i>	77
Diseño de ejes	78
<i>Diseño del eje Y</i>	78
<i>Comprobación por software CAE del eje Y</i>	82
<i>Análisis del eje X mediante software CAE</i>	83
<i>Análisis del eje Z mediante software CAE</i>	84
Base de la cama caliente	84
Viga del Marco	85
Tornillo de avance para el eje Z y torque del motor.....	86
<i>Parámetros de diseño del tornillo</i>	87

	14
Diseño de la estructura	92
Esquema de conexión de los elementos electrónicos	92
Flujograma de la comunicación	93
<i>Esquema de la comunicación</i>	95
Capítulo III : Implementación	96
Implementación de la Impresora 3D Indexada al CIM	96
<i>Implementación de la estructura mecánica</i>	96
<i>Implementación del mecanismo Extrusor</i>	97
<i>Implementación del Mecanismo Eje-X</i>	98
<i>Implementación del Mecanismo Eje-Y</i>	98
<i>Implementación del Mecanismo Eje-Z</i>	99
<i>Implementación de mecanismos en la estructura</i>	100
Implementación de los sistemas de electrónicos	101
<i>Implementación de los finales de carrera</i>	101
<i>Implementación de la conexión a la tarjeta controladora</i>	101
Montaje final de la máquina	102
Implementación de la comunicación	103
Capítulo IV : Pruebas y análisis de Resultados	107
Pruebas de repetibilidad de la Impresora 3D	107
Pruebas de velocidad.....	117
Pruebas de impresión de la estación 3D	122

Análisis de comparación con impresora 3D comercial	144
Pruebas indexadas al CIM	146
<i>Pruebas de ciclo Individuales</i>	146
<i>Pruebas simultáneas con otra estación</i>	148
<i>Pruebas de tiempo de ciclo</i>	149
Validación de Hipótesis	151
<i>Validación de la Hipótesis Individual</i>	151
<i>Validación de la Hipótesis General</i>	156
Capítulo V : Conclusiones y recomendaciones	159
Conclusiones	159
Recomendaciones	161
Bibliografía	162
Anexos	171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Escala de Evaluación</i>	47
Tabla 2 <i>Selección del CIM</i>	48
Tabla 3 <i>Escala de Evaluación</i>	49
Tabla 4 <i>Selección de la estación de impresión 3D</i>	50
Tabla 5 <i>Escala de Evaluación de subsistemas</i>	52
Tabla 6 <i>Selección de la estructura de la impresora 3D</i>	55
Tabla 7 <i>Selección del mecanismo de transmisión</i>	59
Tabla 8 <i>Selección del mecanismo de transmisión eje X-Y</i>	60
Tabla 9 <i>Selección del actuador</i>	64
Tabla 10 <i>Selección del sistema de extrusión</i>	66
Tabla 11 <i>Selección de la base de impresión</i>	69
Tabla 12 <i>Selección de la tarjeta de control</i>	72
Tabla 13 <i>Selección de la transmisión de datos</i>	76
Tabla 14 <i>Valores de cabezales ligeros y pesados para material PLA</i>	88
Tabla 15 <i>Especificaciones típicas de motores paso a paso</i>	91
Tabla 16 <i>Valores obtenidos para el eje X</i>	118
Tabla 17 <i>Valores obtenidos para el eje Y</i>	119
Tabla 18 <i>Valores obtenidos en el eje Z</i>	120
Tabla 19 <i>Pruebas de impresión 3D del rectángulo eje X</i>	124
Tabla 20 <i>Pruebas de impresión 3D del rectángulo eje Y</i>	126
Tabla 21 <i>Pruebas de impresión 3D del rectángulo eje Z</i>	128
Tabla 22 <i>Pruebas de impresión 3D del círculo primer cuadrante</i>	130
Tabla 23 <i>Pruebas de impresión 3D del círculo segundo cuadrante</i>	131
Tabla 24 <i>Pruebas de impresión 3D del círculo tercer cuadrante</i>	133
Tabla 25 <i>Pruebas de impresión 3D del círculo cuarto cuadrante</i>	134

Tabla 26 <i>Pruebas de impresión 3D del círculo en el eje Z</i>	135
Tabla 27 <i>Pruebas de impresión 3D del rombo primer cuadrante</i>	138
Tabla 28 <i>Pruebas de impresión 3D del rombo segundo cuadrante</i>	139
Tabla 29 <i>Pruebas de impresión 3D del rombo tercer cuadrante</i>	141
Tabla 30 <i>Pruebas de impresión 3D del rombo cuarto cuadrante</i>	142
Tabla 31 <i>Pruebas de impresión 3D del rombo eje Z</i>	143
Tabla 32 <i>Comparación de precisión con impresora comercial</i>	145
Tabla 33 <i>Datos obtenidos del pruebas individuales con el CIM</i>	147
Tabla 34 <i>Datos obtenidos del pruebas simultáneas con el CIM</i>	148
Tabla 35 <i>Datos obtenidos del tiempo de ciclo</i>	150
Tabla 36 <i>Variable dependiente e independiente</i>	151
Tabla 37 <i>Hipótesis nula e Hipótesis Alternativa</i>	152
Tabla 38 <i>Parámetros evaluados de la impresora 3D indexada al CIM</i>	153
Tabla 39 <i>Cálculo del método estadístico del chi cuadrado</i>	154
Tabla 40 <i>Tabla de chi-cuadrado</i>	155
Tabla 41 <i>Variable dependiente e independiente</i>	156
Tabla 42 <i>Hipótesis nula e Hipótesis Alternativa</i>	157
Tabla 43 <i>Parámetros de la Hipótesis General</i>	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Partes de una impresora 3D</i>	27
Figura 2 <i>Diagrama general del CIM 2000</i>	29
Figura 3 <i>Laboratorio CIM UNAD</i>	31
Figura 4 <i>Ventana del proceso de visualización</i>	33
Figura 5 <i>FDM 2000/3000/8000</i>	35
Figura 6 <i>Topología de integración de sistema propuesta basada en red en la nube</i>	36
Figura 7 <i>3D Printer Farm - Robot-based Automation</i>	37
Figura 8 <i>Transmisión de datos del sistema</i>	38
Figura 9 <i>Celda de Manufactura</i>	39
Figura 10 <i>Impresora 3D Auto-Replicable</i>	40
Figura 11 <i>Impresora tridimensional de cinco ejes</i>	41
Figura 12 <i>Arquitectura de control del prototipo de impresión 3D de cinco ejes</i>	42
Figura 13 <i>Layout para el FDM con el brazo robótico</i>	43
Figura 14 <i>Sistema de impresión 3D con robot KUKA KR-16</i>	44
Figura 15 <i>Impresora Prusa i3 MK3S+</i>	53
Figura 16 <i>Impresora MakerBot Replicator</i>	54
Figura 17 <i>Impresora Prusa Mini</i>	54
Figura 18 <i>Husillo a bolas o tornillo de bolas</i>	56
Figura 19 <i>Tornillo de avance – husillo</i>	57
Figura 20 <i>Transmisión de movimiento por piñón-Correa dentada</i>	57
Figura 21 <i>Transmisión por Cadena</i>	58
Figura 22 <i>Motor paso a paso</i>	61
Figura 23 <i>Servomotor DC</i>	62
Figura 24 <i>Servomotor AC</i>	62
Figura 25 <i>Motores Brushless</i>	63

Figura 26 <i>Extrusión Directa</i>	65
Figura 27 <i>Extrusión Bowden</i>	65
Figura 28 <i>Cama magnética</i>	67
Figura 29 <i>Cama caliente</i>	68
Figura 30 <i>Cama Fría</i>	68
Figura 31 <i>Tarjeta Raspberry Pi</i>	70
Figura 32 <i>Arduino Mega y Tarjeta Ramps</i>	71
Figura 33 <i>Tarjeta Sanguinololu</i>	71
Figura 34 <i>Transmisión de datos de red en la nube</i>	73
Figura 35 <i>Transmisión de datos por MQTT</i>	74
Figura 36 <i>Transmisión de datos mediante cable USB</i>	75
Figura 37 <i>Bosquejo de la impresora 3D</i>	77
Figura 38 <i>Área de Impresión</i>	78
Figura 39 <i>Eje Y</i>	79
Figura 40 <i>Diagrama de Fuerzas</i>	80
Figura 41 <i>Momento máximo</i>	81
Figura 42 <i>Optimización de diámetro de varilla lisa del eje Y</i>	82
Figura 43 <i>Optimización de diámetro de varilla lisa del eje X</i>	83
Figura 44 <i>Optimización de diámetro de la varilla lisa del eje Z</i>	84
Figura 45 <i>Optimización geométrica de la base de la cama caliente</i>	85
Figura 46 <i>Optimización geométrica de la Viga del Marco</i>	85
Figura 47 <i>Diseño de la estructura</i>	92
Figura 48 <i>Conexión de la electrónica</i>	93
Figura 49 <i>Flujograma de la comunicación</i>	94
Figura 50 <i>Esquema de la comunicación</i>	95
Figura 51 <i>Elementos de la Impresora 3D</i>	96

Figura 52 <i>Montaje del Mecanismo Eje-Z</i>	97
Figura 53 <i>Montaje del Mecanismo Extrusor</i>	97
Figura 54 <i>Montaje del Mecanismo Eje-X</i>	98
Figura 55 <i>Montaje del Mecanismo Eje-Y</i>	99
Figura 56 <i>Montaje del Mecanismo Eje-Z</i>	100
Figura 57 <i>Implementación de Mecanismos en la estructura de la impresora 3D</i>	100
Figura 58 <i>Implementación de los finales de carrera</i>	101
Figura 59 <i>Implementación de la conexión a la tarjeta controladora</i>	102
Figura 60 <i>Montaje Final de la máquina</i>	102
Figura 61 <i>Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp</i>	103
Figura 62 <i>Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp</i>	103
Figura 63 <i>Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp</i>	104
Figura 64 <i>Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp</i>	104
Figura 65 <i>Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp</i>	104
Figura 66 <i>Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp</i>	105
Figura 67 <i>ESP8266</i>	105
Figura 68 <i>Tópicos</i>	106
Figura 69 <i>Conexión de ESP8266</i>	106
Figura 70 <i>Medidas con palpador</i>	107
Figura 71 <i>Comportamiento de los valores de la estación 3D eje X</i>	108
Figura 72 <i>Comportamiento de los valores de la estación 3D eje Y</i>	109
Figura 73 <i>Comportamiento de los valores de la estación 3D eje Z</i>	110
Figura 74 <i>Comportamiento de los valores de la estación 3D eje X-Y-Z</i>	111
Figura 75 <i>Comportamiento de los valores de la estación 3D eje X-Y-Z</i>	113
Figura 76 <i>Distribución de valores de las pruebas realizadas</i>	115
Figura 77 <i>Medidas con tacómetro</i>	117

Figura 78 <i>Comportamiento de los valores de velocidad de la estación 3D</i>	118
Figura 79 <i>Comportamiento de los valores de velocidad de la estación 3D</i>	120
Figura 80 <i>Comportamiento de los valores de velocidad de la estación 3D</i>	121
Figura 81 <i>Modelos impresos en 3D</i>	122
Figura 82 <i>Dimensiones de las piezas impresas en 3D rectángulos</i>	123
Figura 83 <i>Medidas de Diseño vs Medidas obtenidas eje X</i>	125
Figura 84 <i>Medidas de Diseño vs Medidas obtenidas eje Y</i>	127
Figura 85 <i>Medidas de Diseño vs Medidas obtenidas eje Z</i>	128
Figura 86 <i>Dimensiones de las piezas impresas en 3D círculos</i>	129
Figura 87 <i>Medidas de Diseño vs Medidas tomadas primer cuadrante</i>	130
Figura 88 <i>Medidas de Diseño vs Medidas tomadas segundo cuadrante</i>	132
Figura 89 <i>Medidas de Diseño vs Medidas tomadas tercer cuadrante</i>	133
Figura 90 <i>Medidas de Diseño vs Medidas tomadas cuarto cuadrante</i>	135
Figura 91 <i>Medidas de Diseño vs Medidas obtenidas eje Z</i>	136
Figura 92 <i>Dimensiones de las piezas impresas en 3D rombos</i>	137
Figura 93 <i>Medidas de Diseño vs Medidas tomadas primer cuadrante</i>	138
Figura 94 <i>Medidas de Diseño vs Medidas tomadas segundo cuadrante</i>	140
Figura 95 <i>Medidas de Diseño vs Medidas tomadas tercer cuadrante</i>	141
Figura 96 <i>Medidas de Diseño vs Medidas tomadas cuarto cuadrante</i>	143
Figura 97 <i>Medidas de Diseño vs Medidas obtenidas eje Z</i>	144
Figura 98 <i>Impresora Anet A6</i>	145
Figura 99 <i>Recorrido del manipulador en el ciclo de la estación de impresión 3D</i>	149
Figura 100 <i>Datos tomados de las pruebas indexadas al CIM</i>	150

Resumen

El presente trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de ingeniero en mecatrónica trata sobre el diseño e implementación de un sistema de manufactura aditiva, indexado al CIM como estación de impresión 3D en la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Sede Latacunga para lo cual se partió de una línea base y mediante revisión bibliográfica se diseñó una impresora 3D de tipo cartesiana, este diseño se basó en análisis matemáticos y con la ayuda de software CAD - CAE se analizó las dimensiones de la máquina y las piezas que soportan más esfuerzos, se seleccionó los elementos que se los puede encontrar en el mercado escogiendo los elementos más idóneos para la estación de impresión 3D, una vez analizado estos detalles se procedió a la construcción e implementación para después ser sometida a pruebas mediante normativas, comprobando su correcto funcionamiento y precisión. Para indexar la estación de manufactura aditiva al CIM del laboratorio de CNC, se utilizó el protocolo MQTT para comunicarse bilateralmente con la computadora central y poder ser operada y monitoreada desde la misma. Con la estación de impresión 3D indexada se procedió a realizar prácticas con estudiantes matriculados en la materia de manufactura asistida por computador, con la ayuda de un manual de operación, cada estudiante manipuló la estación de manera independiente y controlada desde el CIM, comprobando así su óptimo funcionamiento.

Palabras claves: impresión 3D, manufactura aditiva, CIM, indexar, protocolo MQTT.

Abstract

The present work of curricular integration, prior to obtaining the degree of mechatronics engineer, deals with the design and implementation of an additive manufacturing system, indexed to the CIM as a 3D printing station at the University of the Armed Forces Espe Latacunga extension for the which started from a baseline and through a bibliographical review, a Cartesian-type 3D printer was designed, this design was based on mathematical analysis and with the help of CAD CAE software, the dimensions of the machine and the parts that supported the most efforts were analyzed. The elements that can be found in the market were selected, choosing the most suitable elements for the 3D printing station, once these details were analyzed, the construction and implementation were proceeded to later be subjected to tests through regulations, verifying their correct operation and precision. To index the additive manufacturing station to the CIM of the CNC laboratory, the MQTT protocol was obtained to communicate bilaterally with the central computer and to be able to be operated and monitored from it. With the indexed 3D printing station, practices were carried out with students enrolled in the subject of computer-aided manufacturing, with the help of an operation manual, each student manipulated the station independently and controlled from the CIM, thus verifying its optimal performance.

Keywords: 3D printing, additive manufacturing, CIM, indexing, MQTT Protocol.

Capítulo I

Fundamentación Teórica

Definición de CIM

La manufactura integrada por computador (CIM), es un término dado por el Dr. Joseph Harrington en 1973. CIM representa un camino para la mejora de la manufactura y pueda mejorar su competitividad en mercados domésticos y globales (Ortiz, Guzmán, & Casanova, 2019).

Un sistema integrado de manufactura (CIM) consiste en un sistema productivo automatizado en el cual las estaciones funcionan bajo el control de una computadora, un sistema integrado de manufactura (CIM) tiene el objetivo de minimizar gastos y maximizar ganancias (Arce & Morales, 2016).

El objetivo de un sistema integrado de manufactura (CIM) es incrementar la capacidad de manufacturar piezas, mediante el uso de un grupo de estaciones de trabajo controladas por una computadora, entre las ventajas de un sistema integrado de manufactura (CIM) tenemos: Mejorar en la calidad del producto, tiempos menores de procesos, alto rendimiento de los programas, mayor flexibilidad y mejoras en la productividad (Arce & Morales, 2016).

La tecnología computacional es la tecnología que integra un CIM la misma que incluye el rango de hardware y de software ocupado en el ambiente del sistema integrado de manufactura (Navarro, 2010).

Elementos y Arquitectura de un CIM

La manufactura integrada por computador (CIM) consta de elementos de tecnología integrados a través de una base de datos como: la robótica, el control numérico computarizado CNC, el diseño asistido por computador CAD, la manufactura asistida por computador CAM, y la producción justo a tiempo JIT (Arregocés & Cano, 2007). Además, la arquitectura de un CIM consta de niveles en los cuales se puede encontrar elementos como hardware y datos,

conceptualmente la pirámide está conformada entre 5 o 6 niveles como se describe a continuación.

Nivel de Proceso. Este nivel consta de sensores y actuadores, los cuales adquieren datos y envían para actuar con relación a los mismos (Romero & Anzola, 2012).

Nivel de Estación / Máquina. Dentro de este nivel se trata la información con los controladores electrónicos utilizados en cada estación como PLCs, robots, máquinas CNC y computadoras (Romero & Anzola, 2012).

Nivel de Taller / Célula. En este nivel se coordinan todas las estaciones que conforman la célula de manufactura (Romero & Anzola, 2012).

Nivel de Área. Es el nivel donde se realiza la coordinación de las células que conforman una línea de fabricación, muchas de las veces este nivel no se incluye en la pirámide CIM ya que es implementada en instalaciones de alto nivel de dificultad (Romero & Anzola, 2012).

Nivel de fábrica. Este es el nivel encargado de administrar los recursos para la realización de la secuencia de las respectivas tareas de cada máquina necesarias para el producto final (Romero & Anzola, 2012).

Nivel de empresa. El nivel donde se integra y gestiona todos los niveles inferiores ya antes descritos (Romero & Anzola, 2012).

Tipos de Sistema CIM

Dentro de los distintos tipos de sistemas que existen están los siguientes según el autor (Gálvez, s.f).

CIM I. Integración funcional en el subsistema de operaciones.

CIM II. Integración entre los subsistemas de Marketing y Operaciones.

CIM III. Integración interna a nivel empresa, pero baja en relación con clientes y proveedores.

CIM IV. El más complejo, debido a que necesita todos los tipos de integración.

Manufactura aditiva

Los avances tecnológicos en la manufactura en los últimos años han sido notorios, ya que se han implementado nuevas tecnologías para la producción y manufactura industrial, entre una de las más destacadas tenemos a la manufactura aditiva mediante impresoras 3D.

La manufactura aditiva consiste en la unión de materiales con la finalidad de crear objetos en tres dimensiones mediante la deposición de capas una encima de otra previo a un diseño realizado en software CAD (dibujo asistido por computador). Este proceso es ideal para producir eficientemente productos de bajo volumen, personalizados y complejos (Arcos Juarez & Diosdado De la Peña, 2017).

Por ello la manufactura aditiva detalla el uso de la impresión 3D que mediante diferentes técnicas permite fabricar componentes funcionales a partir de un modelo digital (Moreno, Molina, Francés, & Rosales, 2018).

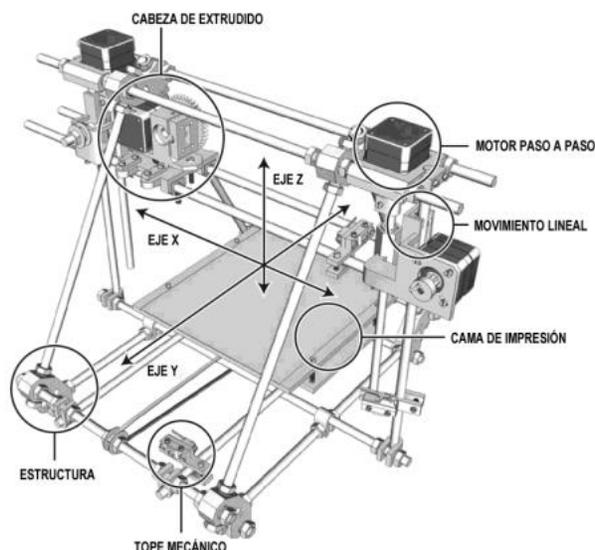
En la actualidad la unificación de diferentes áreas del sector industrial es factible estratégicamente para incrementar la rendimiento y agilizar procesos por ello la manufactura integrado por computador (CIM), esta permite la interconexión de diferentes equipos para desarrollar tareas de manera rápida, confiable y económica (Larico, Paucar, & Herrera, 2018).

Partes de una impresora 3d

En la Figura 1, se puede observar las principales partes que conforman una impresora 3D convencional de tipo FDM.

Figura 1

Partes de una impresora 3D



Nota. En la figura se observa las partes de una impresora 3D. Tomado de (Impresión 3D, s.f.).

Tecnologías de impresión 3D

Las principales técnicas para el prototipado rápido están constituidas en 4 grupos los cuales son estereolitografía (SLA), sinterización selectiva por láser (SLS), fabricación por corte y laminado (LOM), deposición por hilo fundido (FDM) (Vasconez & Viteri, 2017).

Estereolitografía SLA. Utiliza como materia prima resina líquida esta tecnología consiste en un haz de luz la cual dibuja el objeto sobre una lámina de resina (Aguinsaca, 2017).

Sinterización selectiva por láser (SLS). Usa una capa de polvo la misma que se deposita en una cuba que debe ser calentada a una temperatura levemente menor al punto de fusión del polvo, luego un láser CO sinteriza el polvo en los puntos seleccionados (Coba & Moliner, 2006).

Fabricación por corte y laminado (LOM). Consta de una hoja de papel encolado que se posiciona de manera automática sobre una plataforma y mediante el uso de un rodillo caliente se prensa sobre la hoja presente (Pavon & Cruz, 2015).

Deposición por hilo fundido (FDM). Por último, se detalla a la tecnología en la cual se basa la propuesta del trabajo a realizarse, esta tecnología de prototipado rápido FDM utiliza un cabezal de extrusión que mediante la fundición de filamento se da la forma en 3 dimensiones (X,Y y Z) a un diseño, los materiales más usados son los siguientes: ABS y PLA (Soriano, 2019).

Tipo de impresoras 3D FDM

Cartesiana. La impresora cartesiana utiliza el eje cartesiano X-Y-Z, su ventaja principal está en su facilidad de uso, su mecánica sencilla, fácil de calibrar y corregir errores (Trapero, 2019).

Delta. Estos poseen una cama de impresión redonda. Además de ello tienen 3 brazos articulados en diferentes elevaciones las cuales se desplazan hacia arriba y abajo (Trapero, 2019).

Polar. Funciona en base a el sistema de coordenadas polares, mientras la cama de impresión gira y la cabeza de impresión se desplaza de manera vertical (Trapero, 2019).

Brazo robot. Para uso industrial y montar piezas.

Core XY. De estilo cartesiano, pero su sistema es diferente dada su configuración mecánica es más rápido (Trapero, 2019).

CIM a Nivel Nacional

A continuación, se detalla uno de los pocos CIM encontrados dentro de las instituciones a nivel nacional.

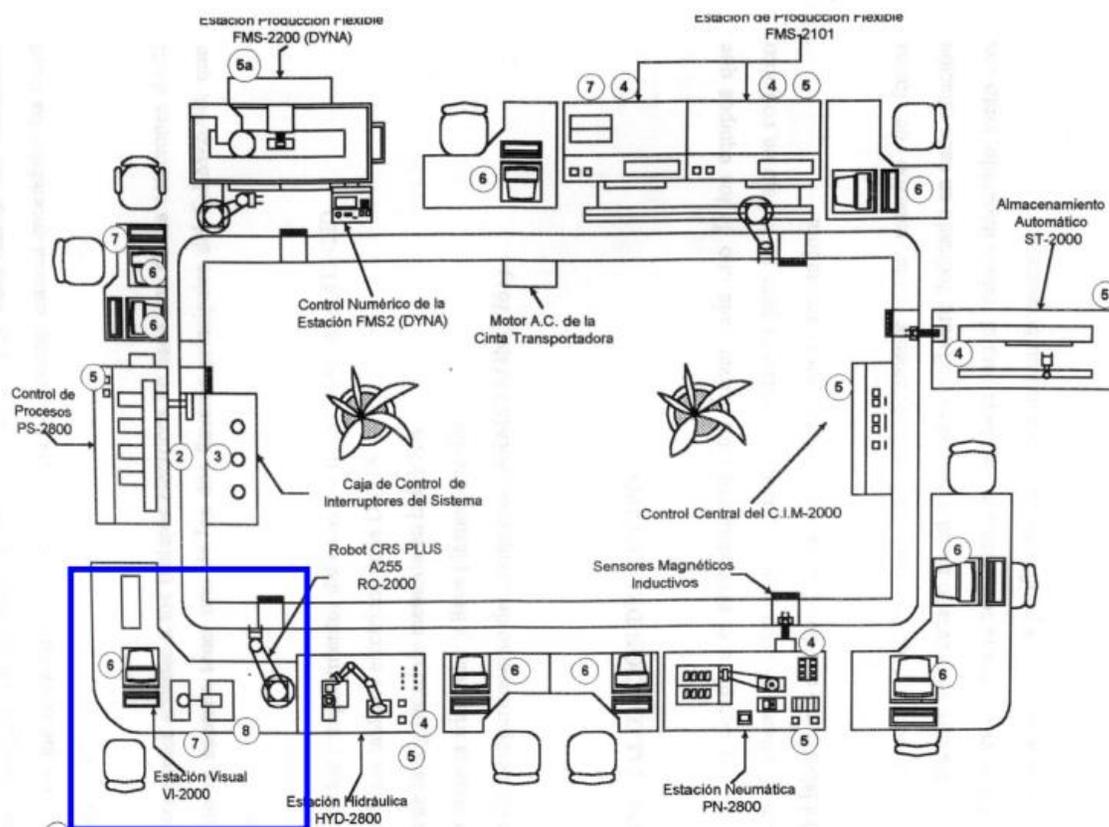
Laboratorio CIM 2000 de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe (Sangolquí)

En el laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe se encontraba un CIM el cual estaba conformado por 9 estaciones de trabajo diferentes las cuales cumplían diversas funciones para la producción de un determinado producto basado en el tercer nivel de automatización (Eras & Arguero, 2010).

Fue instalado en el año 1995 pero con el tiempo los equipos se fueron actualizado en el laboratorio CIM 2000, su labor era emular una labor determinada de los procesos de manufactura integrada por computadora (Calvache & Lopez, 2009). En la Figura 2, se puede observar el CIM 2000 el cual estaba conformado de una estación de control central (CS), Estación de almacenamiento y recuperación automático (ST-2000), Sistema de fabricación flexible (FMS-2101), sistema de fabricación flexible (FMS-2200), estación de control de proceso (PS-2800), estación de calidad y visión (VI-2000), estaciones de montaje hidráulico robótico (HYD-2800), estación neumática de control (PN-2800) y Conveyor (Aldáz, 2007).

Figura 2

Diagrama general del CIM 2000



Nota. En la figura se observa el diagrama general del CIM 2000. Tomado de (Benitez, 2005).

CIM a Nivel de Latinoamérica

A continuación, se detalla algunos CIM que se encuentran en universidades e institutos alrededor de países latinoamericanos.

Laboratorio CIM de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Colombia)

De acuerdo a (UNAD, s.f.) en el laboratorio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia a adquirido laboratorios completamente dotados de equipos, en el cual se encuentra un CIM el cual está conformado por seis estaciones diferentes como se observa de mejor manera en la Figura 3 las cuales cumplen diversas funciones, dicha estaciones son las siguientes:

ASRS. Almacén que consta de entradas digitales y analógicas la cual hace el control de almacenamiento y retiro de productos terminados o materia prima (UNAD, s.f.).

Fresado. Estación para fabricación automatizada mediante la verificación y ejecución de la programación de código G y M (UNAD, s.f.).

Torno. Mesa de torno CNC que posee 16 entradas y salidas digitales, 4 entradas y 2 salidas analógicas capaz de realizar múltiples tareas control en tiempo real y sincronización de 8 ejes (UNAD, s.f.).

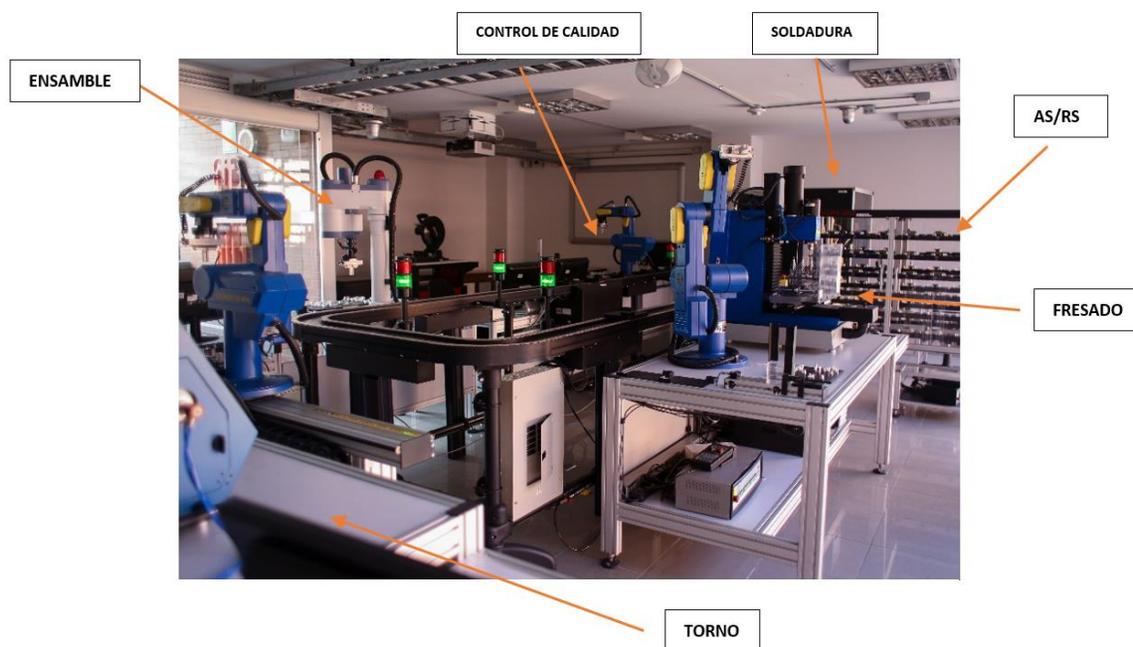
Ensamblado. Cuenta con un robot SCORA-ER 14Pro para manipulación, montaje y embalaje. De fácil programación en el software Scobase (UNAD, s.f.).

Control de Calidad. Esta estación hace uso de un paquete de hardware y software para la inspección de piezas en base a visión artificial (UNAD, s.f.).

Soldadura. Estación tratada como célula de trabajo independiente o integrado al CIM el cual incluye un MOTOMAN HP3 mediante el cual puede manipular pequeñas piezas (UNAD, s.f.).

Figura 3

Laboratorio CIM UNAD



Nota. En la figura se observa el laboratorio CIM de la UNAD. Tomado de (flickr).

Laboratorio CIM de la Universidad Ricardo Palma (Perú)

De acuerdo a (Velázquez, Revista del Departamento Académico de Ingeniería Universidad Ricardo Palma) en el laboratorio de la Universidad Ricardo Palma se encuentra un CIM, el cual está conformado de siete estaciones diferentes las cuales cumplen diversas funciones como se muestra en la Figura 4, dichas estaciones son las siguientes:

AS/RS (Almacén). El sistema de almacenamiento y de recuperación de materiales cuenta con 6 filas y 8 columnas que ayudan al alojamiento de productos terminados, productos intermedios y materias primas que con la ayuda de un brazo cartesiano de 3 ejes retira los distintos pallets y coloca en la banda transportadora (Velázquez, Revista del Departamento Académico de Ingeniería Universidad Ricardo Palma).

Soldadura. Esta estación cuenta con un robot de 6 grados de libertad de alta precisión el cual se encarga de soldar piezas, circuitos, cables, etc. Con la ayuda de 2 grippers.

Ensamble. En esta estación se encuentra un robot Mitsubishi RV-E2 junto con su propia cabina de control que se comunica con las otras estaciones por medio de una red Ethernet (Velázquez, Revista del Departamento Académico de Ingeniería Universidad Ricardo Palma).

Prensa Hidráulica. Se puede encontrar en esta estación con un brazo servo-neumático capaz de coger un pallet de la banda transportadora para someter piezas cilíndricas a presión para fijar los elementos que conforman el producto final.

Torno y fresadora CNC. Un robot alimentador, una fresadora CNC y un torno CNC son las partes que conforma esta estación, donde el robot es quien se desplaza hacia las máquinas CNC para colocar la materia prima y realizar las operaciones necesarias para la elaboración de un producto (Velázquez, Revista del Departamento Académico de Ingeniería Universidad Ricardo Palma).

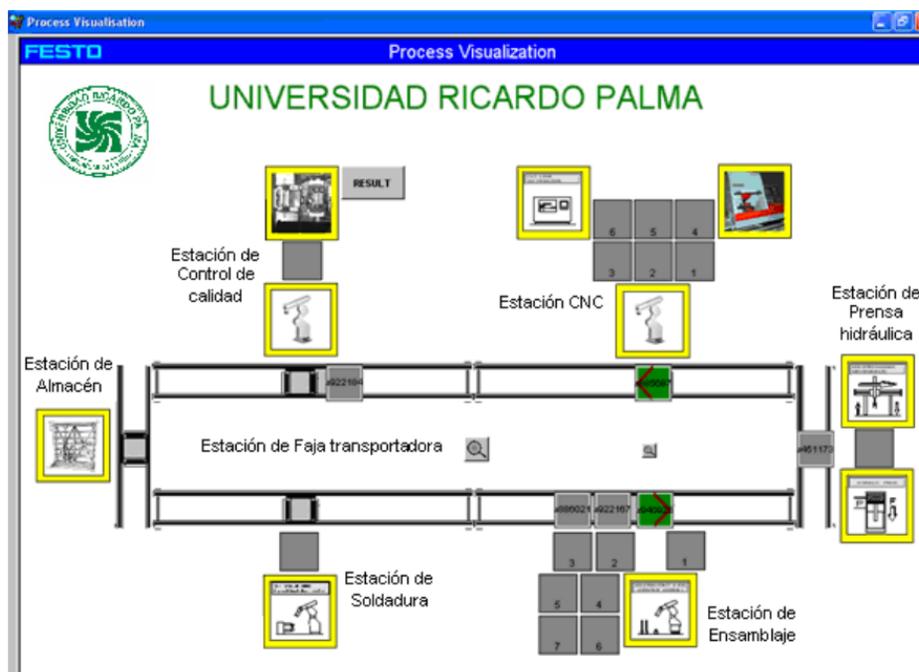
Control de calidad. Esta estación realiza el control de calidad de los componentes del producto final mediante una cámara de video digital CCD y el software VisiControl, el control se lo realiza mediante la técnica de tonalidades grises comparándolo con un modelo para identificar cada uno de los componentes (Velázquez, Revista del Departamento Académico de Ingeniería Universidad Ricardo Palma).

Banda Transportadora. Es la encargada de conducir los portapallets a cada una de las estaciones de trabajo, llevando en ella los materiales necesarios para cada proceso antes descrito.

Cada estación es controlada y supervisada con la ayuda de un controlador lógico programable PLC y a través del software Cosimir Control lo que sucede en cada estación de trabajo mediante una red ethernet.

Figura 4

Ventana del proceso de visualización



Nota. En la figura se observa la ventana del proceso de visualización del CIM de la Universidad Ricardo Palma. Tomado de (Velázquez, Revista del Departamento Académico de Ingeniería Universidad Ricardo Palma).

Estación de impresión 3d en el laboratorio de fabricación digital FabLab Neiva indexado a un CIM

FabLab Neiva es un espacio para la creación y el aprendizaje ubicado dentro de las instalaciones del SENA CIES en la ciudad de Neiva, su objetivo es fomentar la fabricación digital, la cultura del diseño y la innovación y el emprendimiento, en dicho laboratorio se experimenta en proyectos enfocados principalmente en desarrollos de diseño industrial, dentro del laboratorio se encuentran estaciones como: Fresado CNC, Producción de circuitos, impresión 3D, Corte y grabado laser, fresado de precisión y cortadora de vinilo (FabLab SENA Neiva, s.f.).

(Lozada, 2017) en su investigación denominada *Diseño de un sistema de manufactura integrada por computador CIM para el laboratorio de fabricación digital FabLab Neiva*, en la cual consta de una estación de impresión 3D se refiere a la integración de ésta y de las diferentes máquinas que consta el laboratorio.

La integración de las estaciones se lo realiza por medio de una red LAN, para la correcta comunicación y distribución de las máquinas, toda esta información es subida a la nube a disposición de las personas que trabajan en el laboratorio y la red mundial de FabLab.

Dicha investigación permitió solventar los procesos iterativos en el diseño y desarrollo de productos, mejorando continuamente el aprendizaje, con la ayuda de la implementación del sistema CIM que enlazó el diseño de distribución de las redes de comunicación del laboratorio.

Estación de manufactura aditiva en la Universidad de Texas en el Paso

En la Universidad de Texas en El Paso, en base al desarrollo de técnicas de fabricación, como entintado directo, con el objetivo de producir una estructura de módulo el cual combina circuitos y componentes electrónicos, como CUBESSET. En estos estudios, no es posible desarrollar un sistema unificado en base a simples conexiones secuenciales tradicionales, debido a que existe muchos problemas en la integración entre el modelado de apilamiento de las impresoras 3D y post-mecanizado, como las deformaciones térmicas, la precisión de las impresoras 3D y los problemas de coordenadas entre los sistemas de proceso. Por ello, se sugieren el método de integración que combina estas impresoras 3D y los sistemas de proceso de mecanizado posterior a través de una nube basada en Internet. Mediante, el sistema integrado secuencial de una impresora 3D, una fresadora NC, visión artificial para realizar entintado directo (Macdonald, Kim, & Lee, 2015).

Impresoras 3D indexadas al CIM

En la Universidad en Texas el Paso, la integración del sistema de fabricación con una impresora 3D basada en la red en la nube, cuenta con una impresora 3D FDM 3000 como se puede observar en la Figura 5 ,la cual posee las siguientes características como: tamaño de

bandeja de fabricación de 254 x 254 x 406 mm, funciona con 110 VCA (una línea de 20 A) y conexión Ethernet para estos modeladores (stratasys, s.f.).

El FDM 3000 utiliza liberación soluble WaterWorks también utiliza una segunda boquilla para extruir el material de soporte. Los soportes están diseñados para apuntalar las porciones sobresalientes de la pieza durante el modelado. Cuando se completa un modelo, se utiliza un limpiador ultrasónico para disolver los soportes, esto da como resultado un mejor acabado superficial y elimina la necesidad de dividir piezas que requieren soportes internos (FDM 2000 / 3000 / 8000).

Figura 5

FDM 2000/3000/8000



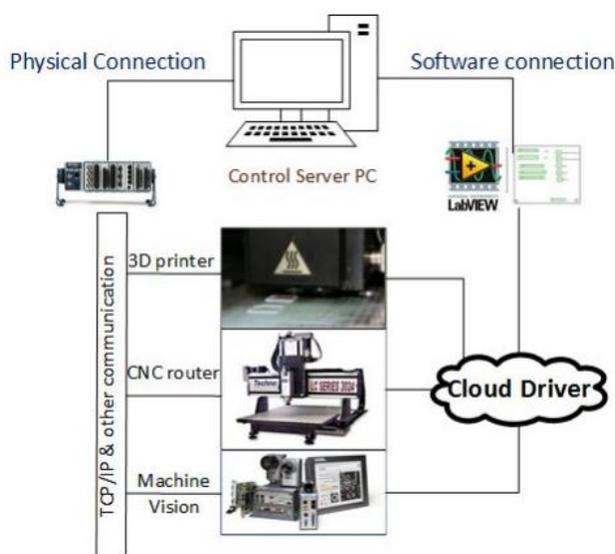
Nota. En la figura se observa la impresora 3d FDM 3000. Tomado de (FDM 2000 / 3000 / 8000).

Para la comunicación del sistema se lo puede observar en la Figura 6, como una computadora servidor que controla todo el sistema integrado, para los sistemas cliente de cada proceso incluida la impresora 3D FDM. El método de topología tipo estrella desplegado como

una entidad de conexión física y un método de controlador virtual para permitir que los programas se enlacen compartiendo controladores en la nube. Para el control integrado de esta secuenciación por el servidor de control en lugar de procesamiento distribuido del sistema, se empleó un programa que pueda conectar estos HW y SW en Texas Instrument en este caso Labview (Macdonald, Kim, & Lee, 2015).

Figura 6

Topología de integración de sistema propuesta basada en red en la nube



Nota. En la figura se observa los elementos de los cuales está compuesta la celda de manufactura. Tomado de (Macdonald, Kim, & Lee, 2015).

3D Printer Farm - Robot-based Automation

En la Figura 7 se puede observar la interacción entre un robot Wittmann Battenfeld y 9 impresoras 3D cartesianas de la marca Prusa, de software libre, donde se trabaja con una producción completamente automatizada de las partes estructurales del producto. Esta versión industrializada de una granja de impresoras 3D con muchas características permite un rendimiento muy alto y funciona de manera confiable, finaliza la extracción automática del trabajo de impresión, sistema de almacenamiento integrado, control de nivel, retorno de la

cama de impresión, inicio de un trabajo de impresión, producción continua y eliminación de piezas (Ali Aburaia, 2021).

Figura 7

3D Printer Farm - Robot-based Automation



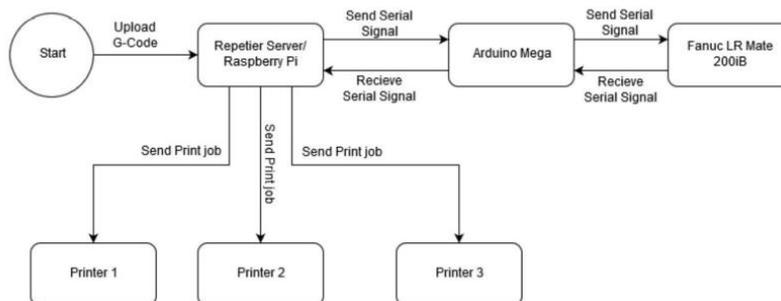
Nota. En la figura se observa una granja de impresoras 3D automatizada basada en robots.

Tomado de (Ali Aburaia, 2021).

Para este tipo de granja de impresoras las cuales utilizan manipuladores para la recolección de piezas, una alternativa para la comunicación y coordinación de los movimientos de los elementos del sistema se utiliza un sistema de gestión compuesto por un Arduino, una Raspberry Pi y un servidor Repetier como lo explica (Costandi, Pontbriant, Ruggiero, & Valente-Comas, 2017), y como se puede observar en la Figura 8.

Figura 8

Transmisión de datos del sistema



Nota. En la figura se observa la trasmisión de datos del sistema. Tomado de (Costandi, Pontbriant, Ruggiero, & Valente-Comas, 2017).

Línea base del sistema

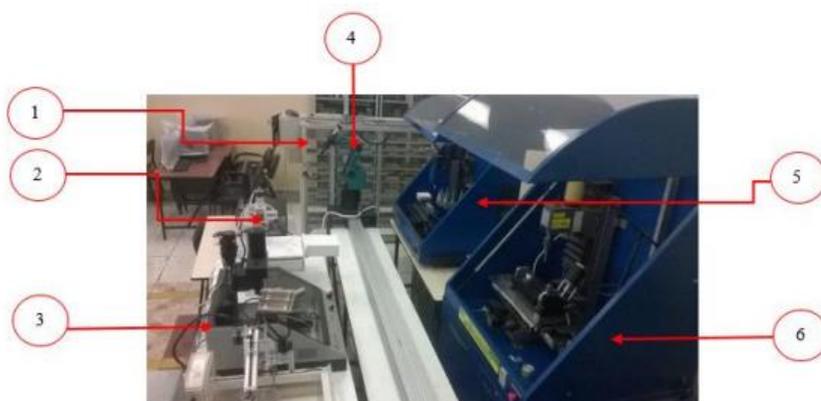
El Laboratorio de CNC actualmente posee una gran variedad de máquinas de control numérico computarizado, estos sistemas funcionan y realizan actividades de manera independiente en los que se capacita a los estudiantes sobre los procesos de manufactura asistida por computador.

A continuación, se menciona los trabajos realizados en el laboratorio de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga el mismo que cuenta con una celda de manufactura, conformada de estaciones de trabajo como manipulación, almacenamiento, control de calidad, sistema computarizado, esta celda de manufactura se puede observar en la Figura 9 , la cual está conformada de los siguientes elementos :(1) sistema automatizado de almacenamiento/recuperación AS/RS, (2) Control de calidad, (3) SpectraLIGHT Mill 200, (4) brazo robótico Scorbot-ER4pc, (5) centro de mecanizado Expert Mill VMC-600, (6) centro mecanizado vertical CNC de 5 ejes, la cual cuenta con un proceso de máquinas e instalaciones interconectadas mediante un sistema automatizado de transporte (Diaz & Mañay, 2017).

Esta celda sirve para dar soluciones adoptadas a la carga, descarga, transporte del material y la comunicación entre los componentes de la misma. Así, se obtiene un sistema de manufactura que combina técnicas de distribución de material y ciencias afines a máquinas CNC.

Figura 9

Celda de Manufactura



Nota. En la figura se observa los elementos de los cuales estaba compuesta la celda de manufactura. Tomado de (Diaz & Mañay, 2017).

A continuación, se presenta los trabajos relacionados con la manufactura aditiva que se han realizado en los Laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga:

Impresora 3D Auto-Replicable controlada inalámbricamente para el prototipado de piezas plásticas de bajo costo mediante software libre

Dentro del laboratorio de la institución cuenta con una impresora 3D Core X-Y, como se observa en la Figura 10 la cual está diseñada con una estructura de cuatro columnas para apoyar a los ejes X-Y, su extrusor se mueve a lo largo del eje X y su desplazamiento lo hace a lo largo del eje X, la cama de impresión se desliza a lo largo del eje Z.

Figura 10*Impresora 3D Auto-Replicable*

Nota. En la figura se puede observar la impresora 3D auto-replicable existente en el laboratorio. Tomado de (Chancusi & Navarrete, 2014).

Para su mecanismo de transmisión en los ejes X-Y cuenta con poleas y correas de sincronización, en cuanto al eje Z se usa tornillo y tuerca para mayor precisión y evitar la sobrecarga en los motores.

Para su sistema de guiado se utilizó un guiado por eje ya que resiste altas temperaturas y la corrosión, este sistema se fabricó en acero AISI 304, muy comercial en el Ecuador y a un precio accesible.

Para su movimiento de los ejes se utilizó motores paso a paso NEMA 17 dado que son muy precisos, en los extremos se encuentran finales de carrera para controlar su movimiento a los extremos, su extrusor se basa en un sistema de ruedas motrices por su fácil montaje, bajo costo y liviano, esta máquina también cuenta con un fundidor Budaschnozzle que es óptimo a altas temperaturas (Chancusi & Navarrete, 2014).

El sistema electrónico cuenta con una tarjeta Ramps con su Arduino Mega, este controlador es muy accesible y además es software libre, además para el control de los motores se utilizó el controlador A4988, que es compatible con la tarjeta antes mencionada.

Los softwares utilizados son Pronterface para controlar máquinas CNC y descomponer al objeto en capas, otro software es Cura que convierte archivos en formato STL en piezas físicas actualmente es uno de los programas más usados para laminar los objetos, ambos softwares son libres (Chancusi & Navarrete, 2014).

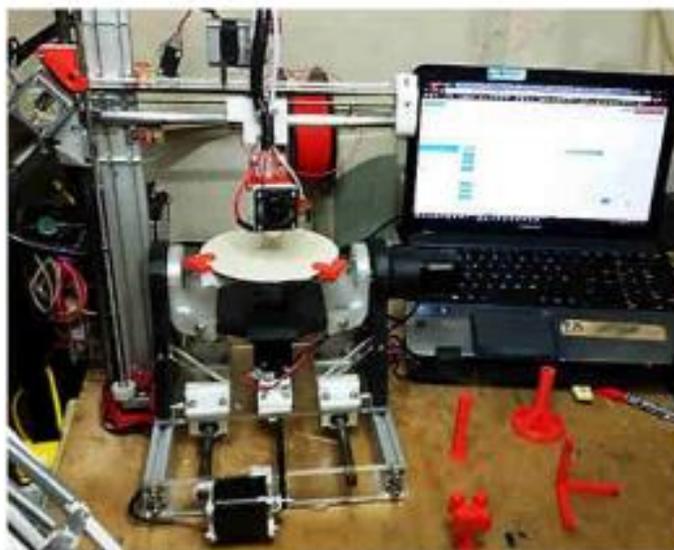
Finalmente, para la comunicación inalámbrica se hace uso de dos módulos Xbee que el uno hará la función de maestro y el otro que coordinará la comunicación como un router, dicha comunicación alcanza una distancia de 9.5 m sin línea de visión y 20 m con línea de visión.

Impresora 3D de cinco ejes para el ahorro de material y mejoramiento de la resistencia mecánica en piezas fabricadas mediante el método de deposición de material fundido en la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga

En la Figura 11, se puede observar la impresora Polar tridimensional de cinco ejes, desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga que aporta ahorro de material y al mejoramiento de la resistencia mecánica en piezas fabricadas mediante el método de FDM (Fonseca & Miranda, 2018).

Figura 11

Impresora tridimensional de cinco ejes

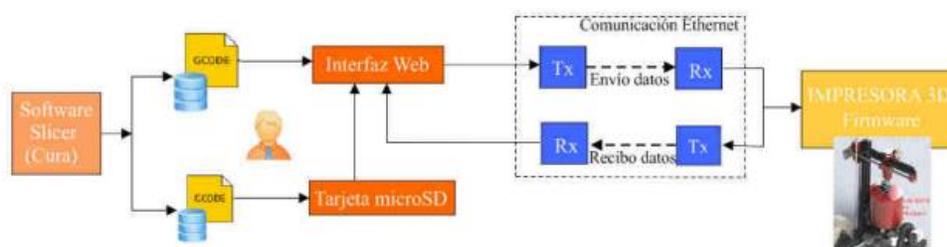


Nota. En la figura se puede la impresora de cinco ejes. Tomado de (Fonseca & Miranda, 2018).

En la Figura 12 se puede observar la arquitectura de control para el sistema de 5 ejes, que se encuentra ubicado en la memoria del microcontrolador de la tarjeta Duet. Este interpreta las acciones que dispongan los programas Gcode de la tarjeta MicroSD y los Gcode externos que se envíen de manera manual de la interfaz web (Fonseca & Miranda, 2018).

Figura 12

Arquitectura de control del prototipo de impresión 3D de cinco ejes



Nota. En la figura se puede observar la Arquitectura y procesos de control para el sistema de cinco ejes. Tomado de (Fonseca & Miranda, 2018).

La caja electrónica contiene los componentes que acondicionan y accionan el control de los mecanismos como la tarjeta electrónica Duet. La impresora consta de 7 motores NEMA 17 modelo 17HS19- 1684S-PG19, también posee un sensor infrarrojo para determinar la distancia entre las superficies. Las varillas lisas que componen el eje Y son de acero inoxidable, el laminador de esta impresora es el software CURA debido a que genera los cortes y el laminado del modelo (Fonseca & Miranda, 2018).

Sistema de impresión 3D mediante el brazo robótico Kuka KR16.

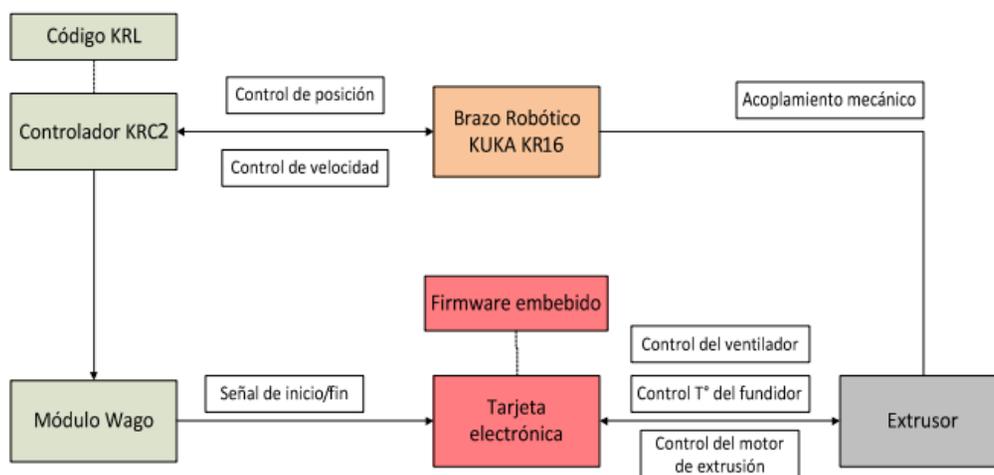
En el Laboratorio de Robótica de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe extensión Latacunga cuenta con un robot Kuka KR 16, el cual se utilizó para realizar una aplicación de impresión 3D mediante algunas adaptaciones como se observa en la Figura 14, una de ellas es la comunicación entre el controlador KRC2 propio del robot y el extrusor termoplástico, de tal forma su control es en lazo abierto, ya que no existe una realimentación directa desde el extrusor hacia el controlador KRC2, el control en lazo cerrado se encuentra

entre el extrusor que realimenta la tarjeta electrónica para el control de temperatura (Lasluisa, 2017).

Para mayor comprensión se puede observar en la Figura 13 el Layout para el FDM con el brazo robótico.

Figura 13

Layout para el FDM con el brazo robótico



Nota. En la figura se puede observar el Layout para el FDM con el brazo robótico. Tomado de (Lasluisa, 2017).

En el efector final del robot es donde se encuentra todo el sistema de extrusión, en esta investigación se hace uso de kits de impresión 3D, dado que se verifica su compatibilidad entre los componentes electrónicos y mecánicos, de esta forma se evita la labor de análisis y dimensionamiento individual de cada pieza, teniendo como objetivo la integración con el robot Kuka y bajo los parámetros de selección necesarios, se utiliza un kit *Sitron 3D Printer Kit Prusa i3* el cual está conformado por los siguientes componentes: Hotend Reprap MK8, Calefactor, Sensor de temperatura, Unidad de arrastre Greeetech MK8, Motor del extrusor NEMA17 (Lasluisa, 2017).

La tarjeta que acopla las señales digitales de control con las señales analógicas de potencia es la RAMPS 1.4 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) que es una placa adicional al

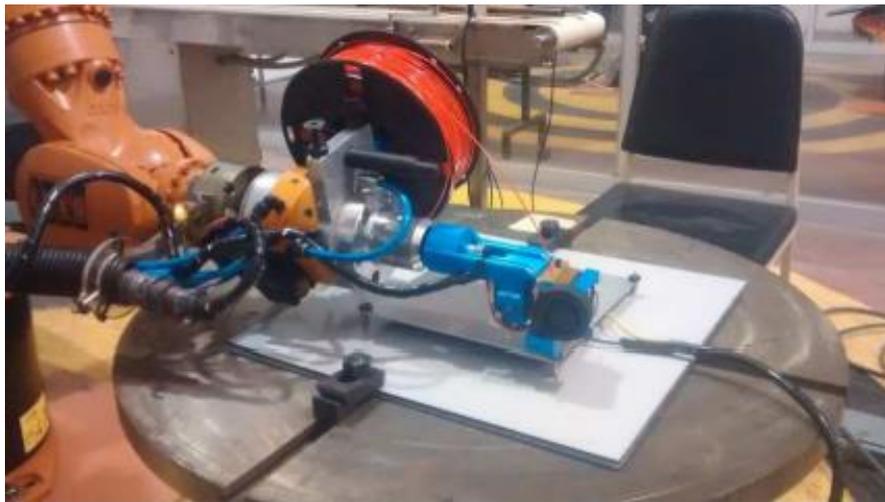
Arduino, la cual traduce las órdenes digitales del controlador en órdenes por pasos, a través de los drivers para los motores paso a paso (Lasluisa, 2017).

El funcionamiento del sistema se baja en que primero manualmente se calienta el hotend y la cama de deposición del material, el programa principal se inicia posicionando el manipulador en el cero pieza, completada esta acción manda una señal al Arduino y se inicia la deposición del material, en este punto ambos programas (KUKA KRL y Arduino) se ejecutan al mismo instante, pero por separado (Lasluisa, 2017).

Al completar el último punto de su trayectoria, el robot mandara una orden al Arduino para su desactivación del sistema de extrusión. La placa electrónica Arduino Mega 2560 incluye el firmware de impresión 3D Marlin y al ser de código abierto permite realizar modificaciones para adaptarlo a los requerimientos del sistema.

Figura 14

Sistema de impresión 3D con robot KUKA KR-16



Nota. En la figura se puede observar el sistema de impresión 3D con el brazo robótico. Tomado de (Lasluisa, 2017).

Alternativas de desarrollo de la impresora 3D indexada al CIM

Alternativas de solución para el desarrollo del CIM

Alternativa 1. Una vez recopilada información acerca de trabajos relacionados del CIM tanto en referencias bibliográficas como el estado del arte realizado en diferentes universidades tanto a nivel Nacional y Latinoamérica se llega a una primera posible solución, dado que en determinados sistemas son de tipo 1 como lo explica “ (Gálvez, s.f) ” en los tipos de CIMs, puesto que integran las diferentes operaciones y/o estaciones de manufactura, además una de las propuestas de este sistema recae en el nivel de proceso para la sincronización de las estaciones de manera independiente, como se evidencia en los trabajos ya antes mencionados: *“Estación de manufactura aditiva en la Universidad de Texas en el Paso”, “Laboratorio de fabricación digital FabLAB Neiva indexado a un CIM” y “ Laboratorio CIM 2000 de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe (Sangolquí)”*, esta propuesta plantea una distribución de las estaciones de manera lineal, esta distribución tiene la ventaja que ocupa un espacio reducido y facilita la movilidad del manipulador lo que le hace relativamente económica para su implementación.

Alternativa 2. En base a el estado del arte otra alternativa para el trabajo planteado sería un CIM de tipo 1 igual a la que se mencionó en la primera alternativa, pero en este caso con una distribución de las estaciones en tipo U, para la interconexión de cada estación se utiliza una banda transportadora y cada estación con su respectivo manipulador dan como resultado un costo más elevado en su implementación, como se observa en el *“ Laboratorio CIM de la Universidad Ricardo Palma (Perú) ” y el “ Laboratorio CIM de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Colombia)”*, debido a la contaminación cruzada de desperdicios de estaciones que trabajan a altas temperaturas afectarían a la estación de manufactura aditiva.

Alternativa de solución para la estación de Manufactura Aditiva

Dentro de la investigación realizada tanto en el estado del arte y línea base encontramos distintos tipos de impresoras 3D de tecnología FDM como: cartesiana, polar, Core X-Y, impresión por brazo robot, de las cuales las que menos aportan para nuestro trabajo son la Core X-Y, e impresión de brazo robot, dado que su configuración estructural no es acorde para la indexación del CIM, porque se dificultaría interactuar con el manipulador que contará el CIM, por lo tanto se presentan dos alternativas de solución.

Alternativa 1. La primera alternativa de solución sería una impresora 3D de tipo cartesiano tomando a consideración el trabajo realizado por (Ali Aburaia, 2021) , denominado “3D Printer Farm - Robot-based Automation”, puesto que esta configuración ya ha sido comprobada que funciona correctamente con un manipulador, aprovechando las características de estas impresoras que son su facilidad de utilización por su mecánica sencilla y su facilidad de calibrar y corregir errores.

Alternativa 2. Una segunda alternativa sería una impresora de tipo polar de similares características a la del trabajo, “Impresora 3D de cinco ejes para el ahorro de material y mejoramiento de la resistencia mecánica en piezas fabricadas mediante el método de deposición de material fundido en la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga” , realizado por (Fonseca & Miranda, 2018) , este tipo de impresora mecánicamente funciona cuando la cama de impresión gira mientras que el cabezal de impresión puede moverse hacia arriba, abajo, izquierda y derecha. Para aprovechar las capacidades del manipulador al retirar las piezas elaboradas, el problema de las máquinas polares es la precisión de tal manera que, al girar de forma circular, existe más precisión en el centro de la cama que en la zona externa.

Selección de alternativas para el sistema CIM

En la Tabla 1, se muestra la calificación que se usará para la selección del CIM se basa en criterios estructurados de tal forma que la ponderación vendrá en una escala numérica, donde 5 es la puntuación muy alta y 1 es la más baja.

Tabla 1

Escala de Evaluación

Calificación	Significado
5	Óptimo
4	Muy Bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Insatisfactorio

Nota. En la tabla se puede observar la escala de evaluación para la selección de las alternativas del CIM.

Criterio de selección del CIM

Para la selección de la mejor alternativa se evalúa los siguientes criterios.

- Tipo de CIM (Integración de estaciones).
- Distribución de estaciones.
- Costo de implementación.
- Espacio de Montaje.

A continuación, en la Tabla 2 se presenta la selección del CIM.

Tabla 2*Selección del CIM*

Factores	Alternativas del CIM	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Tipo de CIM (Integración de estaciones)	5	5
Distribución de estaciones	4	2
Costo de implementación	5	3
Espacio de Montaje	4	3
Total	18	13

Nota. En la tabla se puede observar los factores para la selección de las alternativas del CIM.

En la Tabla 2, se selecciona la alternativa 1 (CIM tipo I de distribución lineal) ya que esta alternativa del CIM posee características ideales para su implementación dado su bajo costo, distribución de estaciones y el espacio de montaje de este sistema ocupará una sección óptima dentro del Laboratorio CNC.

Selección de alternativas para la impresora 3D

En la Tabla 3, se muestra la calificación que se usará para la selección de la estación de impresión 3D se basa en criterios estructurados de tal forma que la ponderación vendrá en una escala numérica, donde 5 es la puntuación muy alta y 1 es la más baja.

Tabla 3*Escala de Evaluación*

Calificación	Significado
5	Óptimo
4	Muy Bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Insatisfactorio

Nota. En la tabla se puede observar la escala de evaluación para la selección de la impresora 3D.

Criterio de selección de la estación de Impresión

Para la selección de la mejor alternativa se evalúa los siguientes criterios.

- Costo Económico.
- Montaje Rápido.
- Estabilidad y Calibración.
- Aplicaciones Automatizadas.

A continuación, en la Tabla 4 se presenta la selección del CIM.

Tabla 4*Selección de la estación de impresión 3D*

Factores	Alternativas de la estación de impresión 3D	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Facilidad de utilización	5	5
Mecánica sencilla	5	4
Estabilidad y Calibración	4	3
Aplicaciones Automatizadas	4	1
Total	16	13

Nota. En la tabla se puede observar los factores para la selección de la impresora 3D.

En la Tabla 4, se selecciona la alternativa 1 (Impresora 3D cartesiana), esta alternativa de la estación de impresión 3D es ideal debido a su mecánica sencilla, facilidad de utilización, estabilidad y calibración y lo más importante ya ha sido usada en aplicaciones automatizadas.

Capítulo II

Parámetros de Diseño

Analizando la línea de base del laboratorio y la alternativa seleccionada de la estación de impresión 3D, tomando en cuenta el espacio, dimensiones y el tipo de CIM que se implementará, se procede a establecer los parámetros de diseño para su futuro desarrollo.

- Debido a las características que posee el CIM, el cual contará con un manipulador se pretende implementar una estructura abierta, con soportes de perfiles de aluminio para una mayor rigidez.
- El volumen de trabajo de la estación de acuerdo con las necesidades para retirar los productos impresos será de aproximadamente 190 mm *170 mm *140 mm, con la finalidad de evitar colisiones con el gripper.
- El control de la estación de impresión 3D indexado al CIM, será en lazo cerrado para monitorizar el estado de producción.
- Dentro de los parámetros primordiales en la implementación del sistema será utilizar componentes tanto software y hardware que sean Open Source, para aprovechar las características como su fácil adquisición, montaje y costo económico.

Selección de componentes

Dentro del proyecto a realizarse la mayor parte de los componentes a utilizar son comerciales por ende se opta por seleccionar los que cumplan las características necesarias para la estación de manufactura aditiva, además se realizara adaptaciones necesarias para el correcto funcionamiento del CIM. Por lo tanto, se procede a dividir la máquina en los siguientes subsistemas.

Tabla de escala de evaluación para la selección de los subsistemas

En la Tabla 5 ,se muestra la escala de evaluación que se usará para la selección de los subsistemas, la cual se basa en criterios estructurados de tal forma que la ponderación vendrá en una escala numérica, donde 5 es la puntuación muy alta y 1 es la más baja.

Tabla 5

Escala de Evaluación de subsistemas

Calificación	Significado
5	Óptimo
4	Muy Bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Insatisfactorio

Nota. En la tabla se puede observar la escala de evaluación para la selección de los subsistemas.

Subsistema de estructura de la impresora 3D

La estructura de la estación de manufactura aditiva depende de la máquina y la función que vaya a realizar, y de la manera en la que los subsistemas serán accionados para dar movimiento al extrusor con relación a la base de la cama caliente. Por ello se analizará 3 alternativas por su versatilidad y comerciabilidad.

Alternativa 1. Impresora 3D tipo cartesiana, en este caso el extrusor se mueve de manera vertical, en tanto que la base de la cama se mantiene a una altura constante en la parte inferior de la impresora 3D y esta realiza su movimiento de manera horizontal. Su espacio es abierto y de fácil acceso a la base de la cama y posee una elevada precisión (Carabali & Coral, 2016). En la Figura 15, se puede observar esta configuración que utiliza la impresora Prusa i3 MK3S+ el precio en el mercado es de \$ 949 dólares.

Figura 15

Impresora Prusa i3 MK3S+



Nota. En la figura se puede observar la impresora Prusa i3 MK3S+. Tomado de (Prusa, s.f.).

Alternativa 2. Impresora 3D tipo cartesiana con levantamiento de la base de la cama, con respecto a este caso el extrusor se mantiene en una altura constante y se mueve en el plano horizontal, mientras que la cama es la que sube o baja, posee una elevada precisión. Su espacio es cerrado y de difícil acceso a la base de la cama (Carabali & Coral, 2016). En la Figura 16 se puede observar la impresora MakerBot Replicator que utiliza este tipo de configuración para su funcionamiento, el precio en el mercado es de \$ 2099 dólares.

Figura 16*Impresora MakerBot Replicator*

Nota. En la figura se puede observar la impresora MakerBot Replicator. Tomado de (Carabali & Coral, 2016).

Alternativa 3. Impresora 3D tipo Bowden, este tipo de impresora 3D cartesiana de cuerpo compacto en la cual el extrusor se ubica en la estructura. En este caso el extrusor se mueve en un plano vertical, en tanto que la cama se mantiene a una altura constante en la parte inferior de la impresora 3D la cual realiza el movimiento en el eje horizontal. Su espacio es abierto y de fácil acceso a la base de la cama, tiene una precisión adecuada. En la Figura 17, se observa la impresora Prusa mini que utiliza este tipo configuración el costo en el mercado es de \$ 749 dólares.

Figura 17*Impresora Prusa Mini*

Nota. En la figura se puede observar la impresora Prusa Mini. Tomado de (Prusa, s.f.).

Parámetros para considerar la selección de la estructura indexada al CIM

En base a las opciones planteadas se debe determinar las características a ser consideradas, para la selección de la alternativa más idónea a la implementación de la impresora 3D y el desarrollo del CIM.

- Velocidad del trabajo.
- Costo de fabricación de la máquina.
- Calibración y precisión.
- Disponibilidad con el manipulador.
- Acceso base de la cama.

Selección de la estructura de la impresora 3D indexada al CIM

A continuación, en la Tabla 6 se presenta la selección de la estructura de la impresora 3D, en la cual se hace una comparación entre las 3 opciones planteadas, tomando como base a criterios estructurados (escala de evaluación) que se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 6

Selección de la estructura de la impresora 3D

Parámetros para considerar la selección de la estructura indexada al CIM	Alternativas de la estructura de la impresora indexada al CIM		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Velocidad del trabajo	5	5	4
Costo de fabricación de la máquina	3	2	4
Calibración y presión	4	5	3
Disponibilidad con el manipulador	5	3	5
Acceso base de la cama	5	3	5
Total	22	18	21

Nota. En la tabla se puede observar los criterios de selección de la impresora 3D.

De acuerdo con la Tabla 6 la selección adecuada para el desarrollo de la impresora sería la alternativa 1 (Impresora 3D tipo cartesiana con elevación de los extrusores) debido a sus características como velocidad del trabajo, calibración y precisión y disponibilidad con el manipulador que será ideal para el desarrollo del CIM ya que posee un fácil acceso a la base de la cama.

Subsistema del mecanismo de transmisión de la impresora 3D

Se debe determinar el tipo de mecanismo de transmisión para cada uno de los ejes X-Y-Z.

Alternativa 1. Husillo de bolas, actuador lineal que transmite fuerza y movimiento con fricción mínima, posee una eficiencia de un 90%, cabe destacar que su posicionamiento es preciso, además de ello se pueden usar motores pequeños por tener bajo par de arranque, pero una de sus principales desventajas es que posee un costo muy elevado (Leon & Torres, 2013). En la Figura 18, puede observar el mecanismo mencionado.

Figura 18

Husillo a bolas o tornillo de bolas



Nota. En la figura se puede observar el mecanismo de husillo de bolas o tornillo de bolas.

Tomado de (Leon & Torres, 2013).

Alternativa 2. Tornillo de avance, diseñado para generar movimiento giratorio, está compuesta de una tuerca y tornillo, posee ventajas como gran capacidad de transporte de carga, compacto, movimiento preciso y su costo es aceptable, la desventaja de este sistema de transmisión de movimiento es que no suelen ser utilizado para operar a velocidades elevadas (Leon & Torres, 2013). En la Figura 19 , puede observar el mecanismo mencionado.

Figura 19

Tornillo de avance – husillo



Nota. En la figura se puede observar el mecanismo de tornillo de avance – husillo. Tomado de (Leon & Torres, 2013).

Alternativa 3. Piñón-Correa dentada, la transmisión de movimiento se da de piñón a piñón haciendo uso de una correa, las ventajas que posee es la variabilidad para el ensamblaje de componentes en la impresora 3D y su costo aceptable (Carabali & Coral, 2016). En la Figura 20, puede observar el mecanismo mencionado.

Figura 20

Transmisión de movimiento por piñón-Correa dentada

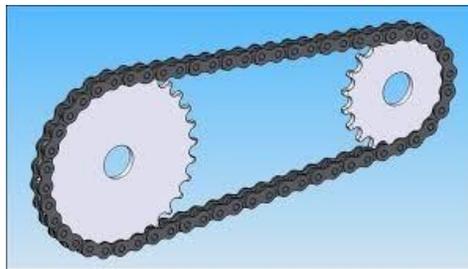


Nota. En la figura se puede observar el mecanismo de transmisión de movimiento por piñón-Correa dentada. Tomado de (Carabali & Coral, 2016).

Alternativa 4. Cadenas, similar a la transmisión por piñón correa-dentada. Entre las ventajas que posee es que mantiene la relación de transmisión constante, no requiere estar tan rígida como las correas y tiene una elevada eficiencia mecánica. Posee ciertas desventajas debido a que es un sistema más costoso y ruidoso. En la Figura 21 , se puede observar el mecanismo mencionado.

Figura 21

Transmisión por Cadena



Nota. En la figura se puede observar el sistema de transmisión por cadena. Tomado de (Transmisión por cadena, s.f.).

Parámetros para considerar la selección del mecanismo de transmisión del eje Z

En base a las opciones planteadas se debe determinar las características a ser consideradas, para la selección del mecanismo de transmisión en el eje Z para el desarrollo de la impresora 3D.

- Transmisión de potencia.
- Costo.
- Precisión.
- Operación a alta velocidad.
- Capacidad de Carga.

Selección del mecanismo de transmisión en el eje Z

A continuación, en la Tabla 7 se presenta la selección del mecanismo de transmisión en el eje Z, la cual se hace una comparación entre las 4 opciones planteadas, tomando como base a criterios estructurados (escala de evaluación) que se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 7

Selección del mecanismo de transmisión

Parámetros para considerar	Alternativas del mecanismo de transmisión			
la selección del mecanismo de transmisión				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Transmisión de potencia	5	4	4	4
Costo	2	5	5	3
Precisión	5	5	5	4
Operación a alta velocidad	4	3	4	3
Capacidad de Carga	5	5	1	4
Total	21	22	19	18

Nota. En la tabla se puede observar los criterios de selección del mecanismo de transmisión.

En la Tabla 7 se determina la opción más adecuada para el sistema de elevación de la base de impresión en el eje Z, en este caso es la alternativa 2 (tornillo de avance-husillo) ya que se necesita mover un peso considerable al mismo tiempo que el movimiento debe ser preciso.

Parámetros para la selección del mecanismo de transmisión del eje X-Y

En base a las opciones planteadas se debe determinar las características a ser consideradas, para la selección del mecanismo de transmisión en el eje X-Y para el desarrollo de la impresora 3D.

- Costo.
- Precisión.
- Versatilidad de montaje.
- Ruido.

Selección del mecanismo de transmisión en el eje X-Y

A continuación, en la Tabla 8 se presenta la selección del mecanismo de transmisión, en la cual se hace una comparación entre las 4 opciones planteadas, tomando como base a criterios estructurados (escala de evaluación) que se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 8

Selección del mecanismo de transmisión eje X-Y

Parámetros para considerar	Alternativas del mecanismo de transmisión en el eje X-Y			
la selección del mecanismo de transmisión				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Costo	2	4	5	2
Precisión	5	5	4	5
Versatilidad de montaje	3	3	5	3
Ruido	3	4	5	3
Total	13	16	19	13

Nota. En la tabla se puede observar los criterios de selección del mecanismo de transmisión del eje X-Y.

En la Tabla 8 se determina la opción más adecuada para el mecanismo de mecanismos de transmisión de movimiento que conforman los ejes en el plano horizontal (X-Y), es la alternativa 3 (piñón-correa dentada) por su versatilidad de montaje, precisión y su costo.

Alternativa de actuadores para la impresora 3D

Los motores generan el movimiento de los ejes (X,Y y Z) de la impresora 3D , se usa varios tipos de motores como: motores a pasos, servomotores DC, servomotores AC y motores brushless.

Alternativa 1. Motores a pasos, estos trabajan con corriente alterna, además, de ello existen drivers que regulan la potencia, corriente y permiten reducir los pasos según la aplicación requerida. Ideal para máquinas que necesitan movimientos exactos, menos propenso a daños por sobre torques y su valor es económico (Carabali & Coral, 2016). En la Figura 22 , se puede observar un motor paso a paso.

Figura 22

Motor paso a paso



Nota. En la figura se puede observar el motor nema 17. Tomado de (Isaac, Nema 17, 2020).

Alternativa 2. Servomotores DC, son aquellos que actúan con corriente continua su velocidad depende del voltaje, además de ello el torque es muy bajo equiparado con el de un motor paso a paso, propenso a daños mecánicos por sobre torques y costoso. En la Figura 23 ,se puede observar un servomotor DC.

Figura 23*Servomotor DC*

Nota. En la figura se puede observar el Servomotor DC. Tomado de (DirectIndustry, s.f.).

Alternativa 3. Servomotores AC, este servomotor necesita una corriente más elevada y por ende se usa en aplicaciones industriales entre las ventajas que posee es alta capacidad de sobre carga y un elevado par dinámico a elevadas velocidades (TechDesign). La principal desventaja de los motores AC en comparación con motores DC, es que su velocidad es más difícil de controlar y su complejidad de control. En la Figura 24, se puede observar un servomotor AC.

Figura 24*Servomotor AC*

Nota. En la figura se puede observar el Servomotor AC. Tomado de (Becolve, s.f.).

Alternativa 4. Motores Brushless, debido a su diseño de transmisión sin carbón disminuye la resistencia interna y disipa el calor generado de una mejor manera. Por lo tanto, ofrece varias ventajas como, eficiencia elevada, mejor respuesta dinámica, mejor vida útil y menor ruido (Martínez & Vázquez, 2013). Como sus principales desventajas es el coste y su control es más complejo. En la Figura 25 ,se puede observar un motor Brushless.

Figura 25

Motores Brushless



Nota. En la figura se puede observar los motores Brushless. Tomado de (Isaac, Motor brushless: lo que deberías saber sobre estos motores, 2020).

Parámetros para considerar la selección del actuador de la impresora 3D

En base a las opciones planteadas se debe determinar las características a ser consideradas, para la selección de la alternativa más idónea para la impresora 3D.

- Costo reducido.
- Aplicaciones Académicas.
- Facilidad de control.
- Precisión.

Selección del actuador de la impresora 3D

A continuación, en la Tabla 9 se presenta la selección del actuador de la impresora 3D, en la cual se hace una comparación entre las 4 opciones planteadas, tomando como base a criterios estructurados (escala de evaluación) que se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 9

Selección del actuador

Parámetros para considerar	Alternativas del actuador de la impresora 3D			
la selección del actuador	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Costo reducido	5	4	3	3
Aplicaciones académicas	4	3	3	4
Facilidad de Control	4	3	3	2
Alta Precisión	4	5	5	5
Total	17	15	14	14

Nota. En la tabla se puede observar los criterios de selección del actuador.

En la Tabla 9 se determina la opción más adecuada la alternativa 1 (motor paso a paso), por costo reducido, facilidad de control y su alta precisión.

Sistema de extrusión

Es la pieza que toma el filamento y la deposita sobre la superficie de impresión en base a los parámetros generados por el código G.

Alternativa 1. Extrusión directa es el sistema más común, el filamento (PLA) pasa de manera directa desde el motor hasta la boquilla pasando antes por el “hotend”. El extrusor es una pieza compacta y más sencilla (Altamirano & Zambrana, 2017). En la Figura 26 ,se puede observar el sistema de extrusión directa en este caso el extrusor MK8.

Figura 26

Extrusión Directa

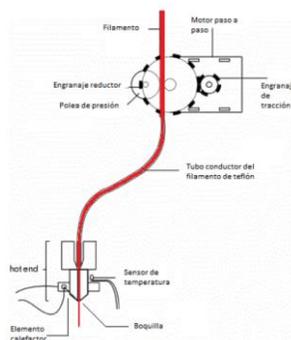


Nota. En la figura se puede el sistema de extrusión directa. Tomado de (MovilTronics, s.f.).

Alternativa 2. Extrusión “Bowden” , parecida a la extrusión directa con la diferencia en que el motor está separado del hotend, y el filamento es trasladado mediante el eje X haciendo uso de una tubería flexible (Altamirano & Zambrana, 2017). Entre las desventajas que posee este sistema es más complejo de montar y mantener, pero es más seguro. En la Figura 27 ,se puede observar el sistema de extrusión “Bowden”.

Figura 27

Extrusión Bowden



Nota. En la figura se puede observar el sistema de extrusión Bowden. Tomado de (Altamirano & Zambrana, 2017).

Parámetros para considerar del sistema de extrusión

En base a las opciones planteadas se debe determinar las características a ser consideradas, para la selección de la alternativa más idónea para el sistema de extrusión para la impresora 3D.

- Precisión.
- Montaje.
- Sistema de alimentación.

Selección del sistema de extrusión

A continuación, en la Tabla 10 se presenta la selección del sistema de extrusión, en la cual se hace una comparación entre las 2 opciones planteadas, tomando como base a criterios estructurados (escala de evaluación) que se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 10

Selección del sistema de extrusión

Parámetros para considerar la selección del sistema de extrusión	Alternativas del mecanismo de selección del sistema de extrusión	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Precisión	4	3
Montaje	4	3
Sistema de alimentación	3	3
Total	11	9

Nota. En la tabla se puede observar los criterios de selección del sistema de extrusión.

En la Tabla 10 se determina la opción más adecuada para el sistema de extrusión es la alternativa 1 (extrusión directa), debido a su precisión, montaje y el sistema de alimentación.

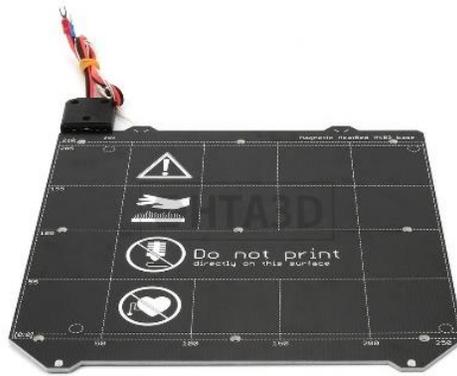
Subsistema de la base de impresión (Cama)

La base de impresión (cama) depende de los requerimientos de usuario, del tamaño y estructura de la impresora y adaptabilidad con el CIM.

Alternativa 1. Cama caliente con superficie magnética, estilo “*Buildtak*” con el objetivo de que las piezas se queden adheridas en el fleje magnético. Posee varias ventajas como su facilidad de extracción debido a su base de presión imantada, el calentamiento es muy rápido y optimizado en la superficie de impresión. Su temperatura es de 0 a 80°C si no se pierde la adherencia magnética (Robochip, s.f.). En la Figura 28 ,se puede observar la cama caliente magnética.

Figura 28

Cama magnética



Nota. En la figura se puede observar la cama magnética. Tomado de (HTA3D, s.f.).

Alternativa 2. Cama caliente, utilizadas en varias impresoras , ligeras y económicas, su temperatura va de 0 a 120°C en base a los requerimientos del operador. En la Figura 29 ,se puede observar la cama caliente.

Figura 29

Cama caliente



Nota. En la figura se puede observar la cama caliente. Tomado de (HTA3D, s.f.).

Alternativa 3. Cama fría, estas no se pueden calentar debido a que no poseen ninguna conexión eléctrica, estas se colocan de manera directa sobre la base de la impresora, tienden a ser más planas, más fáciles de limpiar además de ello tienen la ventaja de ser muy económicas. En la Figura 30, se puede observar la cama Fría.

Figura 30

Cama Fría



Nota. En la figura se puede observar la cama fría. Tomado de (HTA3D, s.f.).

Parámetros para considerar la selección de la base de impresión

En base a las opciones planteadas se debe determinar las características a ser consideradas, para la selección de la base de impresión la cual será la más idónea para el desarrollo del CIM.

- Costo.
- Adaptabilidad con el manipulador.
- Fácil extracción.

Selección de la base de impresión

A continuación, en la Tabla 11, se presenta la selección de la base de impresión, en la cual se hace una comparación entre las 3 opciones planteadas, tomando como base a criterios estructurados (escala de evaluación) que se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 11

Selección de la base de impresión

Parámetros para considerar la base de impresión	Alternativas de la base de impresión		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	4	5	5
Adaptabilidad con el manipulador	5	3	4
Fácil extracción	5	2	3
Total	14	10	12

Nota. En la tabla se puede observar los criterios de la base de impresión.

En la Tabla 11, se determinó la opción más adecuada para la base de impresión, en este caso la alternativa 1 (cama caliente con superficie magnética) debido a su costo, posibilidad de calefacción a diferentes temperaturas y la más importante que es de fácil extracción ya que el manipulador sacará la base de impresión, esto vendrá acorde para el desarrollo del CIM.

Sistema de la tarjeta de control de la impresora 3D

Para el control de la impresora 3D será mediante una tarjeta, el cual llevará el programa que permita que la máquina funcione. Entre las opciones de placas controladoras que pueden comandar el funcionamiento de la impresora 3D.

Alternativa 1. Tarjeta Raspberry Pi, posee las ventajas de ser de software libre, permite realizar varias tareas y puede conectarse a Internet de manera inalámbrica, la tarjeta Raspberry Pi es una placa base con funciones de PC (Carabali & Coral, 2016). Es rápido y potente pero su coste es muy elevado. En la Figura 31, se puede observar la tarjeta mencionada en este caso la Raspberry pi 4 de 8 de ram.

Figura 31

Tarjeta Raspberry Pi



Nota. En la figura se puede observar la Tarjeta Raspberry Pi. Tomado de (Carabali & Coral, 2016).

Alternativa 2. Arduino Mega y Tarjeta Ramps, el Arduino Mega consta de ventajas como :microcontrolador programable, es ideal para aplicaciones en proyectos de hardware y software libre. La tarjeta RAMPS se adapta al Arduino Mega ya que permite acoplar drivers, finales de carrera, motores, extrusores y una LCD (Carabali & Coral, 2016). Esta tarjeta es de gran ayuda cuando se quiere controlar una máquina CNC y su coste no es elevado. En la Figura 32, se puede observar la tarjeta mencionada en este caso la tarjeta Arduino Mega 2560 y las Ramps 1.4.

Figura 32

Arduino Mega y Tarjeta Ramps



Nota. En la figura se puede la tarjeta Arduino Mega y Tarjeta Ramps. Tomado de (Carabali & Coral, 2016).

Alternativa 3. De las diferentes marcas existentes en el mercado se procede a elegir esta por sus características en este caso la “Sanguinololu”, ya que posee ventajas como su sistema operativo libre , 4 controladores de motores a pasos, bus USB con comunicación FT232RL y su coste no es elevado (Chancusi & Navarrete, 2014). En la Figura 33, se puede observar la tarjeta mencionada en este caso la tarjeta “Sanguinololu”.

Figura 33

Tarjeta Sanguinololu



Nota. En la figura se puede observar la tarjeta Sanguinololu. Tomado de (Chancusi & Navarrete, 2014).

Parámetros para considerar de la tarjeta de control de la impresora 3D

En base a las opciones planteadas se debe determinar las características a ser consideradas, para la selección de la tarjeta de control para la impresora 3D para el desarrollo del CIM.

- Software Libre.
- Capacidad de entradas y salidas.
- Costo.
- Controlador para motores.

Selección de la tarjeta de control de la impresora 3D

A continuación, en la Tabla 12 se presenta la selección de la tarjeta de control, en la cual se hace una comparación entre las 3 opciones planteadas, tomando como base a criterios estructurados (escala de evaluación) que se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 12

Selección de la tarjeta de control

Parámetros para considerar la selección de la tarjeta de control de la impresora 3D	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Software Libre	5	5	5
Capacidad de entradas y salidas	5	4	4
Costo	3	4	4
Controlador para motores	3	5	3
Total	16	18	16

Nota. En la tabla se puede observar los criterios de selección de la tarjeta para el control de la impresora 3D.

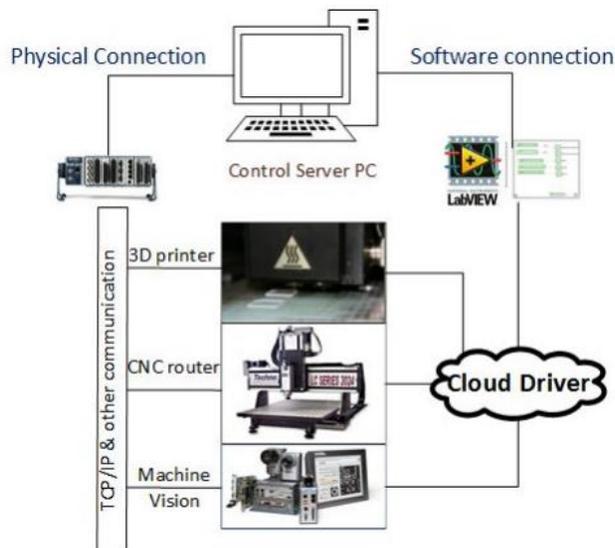
En la Tabla 12 se determina la opción más adecuada para la tarjeta de control de la impresora 3D en este caso es la alternativa 2 (Arduino Mega y Tarjeta Ramps) debido a su capacidad de entradas y salidas y es adecuado para el control de motores y su software libre.

Transmisión de Datos para el CIM

Alternativa 1. Red en la nube, es un servidor que controla todas las estaciones entre las ventajas de este sistema es que posee una mayor velocidad, mejora en el tráfico de la red, mayor fiabilidad y permite la integración de varios softwares como Labview y Python (Macdonald, Kim, & Lee, 2015). Como desventajas en este sistema es si su conexión a Internet no es constante puede tener problemas y posee costes elevados . En la Figura 34, se muestra una ilustración de la transmisión de datos de red en la nube.

Figura 34

Transmisión de datos de red en la nube

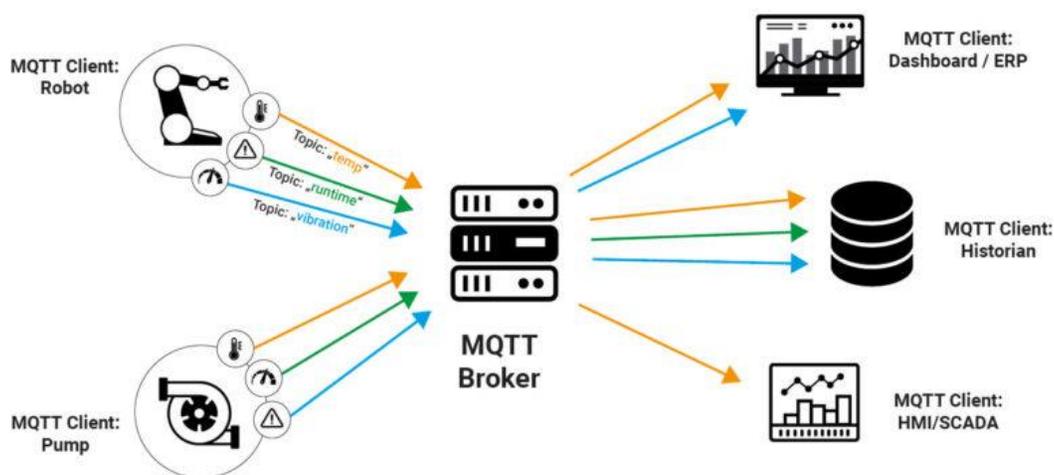


Nota. En la figura se observa de transmisión de datos de red en la nube. Tomado de (Macdonald, Kim, & Lee, 2015).

Alternativa 2.MQTT, posee varias ventajas como una arquitectura accesible en precios, existen unidades programables compatibles con MQTT, existen librerías desarrolladas en LabVIEW, Python y Arduino ID (C++) que facilitan su programación, haciéndole compatible con cualquier lenguaje de programación. Como desventajas de este sistema es el tráfico de datos. En la Figura 35 , se muestra una ilustración de la transmisión datos mediante MQTT.

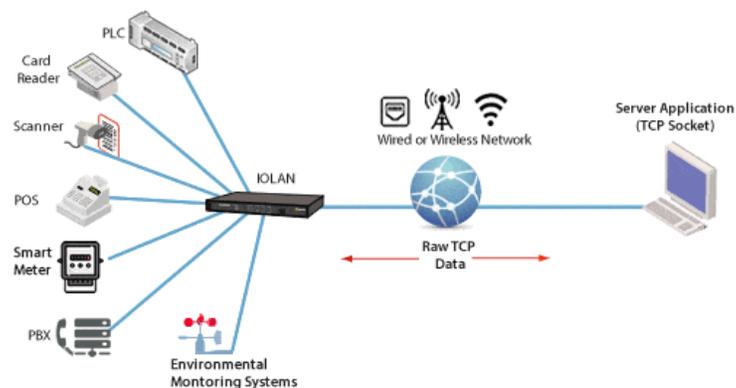
Figura 35

Transmisión de datos por MQTT



Nota. En la figura se observa la transmisión de datos mediante MQTT. Tomado de (Novotek, s.f.).

Alternativa 3.Cable USB a Serial U209-000-R,este tipo de comunicación funciona con dispositivos que posean un puerto serial lo que permite conectarse a una computadora. Además de ello soporta velocidades de transferencia de datos elevados y es compatible con varios sistemas operativos como: Windows, Linux entre otros (EATON, s.f.). En la Figura 36, se muestra una ilustración de la transmisión de datos mediante cable USB.

Figura 36*Transmisión de datos mediante cable USB*

Nota. En la figura se observa la transmisión de datos mediante cable USB. Tomado de (perle).

Parámetros para considerar para la transmisión de datos del CIM

En base a las opciones planteadas se debe determinar las características a ser consideradas, para la selección de la alternativa más idónea de la transmisión de datos de la impresora 3D al control computarizado.

- Costo de implementación.
- Tráfico de datos.
- Ruido.
- Compatibilidad de lenguajes de programación.

Selección de la transmisión de datos del CIM

A continuación, en la Tabla 13 se presenta la selección de la transmisión de datos hacia el control computarizado, en la cual se hace una comparación entre las 3 opciones planteadas, tomando como base a criterios estructurados (escala de evaluación) que se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 13*Selección de la transmisión de datos*

Parámetros para considerar la selección de la transmisión de datos del CIM	Alternativas de la transmisión de datos del CIM		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo de implementación	1	4	2
Tráfico de datos	5	3	4
Ruido	1	1	1
Compatibilidad de lenguajes de programación	4	4	4
Total	11	12	11

Nota. En la tabla se puede observar los criterios de selección de la transmisión de datos de la impresora 3D.

En la Tabla 13, se determina la opción más adecuada para la transmisión de datos de la impresora 3D hacia el control computarizado en este caso es la alternativa 2 (MQTT) debido a su costo de implementación, tráfico de datos, ruido y compatibilidad de lenguajes de programación.

Diseño mecánico

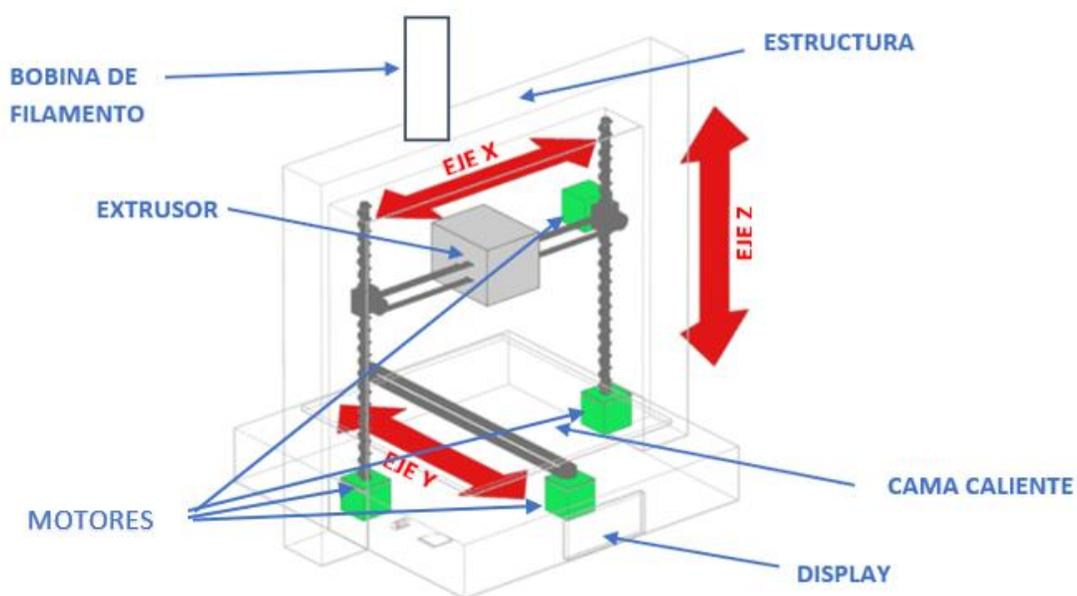
Bosquejo de la impresora 3D

Se empieza definiendo la distribución de las partes más importantes de la impresora 3D, las cuales serán consideradas para el diseño mecánico de la estación de manufactura aditiva.

En la Figura 37, se muestra el bosquejo de la impresora 3D.

Figura 37

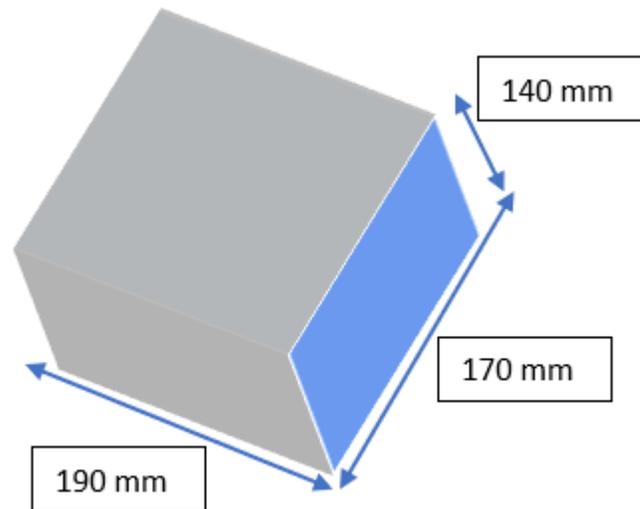
Bosquejo de la impresora 3D



Nota. En la figura se puede observar el bosquejo de la impresora 3D.

Área de impresión

Se define el área de impresión tanto para el eje X, eje Y y eje Z, de esta forma se considera estas dimensiones de (190 mm x 170 mm x 140 mm), para el diseño de los ejes y la estructura de la máquina. En la Figura 38, se observa el área de impresión de la impresora 3D en referencia a los parámetros de diseño.

Figura 38*Área de Impresión*

Nota. En la figura se puede observar el área de impresión.

Diseño de ejes

Los ejes a diseñar serán los que funcionan de guías para realizar los desplazamientos del sistema en el plano X-Y, los mismos están sometidos a cargas que generan momentos flectores, hay que diseñarlos y dimensionarlos correctamente para evitar pandeos que ocasionarán errores de precisión en el movimiento coordinado.

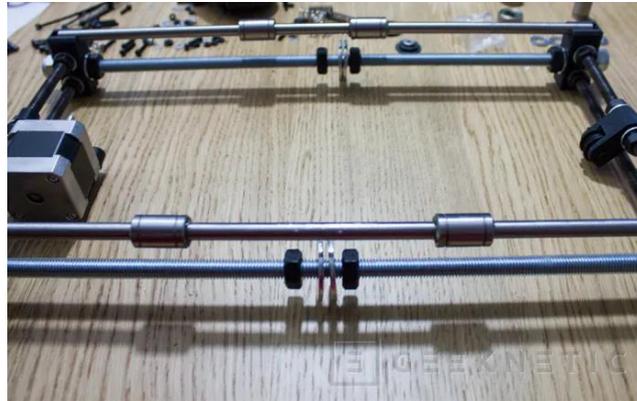
Inicialmente se parte con el material del cual será diseñado los ejes el cual se escogió acero Inoxidable, ya que sus características como la resistencia a la corrosión permite el libre desplazamiento de los rodamientos, aparte su resistencia a las variaciones térmicas la hacen ideal para su implementación.

Diseño del eje Y

Por lo tanto, para el eje Y que es el que soportará la mayor cantidad de peso que compone todo el sistema de la cama caliente se parte de los siguientes datos:

Figura 39

Eje Y



Nota. En la figura se puede observar el eje Y. Tomado de (geeknetic, 2014).

- Masa de la base de la cama: 810 gramos (Dato obtenido del software SolidWorks).
- Masa de la Cama caliente: 700 gramos.
- Masa de Dos rodamientos lineales: 50 gramos.
- Masa del Fleje magnético= 620 gramos.
- Masa de los pernos, tuercas y arandelas= 50 gramos.
- Masa máxima de pieza impresa=1000 gramos.

Datos a tomar en cuenta del material acero inoxidable AISI 304 estos valores fueron tomados del catálogo de (SUMITEC, s.f.).

- Resistencia a la fluencia $S_y = 170 \text{ MPa}$.
- Módulo de elasticidad $E = 190 \text{ GPa}$.
- Longitud total del eje $L = 320 \text{ mm}$.

$$\textit{masa Total} = 810 \text{ g} + 700 \text{ g} + 50 \text{ gr} + 620 \text{ g} + 50 \text{ g} + 1000 \text{ g}$$

$$\textit{masa Total} = 3.23 \text{ Kg}$$

$$\textit{Peso total} = \textit{masa} * \textit{gravedad}$$

$$\textit{Peso total} = (3.23 \text{ kg}) * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 31.69 \text{ N}$$

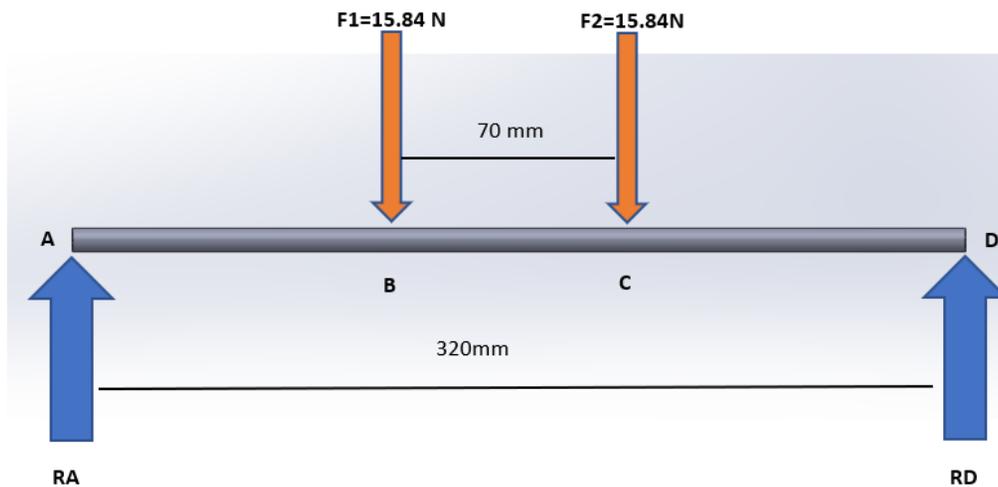
Fuerza puntual en cada apoyo = fuerza total/2

$$Fuerza\ puntual\ en\ cada\ apoyo = \frac{31.69\ N}{2} = 15.84\ N$$

En la Figura 40, se puede observar el diagrama de fuerzas para el eje Y.

Figura 40

Diagrama de Fuerzas



Nota. En la figura se puede observar el diagrama de fuerzas.

Empezamos calculando el esfuerzo de diseño para poder determinar el diámetro más adelante, tenemos la siguiente fórmula sacada del libro de (Mott, 2009), utilizando un factor de seguridad de 2, ya que esta máquina no afectará la integridad de vidas humanas:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{2}$$

$$\sigma_d = \frac{170\ MPa}{2} = 85\ MPa$$

Para determinar el esfuerzo calculado debemos encontrar el momento máximo.

$$\sum MA = 0$$

$$-F1 * (125\ mm) - F2 * (195\ mm) + RD * (320\ mm) = 0$$

$$RD = \frac{15.84\ N * (125\ mm) + 15.84\ N * (195\ mm)}{320\ mm}$$

$$RD = 15.84 N$$

$$\sum Fy = 0$$

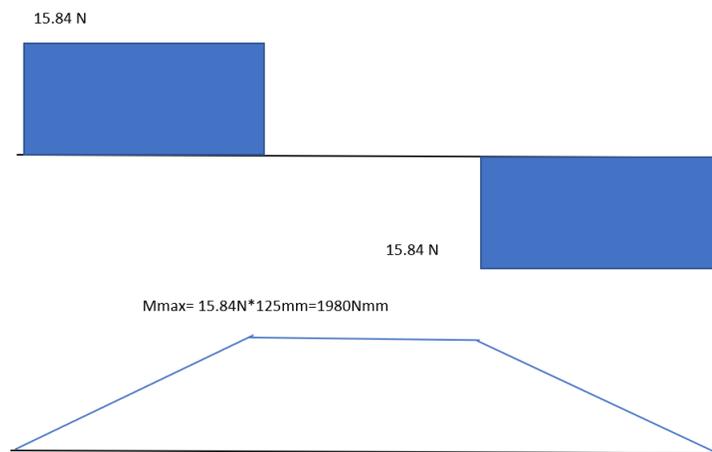
$$RA - F1 - F2 + RD = 0$$

$$RA = 15.84N + 15.84N - 15.84N$$

$$RA = 15.84N$$

Figura 41

Momento máximo



Nota. En la figura se puede observar el momento máximo del eje Y.

En la Figura 41, se puede observar el momento máximo que tiene el valor de $M_{max} = 1980 Nmm$.

El esfuerzo máximo en un eje circular es:

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

Reemplazando el esfuerzo de diseño y despejando el diámetro tenemos:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi * \sigma}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32(1980Nmm)}{\pi(85 N/mm^2)}}$$

$$d = 6.2 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta un eje comercial y algún peso adicional se decide redondear el eje:

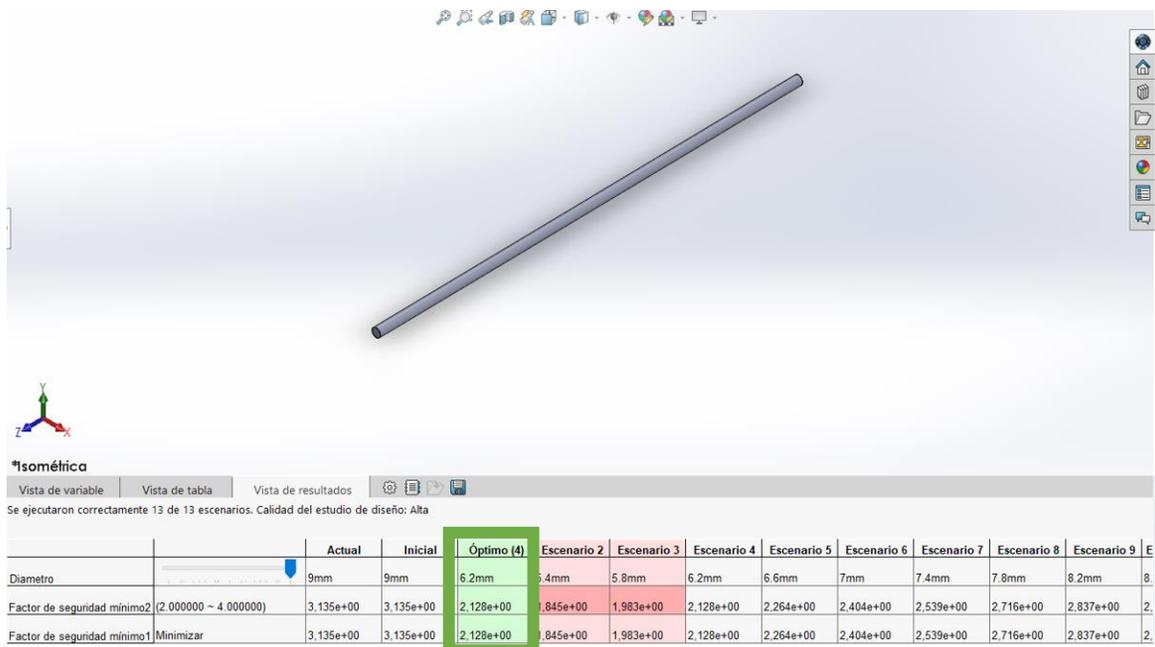
$$d = 8 \text{ mm (5/16 pulgadas)}$$

Comprobación por software CAE del eje Y

Mediante el análisis por optimización geométrica mediante el software CAE. A continuación, en la Figura 42, se observa la simulación de optimización geométrica de la varilla lisa.

Figura 42

Optimización de diámetro de varilla lisa del eje Y



Nota. En la figura se puede observar el factor de seguridad de 2.18 de la varilla lisa obtenido mediante optimización geométrica.

Se analizó que tanto los cálculos realizados y la simulación desarrollada en software CAE mediante optimización geométrica dieron respuestas aproximadas en este caso el diámetro calculado de 6.2 mm tiene como factor de seguridad el valor de 2, mientras que el diámetro obtenido mediante optimización geométrica es de 6.2 mm cuyo factor de seguridad es de 2.18, dando respuestas similares de manera calculada y simulada.

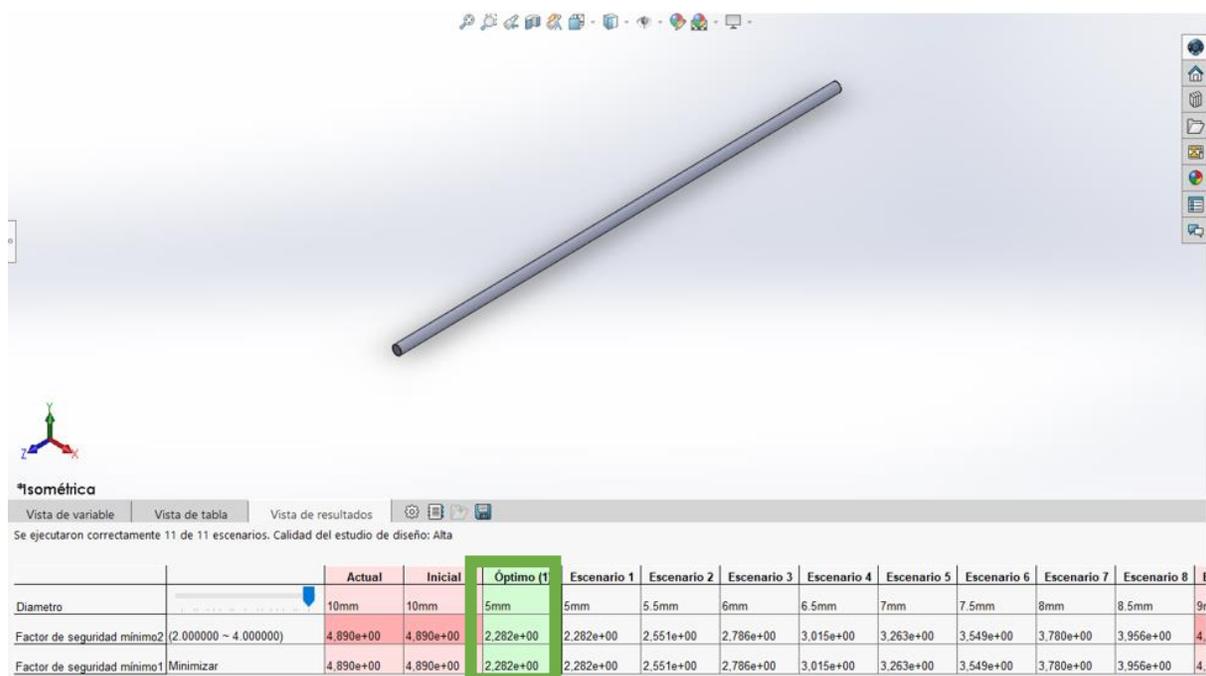
Para la selección del eje liso adecuado para el eje Y se escoge uno acorde al diseño calculado y simulado, en este caso un valor igual o superior a 6.2 mm, por lo que se toma en cuenta un eje comercial y algún peso adicional se decide redondear el eje Y a un valor de 8 mm.

Análisis del eje X mediante software CAE

Se realizó el análisis por optimización geométrica mediante el software CAE. A continuación, en la Figura 43 se observa la simulación de optimización geométrica de la varilla lisa para el eje X.

Figura 43

Optimización de diámetro de varilla lisa del eje X



Nota. En la figura se puede observar que el factor de seguridad 2.28 de la varilla lisa obtenido mediante optimización geométrica.

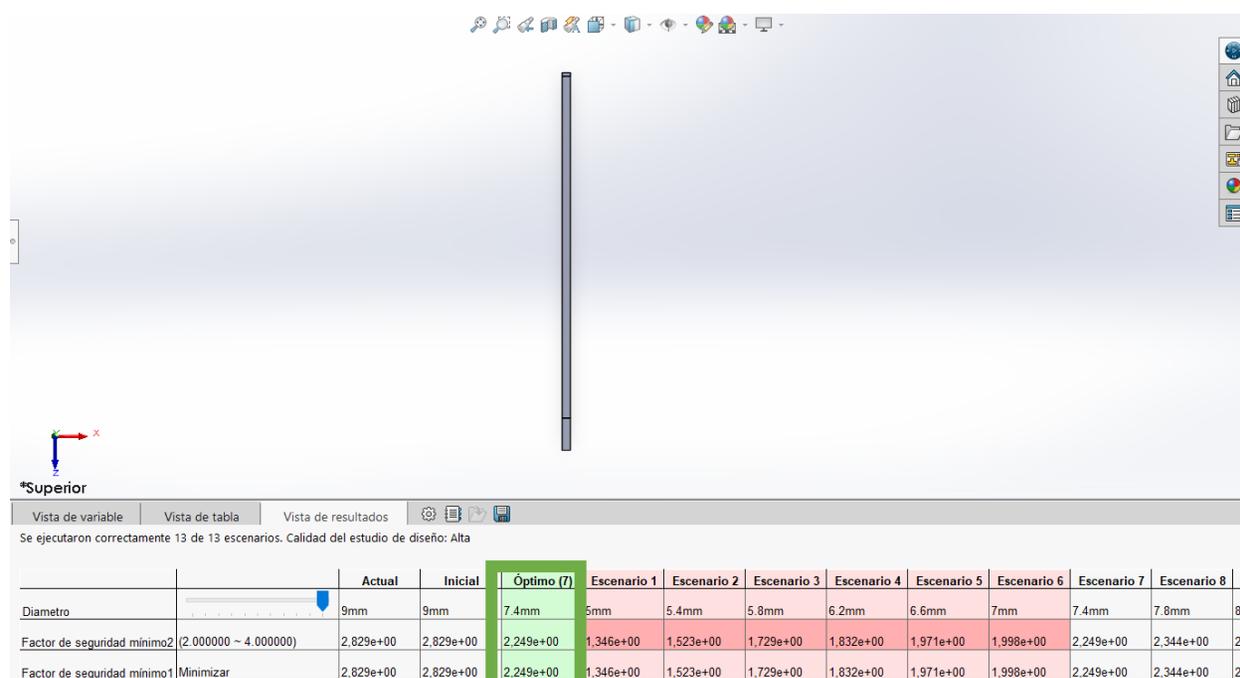
En base al desarrollo en software CAE se notó que para el eje X que soportara el extrusor, el diámetro adecuado es de 5 mm mediante optimización geométrica ya que el software dio como resultado un factor de seguridad de 2.28.

Análisis del eje Z mediante software CAE

A continuación, en la Figura 44, se observa la simulación de optimización geométrica de la varilla lisa para el eje Z que es la guía y soporte.

Figura 44

Optimización de diámetro de la varilla lisa del eje Z



Nota. En la figura se puede observar el diámetro de la varilla lisa correspondiente al Eje Z.

Para el eje X, Y y Z se utiliza el mismo diámetro por modularidad y estética en el diseño, ya que al haber analizado el eje Y que es aquel que más esfuerzos va a soportar, se comprueba que con un diámetro de 7.4 mm cumple con los requisitos para ser un diseño seguro con un factor de seguridad de 2.249, para su implementación se utilizará una varilla lisa de 8 mm que es lo que se encuentra comercialmente en el mercado.

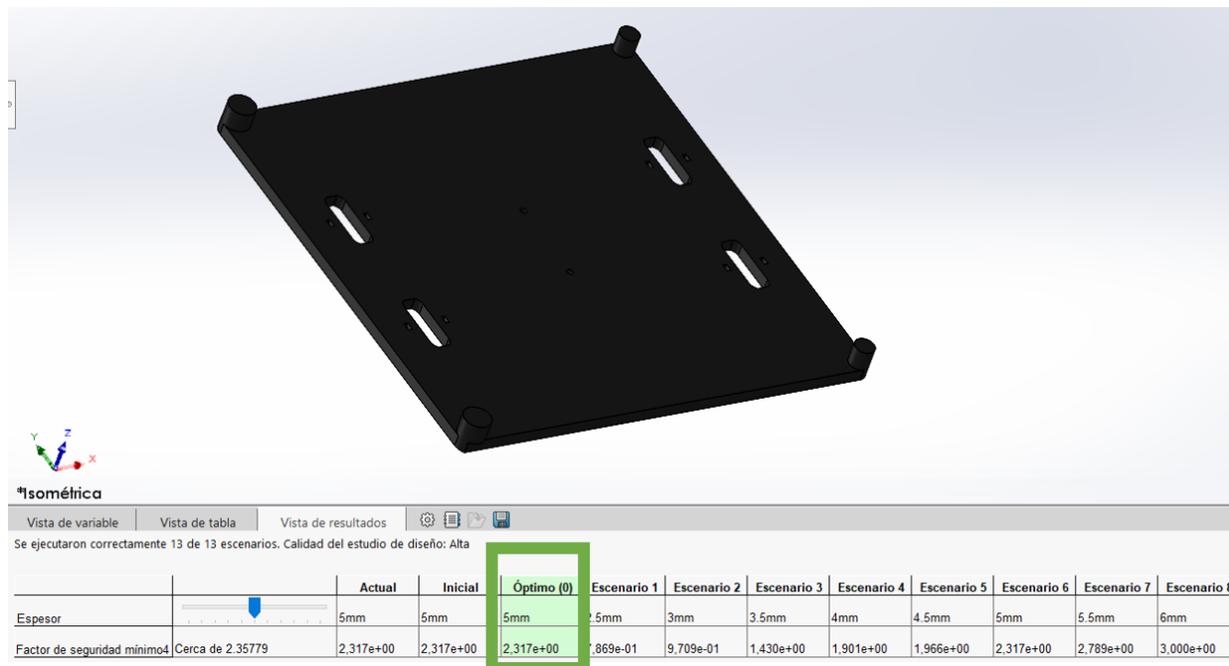
Base de la cama caliente

Para este estudio se tomó el peso de la cama caliente y el fleje magnético, que en total sumaban un peso de 20.9 N, el cual se implementó el estudio de diseño en SolidWorks en base a el espesor de la cama caliente, en el cual el valor ideal es de 5 mm de espesor en base a un

factor de seguridad de 2.3. En la Figura 45 ,se puede observar la optimización geométrica en software CAE.

Figura 45

Optimización geométrica de la base de la cama caliente



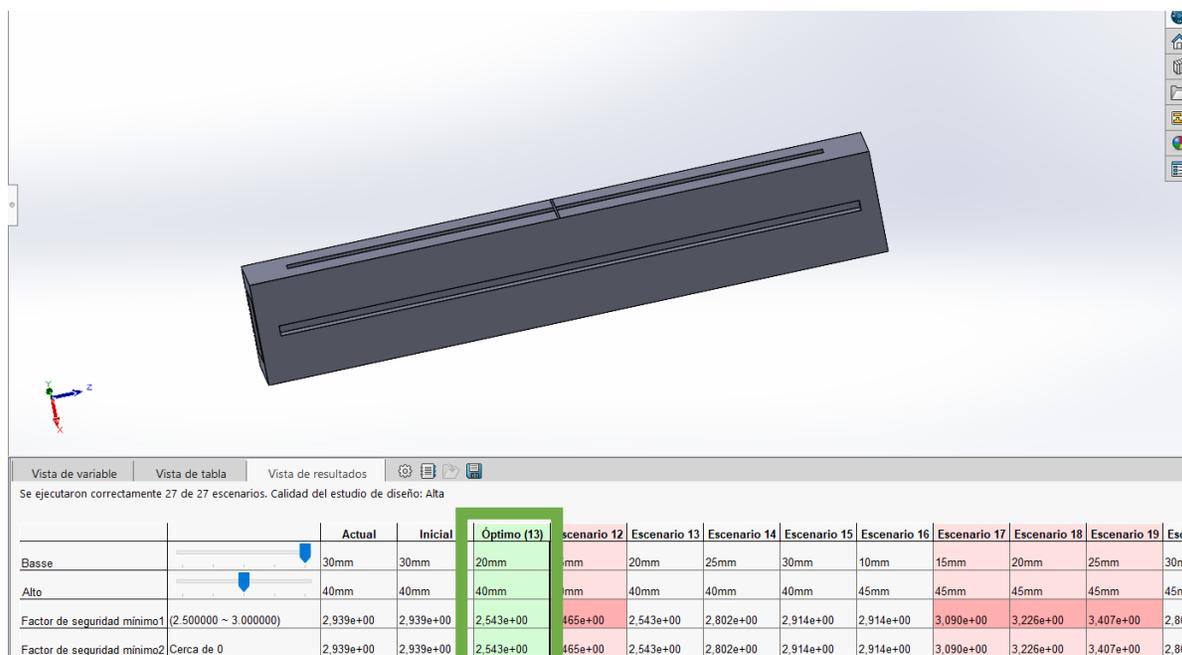
Nota. En la figura se puede observar el espesor de 5 mm.

Viga del Marco

Para este estudio se tomó en cuenta el peso del rollo de filamento, que soportará el marco el cual tendrá un peso de 9.81N, el material del marco será en Aluminio y las dimensiones del perfil se tomara en base a la optimización geométrica tomando en cuenta el valor más adecuado, en este caso el valor resultante es de altura (40 mm) y base (20 mm) debido a que un factor de diseño de $N=2$ sería una opción razonable en condiciones promedio y el valor obtenido en SolidWorks es de $N=2.543$. En la Figura 46 se puede observar la optimización geométrica de la viga del marco.

Figura 46

Optimización geométrica de la Viga del Marco



Nota. En la figura se puede observar que el factor de seguridad es de 2,543 por lo cual el diseño es seguro.

Para la estructura de la máquina se estandariza un perfil que se encuentra normalizado en el mercado, en este caso es el Perfil de Aluminio V 20x40, se selecciona este perfil en base a sus características que permiten un ensamblaje sumamente fácil y rápido, además de su resistencia mecánica y resistencia a la corrosión.

Tornillo de avance para el eje Z y torque del motor

Para determinar el diámetro mínimo del tornillo se considera a este como una columna para evitar su pandeo debido al peso que soporta, el cual puede ser expresado mediante la fórmula desarrollada por Euler.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2}{L_e^2}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

Donde:

$$P_{cr}: \text{Carga Critica} = 100.65 \text{ N}$$

E : Modulo de elasticidad = $1.93 * 10^{11}$ GPa

L_e Longitud efectiva = KL

K Constante que depende del extremo

L Longitud real de la columna entre los soportes

$$d_{min} = \sqrt[4]{\frac{64 * P_{cr} * L_e^2}{E * \pi^3}}$$

$$d_{min} = \sqrt[4]{\frac{64 * (100.65 \text{ N}) * (0.6 \text{ m} * 2)^2}{(1.93 * 10^{11} \text{ GPa}) * \pi^3}}$$

$$d_{min} = \sqrt[4]{\frac{64 * (100.65 \text{ N}) * (0.6 \text{ m} * 2)^2}{(1.93 * 10^{11}) * \pi^3}} = 6.27 * 10^{-3} \text{ m} \approx 6.27 \text{ mm}$$

Con el diámetro calculado se escoge el tipo de rosca que se va a utilizar en este caso, se escogió una rosca trapezoidal ACME, porque permite una gran precisión de posicionamiento y por su fácil construcción mediante diferentes métodos de fabricación que al ser normalizada las podemos encontrar en tablas como se puede observar en el Anexo 1.

Parámetros de diseño del tornillo

El tornillo a diseñar se realizará en acero inoxidable AISI 304, dado que debe tener alta resistencia a la corrosión, ya que el movimiento de la máquina debe ser muy precisa y con la menor fricción posible, además de otras ventajas que tiene este material como su alta resistencia mecánica, buenas propiedades para mecanizar y alta resistencia a la temperatura.

Otros parámetros que hay que considerar en el diseño, es que la estación de manufactura aditiva puede imprimirse a diferentes velocidades que son configuradas desde el laminador, pero para encontrar la velocidad máxima se hace referencia a la siguiente Tabla 14 de parámetros, para este caso el material a imprimir será PLA.

Tabla 14

Valores de cabezales ligeros y pesados para material PLA

Parámetro	Impresora 3D con cabezal ligero (<200 g)	Impresora 3D con cabezal pesado (>200 g)
Perímetros	60 mm/s	35 mm/s
Perímetros externos	40 mm/s	25 mm/s
Relleno	80 mm/s	50 mm/s
Relleno sólido	80 mm/s	50 mm/s
Primera capa	20 mm/s	15 mm/s
Última capa	40 mm/s	25 mm/s
Material de soporte	50 mm/s	30 mm/s
Puentes	100 mm/s	60 mm/s

Nota. Se puede emplear velocidades superiores tomando en cuenta la estabilidad de la estructura de la impresora 3D. Tomado de (filament2print, 2023).

Dado estos datos y tomando en cuenta que, para lograr una buena calidad y resolución de impresión, y al necesitar desplazamientos rápidos por las velocidades de impresión, se escoge utilizar 4 entradas en el tornillo, con esto se asegura un mayor avance y un buen posicionamiento de forma axial en los movimientos, tomando en cuenta estas consideraciones se procede a enlistar los datos para el cálculo.

$$\text{Diametro mayor: } D = 7,95 \text{ mm (5/16)}$$

$$\text{Paso: } p = 1,803 \text{ mm (14 hilos por pulgada)}$$

$$\text{Diametro medio: } d_m = 7,036 \text{ mm}$$

$$\text{entradas: } N = 4$$

$$l = Nxp$$

$$l = 4 \times 1.803 \text{ mm}$$

$$\text{avance: } l = 7.212 \text{ mm}$$

Referenciando a (Vanegas, 2018) en su libro de diseño de elementos de máquinas el coeficiente de fricción para un tornillo de potencia con roscas lubricadas es de 0.2, y para roscas trapezoidales el ángulo entre flancos es de $2\alpha_F = 29^\circ$ por lo tanto:

$$\alpha_F = 14.5^\circ$$

$$\mu_c = 0.2$$

Con estos datos podemos calcular el torque de subida y bajada que necesita el motor para lograr desplazar la carga por ende tenemos que:

$$T_s = \frac{F * d_m}{2} \left[\frac{\tan\lambda + \frac{\mu_c}{\cos\alpha_F}}{1 - \frac{\mu_c \tan\lambda}{\cos\alpha_F}} \right]$$

$$T_b = \frac{F * d_m}{2} \left[\frac{\frac{\mu_c}{\cos\alpha_F} - \tan\lambda}{1 + \frac{\mu_c \tan\lambda}{\cos\alpha_F}} \right]$$

Donde:

$$\tan\lambda = \frac{l}{\pi d_m}$$

$$\tan\lambda = \frac{7.212 \text{ mm}}{\pi * 7,036 \text{ mm}}$$

$$\tan\lambda = 0.33$$

El peso aproximado que debe desplazarse a lo largo del tornillo es de 1.1 kg por lo tanto para encontrar la fuerza se debe multiplicar por la gravedad.

peso = extrusor + varillas lisas + rodamientos lineales + soporte y tornillos

$$\text{peso} = 300 \text{ gr} + 400 \text{ gr} + 240 \text{ gr} + 160 \text{ gr}$$

$$peso = 1.1 \text{ kg}$$

$$F = 1.1 \text{ kg} * 9.81 \text{ kg} * m/s^2$$

$$F = 10.8 \text{ N}$$

Remplazando los datos tenemos que:

$$T_s = \frac{10.8 \text{ N} * 7,036 \text{ mm}}{2} \left[\frac{0.33 + \frac{0.2}{\cos 14.5^\circ}}{1 - \frac{0.2 * 0.33}{\cos 14.5^\circ}} \right]$$

$$T_s = 218.5 \text{ Nmm}$$

$$T_b = \frac{10.8 \text{ N} * 7.036 \text{ mm}}{2} \left[\frac{\frac{0.2}{\cos 14.5^\circ} - 0.33}{1 + \frac{0.2 * 0.33}{\cos 14.5^\circ}} \right]$$

$$T_b = 43.9 \text{ Nmm}$$

El torque de subida 0.218 Nm es el mayor ya que es el que utiliza para elevar toda la carga, con este dato se procede a escoger un motor paso a paso que este en el rango de dicho torque.

Para lo cual se procede a escoger de la Tabla 15, un motor que este en el rango del torque calculado, con esto se asegura que dicho motor sea capaz de desplazar la carga y su correcto funcionamiento para la estación de impresión 3d.

Tabla 15

Especificaciones típicas de motores paso a paso

Frame Size	Diameter (mm)	Typical Torque Range for a Stepper Motor (Nm)	Typical Speed Range for a Stepper Motor (RPM)
NEMA 8	20	0.01 - 0.04	0-1000
NEMA 11	28	0.06 - 0.12	0-1000
NEMA 14	35	0.05 - 0.5	0-1000
NEMA 16	39	0.1 - 0.25	0-1000
NEMA 17	43	0.2 - 1	0-1000
NEMA 23	57	0.5 - 3	0-1000
NEMA 24	60	1.2 - 4.6	0-1000
NEMA 34	86	3 - 12	0-1000
NEMA 42	102	12 - 20	0-1000

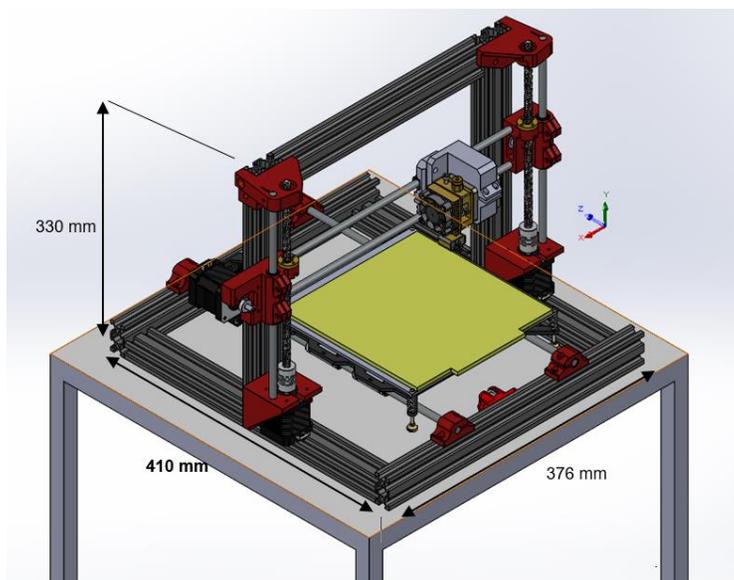
Nota. En la tabla se puede observar que las especificaciones típicas de los motores paso a paso y la selección del motor a utilizar que en este caso es el NEMA 17. Tomado de (ZIKODRIVE, s.f.)

Diseño de la estructura

Una vez de haber diseñado cada parte que conforma la estructura mecánica de la impresora 3D, se procede a ensamblar los elementos y comprobar las medidas calculadas, para sujetar algunas partes del diseño se optó por realizar acoples en impresión 3D, por su facilidad de manufacturar piezas con diseños personalizados y costo de producción, además algunos elementos se los puede encontrar en la propia librería del software y otros componentes que son normalizados, se los puede descargar en plataformas de archivos libres CAD, en la Figura 47 se observa el ensamble realizado en el software SolidWorks.

Figura 47

Diseño de la estructura



Nota. En la figura se puede observar el diseño de la estructura de la impresora.

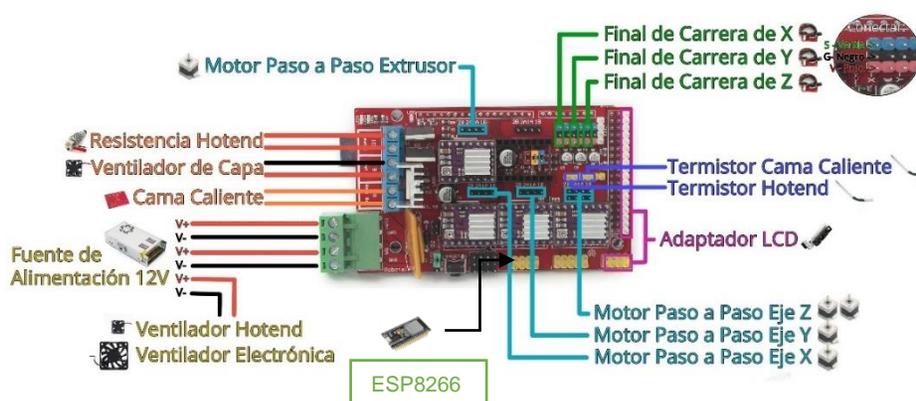
Esquema de conexión de los elementos electrónicos

Para la configuración de los componentes eléctricos y electrónicos se tomó en cuenta sus elementos principales que ya anteriormente se seleccionó en el Capítulo II denominado Parámetros de Diseño en el apartado de Selección de componentes: sistema de accionamiento (Motores paso a paso) seleccionado de la Tabla 9, Extrusor directo MK8 con su termistor del bloque caliente seleccionado de la Tabla 10, componentes de construcción como: Cama

caliente con superficie magnética seleccionada de la Tabla 11, unidad de control y controlador (Arduino Mega 2560 R3, RAMPS 1.4 y Drives A4988) junto con su pantalla LCD 12864 seleccionada de la Tabla 12, fuente de alimentación y la tarjeta esp8266 para la transmisión de datos por (MQTT). En la Figura 48 se puede observar la conexión de la electrónica de acuerdo a (HTA3D, s.f.).

Figura 48

Conexión de la electrónica



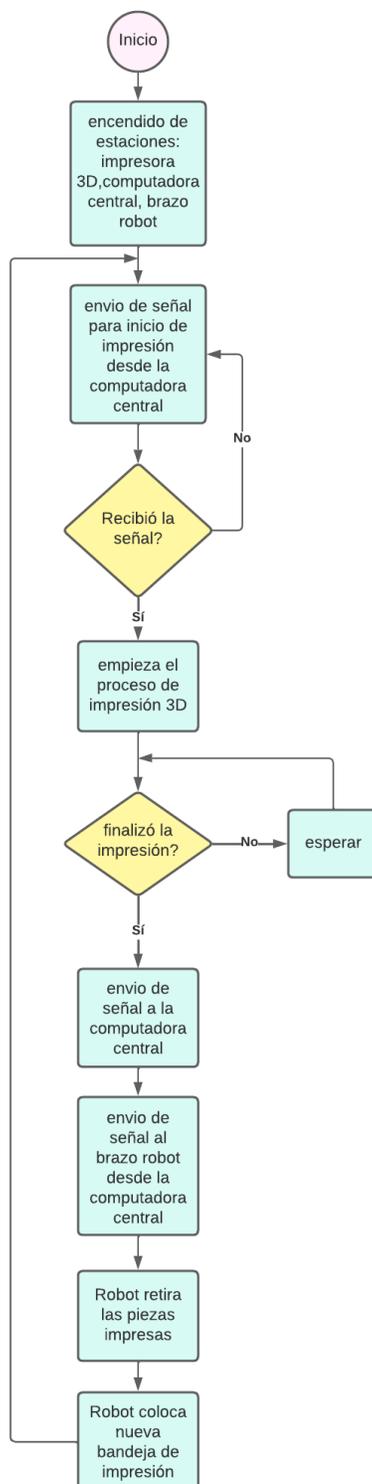
Nota. En la figura se puede observar la conexión de la electrónica de la impresora 3D. Tomado de (HTA3D, s.f.).

Flujograma de la comunicación

El flujograma del proceso inicia con la verificación que las estaciones que intervienen estén encendidas, paso seguido desde la computadora central se envía una señal la cual da inicio al proceso de impresión 3D, una vez terminado la tarea, desde la estación de manufactura aditiva se envía una señal de vuelta a la computadora central para que desde allí envíe otra señal al manipulador para la extracción de las piezas impresas en 3D, una vez retirada los objetos el robot coloca nuevamente una cama de impresión para estar lista a la espera nuevamente del control computarizado y así sucesivamente en un bucle. En la Figura 49, se puede observar el flujograma de la comunicación.

Figura 49

Flujograma de la comunicación



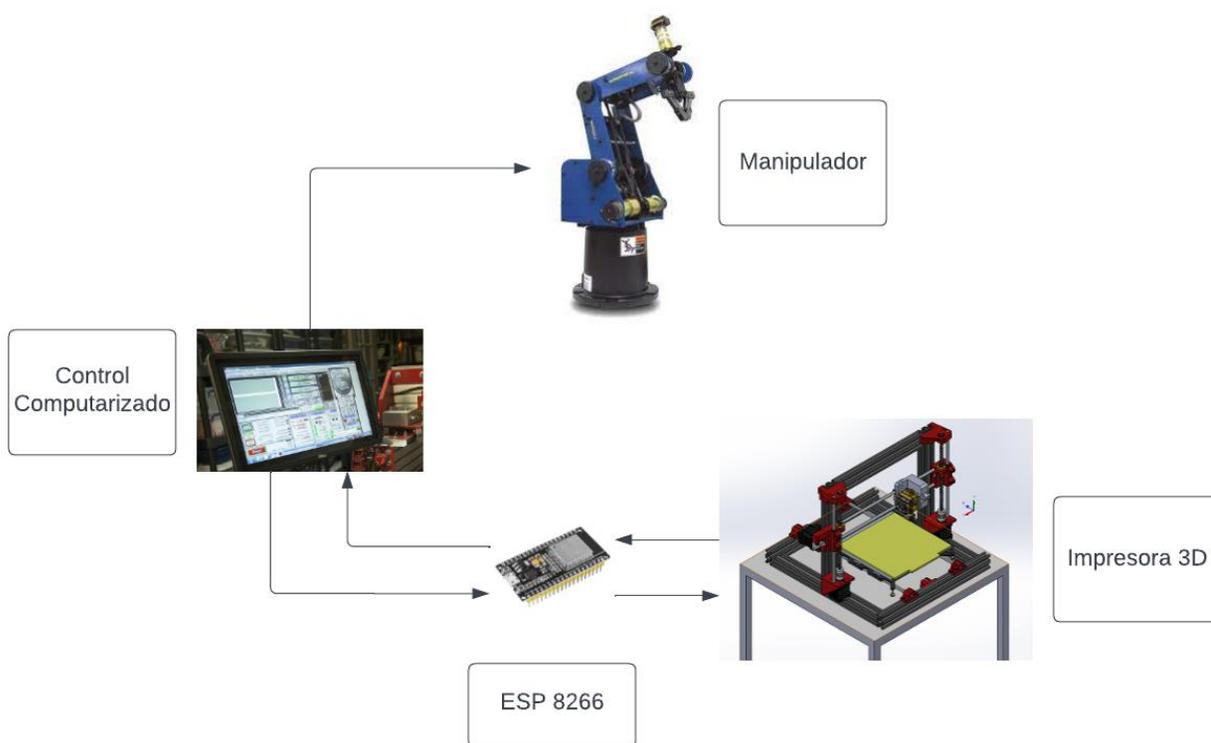
Nota. En la figura se puede observar el flujograma de la comunicación.

Esquema de la comunicación

En este esquema se observa de manera gráfica como estaría conectado los diferentes módulos que intervienen en la estación de manufactura aditiva, y la interconexión que tendrán estos elementos por medio de la comunicación MQTT. En la Figura 50 se puede observar el esquema de comunicación.

Figura 50

Esquema de la comunicación



Nota. En la figura se puede observar el esquema de la comunicación.

Capítulo III

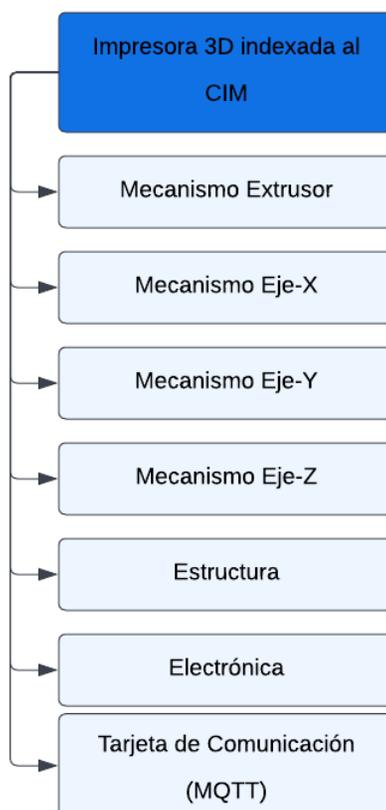
Implementación

Implementación de la Impresora 3D Indexada al CIM

Ya desarrollada la selección de componentes y los cálculos de diseño, se procede a la implementación de la máquina. En la Figura 51, se muestra las partes principales de la estación de manufactura integrada al CIM.

Figura 51

Elementos de la Impresora 3D



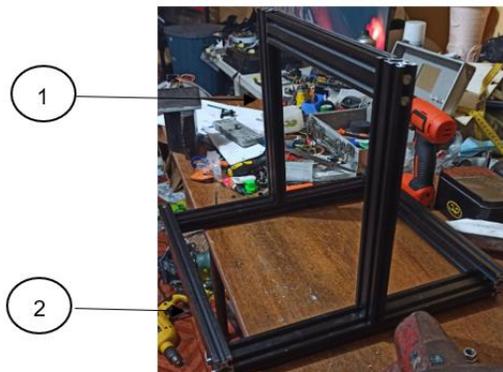
Nota. En la figura se puede observar los elementos para el desarrollo de la impresora 3D.

Implementación de la estructura mecánica

La estructura mecánica de la impresora 3D se encuentra formado por una base inferior y el marco. La función de la estructura es sostener a los mecanismos X, Y y Z. En la Figura 52, se observa el (1) Marco y la (2) Base inferior.

Figura 52

Montaje del Mecanismo Eje-Z



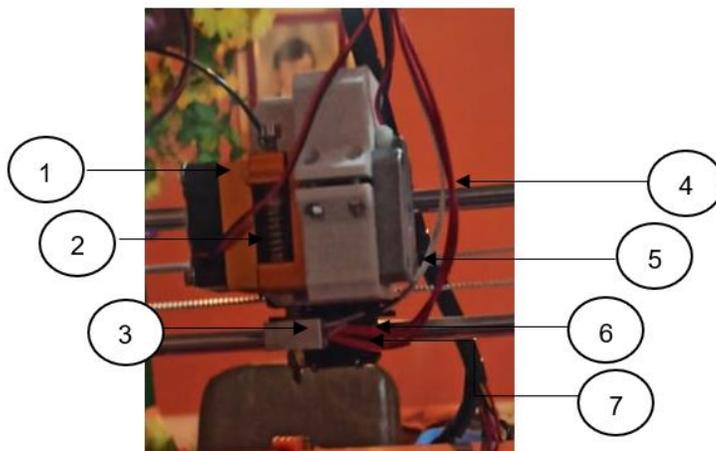
Nota. En la figura se puede observar la estructura de la impresora 3D.

Implementación del mecanismo Extrusor

El extrusor se encuentra sobre el eje del sistema X, el extrusor tiene la finalidad de desplazar el filamento hacia el hotend para ser extruido durante el momento de impresión de las piezas 3D. En la Figura 53, se observa los elementos de los que está compuesto: (1) Ventilador de calor, (2) Disipador de Calor, (3) Cabezal Extrusión, (4) Motor paso a paso Nema 17, (5) Soporte Extrusor, (6) Resistencia Térmica y (7) Termopar tipo NTC.

Figura 53

Montaje del Mecanismo Extrusor



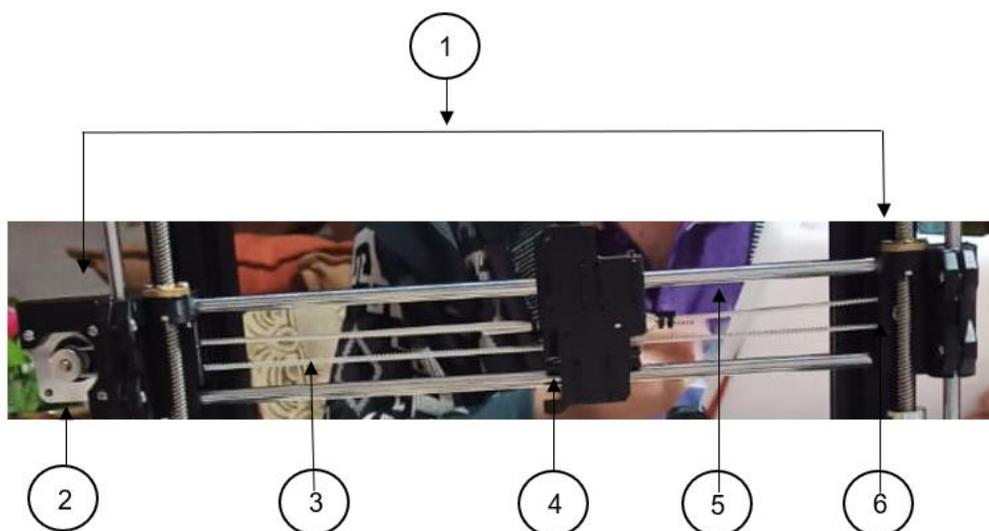
Nota. En la figura se puede observar los elementos del mecanismo Extrusor.

Implementación del Mecanismo Eje-X

El sistema del eje X consta de dos ejes paralelos de 8mm de ancho, el extrusor va ensamblado por medio de 3 rodamientos lineales, el extrusor se desplazará de manera horizontal haciendo uso de un sistema de piñón-correa. El piñón-correa está fijado en los soportes del eje X, en un soporte lateral ira acoplado el actuador. En la Figura 54, se observa los elementos de los que está compuesto el mecanismo del eje X :(1) Soportes Laterales, (2) Motor paso a paso Nema 17, (3) Correa, (4) Rodamiento Lineal, (5) Ejes X y (6) Piñón Gt2 20t.

Figura 54

Montaje del Mecanismo Eje-X



Nota. En la figura se puede observar los elementos del mecanismo del eje X.

Implementación del Mecanismo Eje-Y

Este sistema está compuesto de dos ejes paralelos, los cuales van montados sobre la base de la estructura de la impresora 3D. El eje Y tiene la finalidad de desplazar la cama magnética para la extracción del fleje magnético. En la Figura 55, se observa los elementos de los que está compuesto el mecanismo del eje Y :(1) Soportes impresos en 3D, (2) Motor paso a paso Nema 17, (3) Ejes Y, (4) Rodamiento Lineal, (5) Correa, (6) Piñón Gt2 20t y (7) Base de deposición.

Figura 55*Montaje del Mecanismo Eje-Y*

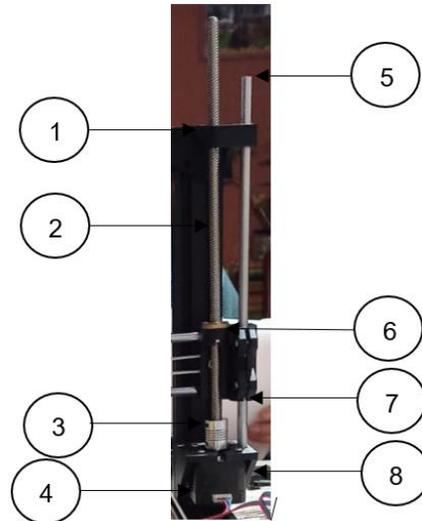
Nota. En la figura se puede observar los elementos del mecanismo del eje Y.

Implementación del Mecanismo Eje-Z

El sistema del eje Z está compuesto de dos ejes lisos y dos tornillos de potencia, el extremo inferior del tornillo de potencia está unido al motor mediante un acople flexible que está sujeto al marco, el eje Z permite realizar el movimiento vertical hacia la base de cama. En la Figura 56 ,se observa los elementos de los que está compuesto el mecanismo del eje Z :(1) Soporte de Ejes (Superior), (2) Tornillo de Potencia, (3) Acople Flexible, (4) Motor Nema 17, (5) Varilla Lisa, (6) Tuerca de tornillo de potencia, (7) Rodamiento Lineal y (8) Soporte de Ejes Inferior.

Figura 56

Montaje del Mecanismo Eje-Z



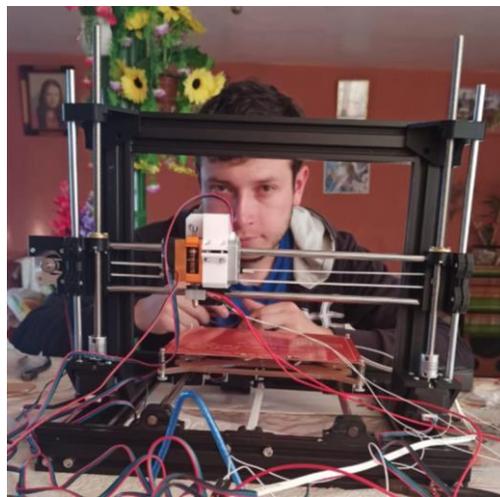
Nota. En la figura se puede observar los elementos del mecanismo del eje Z.

Implementación de mecanismos en la estructura

En la Figura 57, se observa la integración de todos los mecanismos en la estructura de la impresora 3D, nivelando, atornillando e integrando los sistemas (X, Y, Z) y extrusor.

Figura 57

Implementación de Mecanismos en la estructura de la impresora 3D



Nota. En la figura se puede observar la implementación de los mecanismos X, Y, Z y extrusor.

Implementación de los sistemas de electrónicos

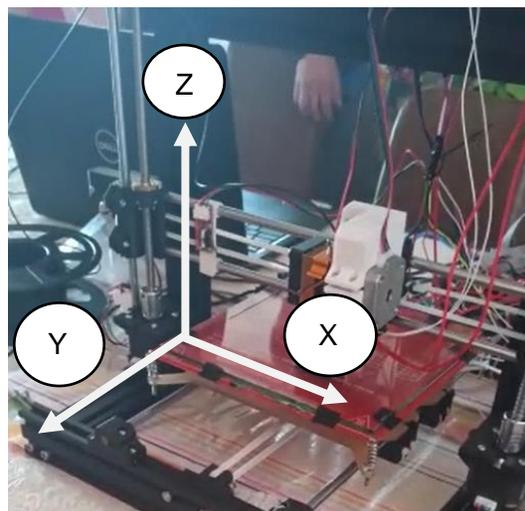
Una de las partes importantes en la implementación de la impresora 3D, son sus elementos electrónicos los cuales son los que controlan los sistemas mecánicos(X,Y,Z y extrusor), y variables como temperatura y velocidad.

Implementación de los finales de carrera

Mediante el uso de los finales de carrera se coloca el punto de referencia Home (0,0,0) de la impresora 3D, esto con el fin de la extracción del fleje magnético ya que se da la posición inicial del extrusor Home(0,0,0), los mecanismos X, Y, y Z envían un pulso a la tarjeta de control, para que estos se detengan cuando lleguen a la posición Home (0,0,0).

Figura 58

Implementación de los finales de carrera



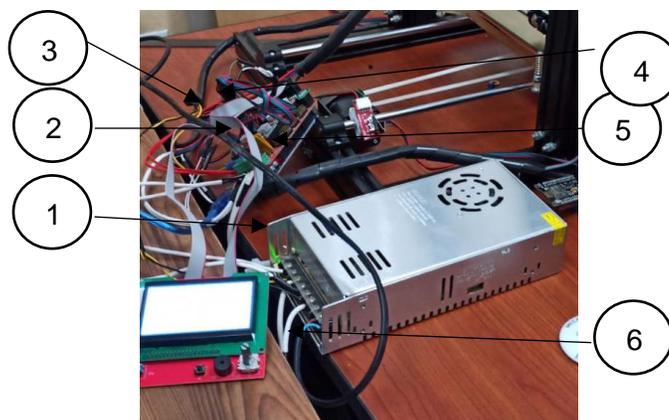
Nota. En la figura se puede observar la implementación de los finales de carrera.

Implementación de la conexión a la tarjeta controladora

En la Figura 59 se puede observar la implementación de la electrónica ubicado en la parte trasera de la máquina. En la cual se puede observar: (1) Fuente de alimentación a 110V, (2) Arduino Mega 2560 R3, (3) RAMPS 1.4, (4) Drives A4988, (5) Termistores del bloque y (6) pantalla LCD 12864.

Figura 59

Implementación de la conexión a la tarjeta controladora



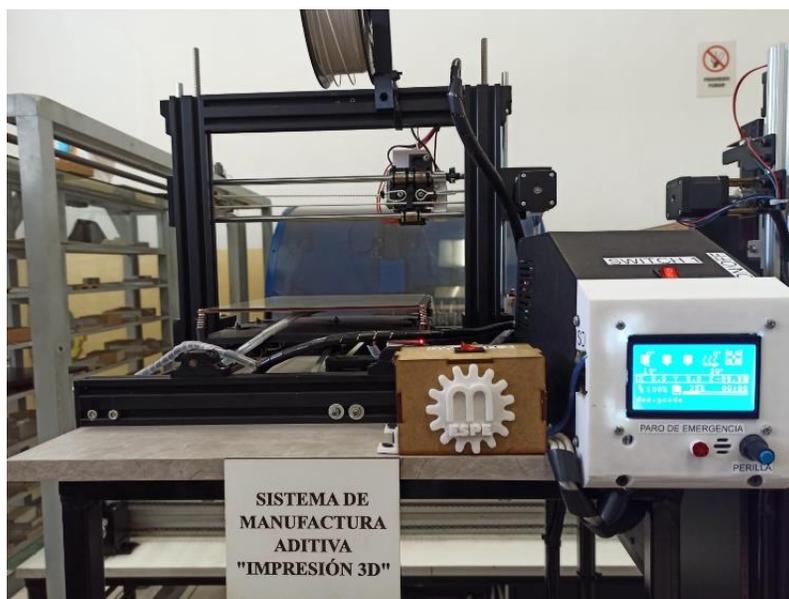
Nota. En la figura se puede observar la implementación de la conexión a la tarjeta controladora.

Montaje final de la máquina

En la Figura 60 se observa la impresora 3D totalmente ensamblada. En la parte superior se coloca: (1) soporte para el filamento con el fin de que el extrusor haga menos esfuerzo, (2) se coloca una caja para la parte electrónica.

Figura 60

Montaje Final de la máquina



Nota. En la figura se puede observar el montaje final de la máquina.

Implementación de la comunicación

Para la comunicación de la estación de impresión 3D se usa un firmware de código abierto en el cual se modificará ciertos parámetros en el código a fin de sacar los datos, para la comunicación mediante MQTT. La ESP8266 por comunicación serial es activar las ordenes enviadas por MQTT.

En el código se añade nuevas líneas de código en este caso en el archivo de Marlin_main.cpp. En la Figura 61 , se observa que se añade el namePrint=0 (nombre de la impresión), numPrint=0 (número de impresiones), numFinish=0 (detecta si termino el número de veces) y static char *strchr_name (detecta el nombre del archivo).

Figura 61

Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp

```
int namePrint=0;
int numPrint=0;
int numFinish;
static char *strchr_name;
```

Nota. En la figura se puede observar la colocación de parámetros.

En la Figura 62, con la función if se guardará el nombre del archivo con el cual se dese imprimir en este caso se abrirá el archivo en base a la selección indicada.

Figura 62

Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp

```
if(namePrint == 1)
{
    strchr_name = "uno~1.gco";
}
if(namePrint == 2)
{
    strchr_name = "dos~1.gco";
}
if(namePrint == 3)
{
    strchr_name = "tres~1.gco";
}
```

Nota. En la figura se puede observar la función if.

En la Figura 63 , se puede observar cómo en base a la función while leerá lo que se envié por el puerto serial.

Figura 63

Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp

```
while( MYSERIAL.available() > 0  && buflen < BUFSIZE) {
  serial_char = MYSERIAL.read();
  if(serial_char == '\n' ||
    serial_char == '\r' ||
    (serial_char == ':' && comment_mode == false) ||
    serial_count >= (MAX_CMD_SIZE - 1) )
  {
```

Nota. En la figura se puede observar la función while.

En la Figura 64 , se puede observar cómo se enviar el nombre del archivo y el número de veces en este caso. Inicio de trama (1), Nombre del archivo (3) y número de impresiones (2).

Figura 64

Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp

```
if(serial_char == ';') comment_mode = true;
if(!comment_mode) cmdbuffer[bufindw][serial_count++] = serial_char;//132
```

Nota. En la figura se puede observar cómo se enviará el nombre del archivo en este caso 132.

Después de ello aquí imprime el dato enviado por el MQTT. En la Figura 65 , se puede observar el dato enviado por el MQTT en print_object ().

Figura 65

Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp

```
namePrint = Decena;
numPrint  = Unidad;
print_object();
```

Nota. En la figura se puede observar cómo es el dato enviado por MQTT en print_object ().

Una vez que termina de imprimir si el número de variable no llega el número de veces que le pedimos en este caso (numFinish++) sigue en el bucle hasta terminar, una vez que haya

terminado envía 222 y llega al MQTT para la recepción de datos del ordenador principal. En la Figura 66 , se puede observar el código mencionado.

Figura 66

Añadiendo parámetros a Marlin_main.cpp

```

SERIAL_PROTOCOLPGM("Finish"); ///////////
SERIAL_PROTOCOLPGM("_____");
SERIAL_PROTOCOLLN("");
numFinish++;

if (numFinish < numPrint)
{
  print_object();
}
if (numFinish == numPrint)
{
  SERIAL_PROTOCOLPGM("Num "); ///////////
  SERIAL_PROTOCOL(numFinish);
  SERIAL_PROTOCOLPGM(" Finish");
  SERIAL_PROTOCOLPGM("!!!!!!!!!!!!_");
  SERIAL_PROTOCOLLN("");

  SERIAL_PROTOCOLPGM("222");
  SERIAL_PROTOCOLLN("");

  numFinish=0;
}
}

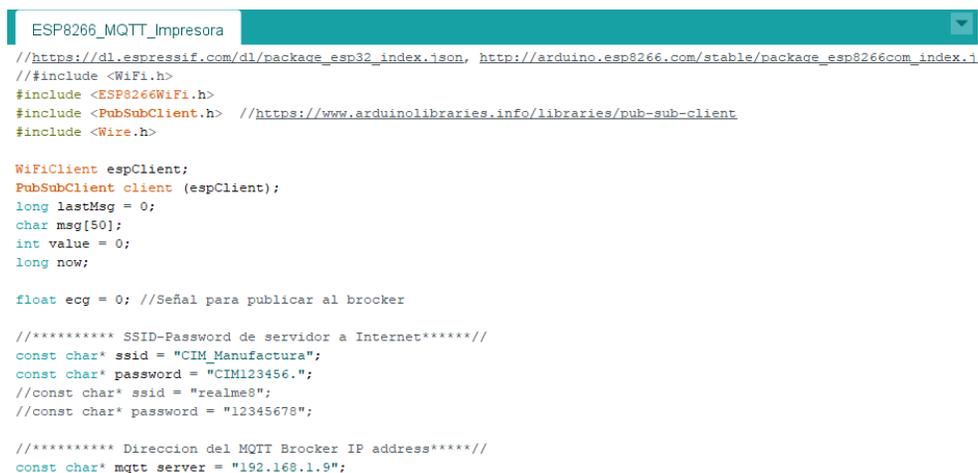
```

Nota. En la figura se puede observar el SERIAL_PROTOCOLPGM("Finish").

En la Figura 67 , se puede observar los datos para la comunicación con la computadora central en este caso el const char* ssid, const char* password y mqtt_server para iniciar la conexión a internet.

Figura 67

ESP8266



```

ESP8266_MQTT_Impresora
//https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json, http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.1
//#include <WiFi.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h> //https://www.arduino-libraries.info/libraries/pub-sub-client
#include <Wire.h>

WiFiClient espClient;
PubSubClient client (espClient);
long lastMsg = 0;
char msg[50];
int value = 0;
long now;

float ecg = 0; //Señal para publicar al brocker

//***** SSID-Password de servidor a Internet*****//
const char* ssid = "CIM_Manufactura";
const char* password = "CIM123456.";
//const char* ssid = "realme8";
//const char* password = "12345678";

//***** Direccion del MQTT Brocker IP address*****//
const char* mqtt_server = "192.168.1.9";

```

Nota. En la figura se puede observar la configuración para la tarjeta ESP8266.

En la Figura 68, se observa los tópicos `client.subscribe` es el que lee donde va a ir el número de veces y para enviar es el `client.publish` el cual sería el tópico de publicación hacia la computadora principal.

Figura 68

Tópicos

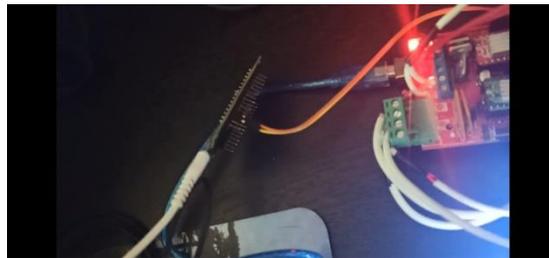
```
client.subscribe("ImpresoraEnvio");  
  
client.publish("ImpresoraRecibo", (char*)payload.c_str());
```

Nota. En la figura se puede observar los tópicos de envío y recepción de datos.

Para comunicarse el Arduino con la ESP8266 debe ser la comunicación bilateral por lo tanto se debe conectar el Rx con el Tx. En la Figura 69 se puede observar la conexión del Arduino Mega y la ESP8266.

Figura 69

Conexión de ESP8266



Nota. En la figura se puede observar la conexión en Rx y Tx.

Capítulo IV

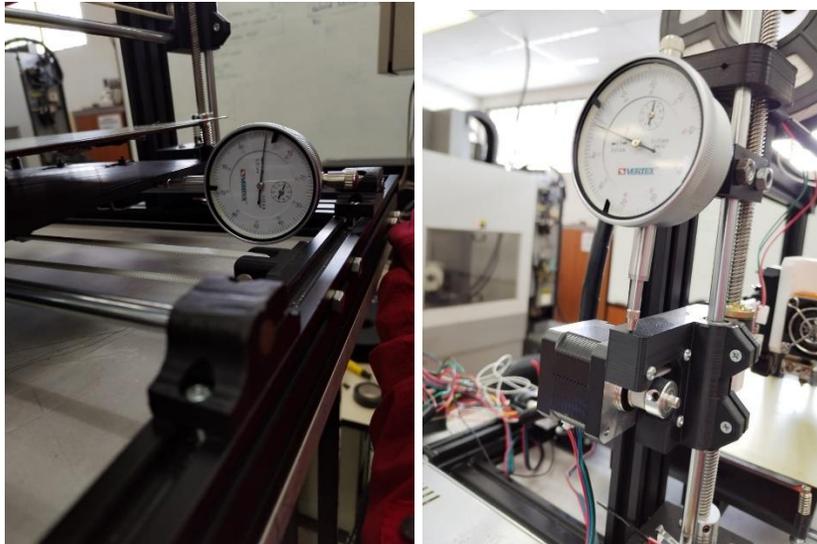
Pruebas y análisis de Resultados

Pruebas de repetibilidad de la Impresora 3D

Se procede a realizar el análisis del funcionamiento del sistema mecánico utilizando la norma ISO 9283 para estructuras robóticas, la cual menciona que para la repetibilidad debe medirse en 5 configuraciones diferentes 30 muestras, la norma ISO 10360 – 2, establece pruebas para máquinas de medición por coordenadas cartesianas CMM ,esta indica que para los ensayos de repetibilidad se utilice un sistema de palpado (reloj palpador) para la toma de medidas. En la Figura 70 ,se puede observar las medidas de las 5 configuraciones diferentes 30 veces mediante el uso del palpador con respecto a las coordenadas del eje X,Y y Z.

Figura 70

Medidas con palpador



Nota. En la figura se puede observar las medidas con el palpador.

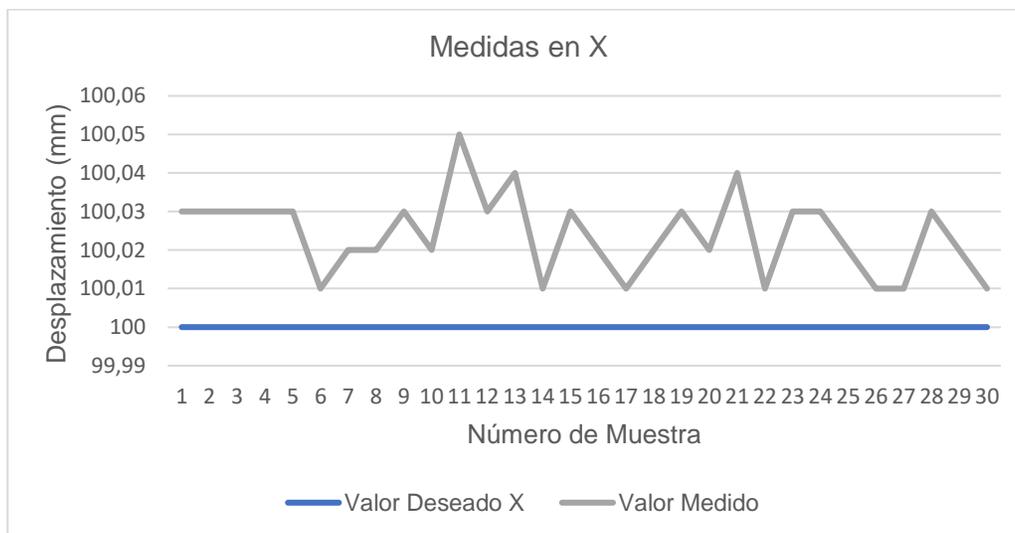
Por ello se tomó una posición en el eje X, una en el eje Y, una en el eje Z ,y dos pruebas interpoladas en el eje X,Y y Z.

En la primera prueba se tomó el punto $P = (X, Y, Z) = (100, 0, 0)$. En la Tabla 44 del Anexo 2, se muestran los datos de los valores deseados, valor del palpador, valores medidos, desviación estándar, error relativo y error absoluto obtenido en cada medida.

En la Figura 71, se puede observar el comportamiento de la estación 3D con respecto a las 30 muestras tomadas en el eje X.

Figura 71

Comportamiento de los valores de la estación 3D eje X



Nota. En la figura se puede observar el comportamiento de los valores medidos con respecto a la primera posición en el eje X.

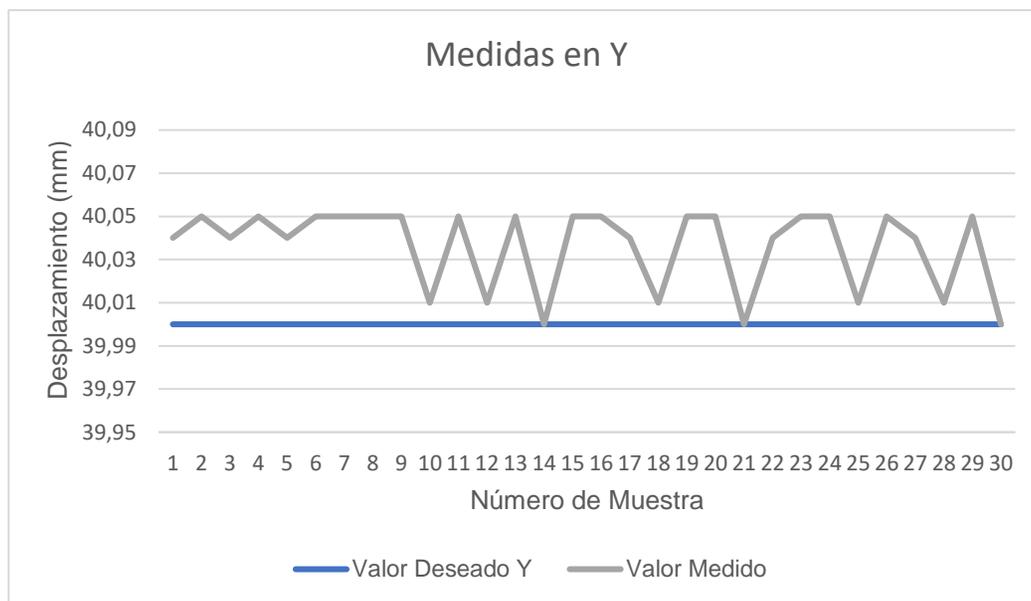
En la Figura 71, se observa el comportamiento de las gráficas las cuales indican que los valores medidos se aproximan a los de valores deseados en repetidas ocasiones, por ello se verifica que la máquina posee una muy buena repetibilidad con respecto al desplazamiento en el eje X, por lo que se notó que existe muy poca variación con respecto a la medida, teniendo un error máximo de 0.05 mm de las muestras tomadas.

En la segunda prueba se tomó el punto $P = (X, Y, Z) = (0, 40, 0)$. En la Tabla 45 del Anexo 3, se muestran los datos de los valores deseados, valor del palpador, valores medidos, desviación estándar, error relativo y error absoluto obtenido en cada medida.

En la Figura 72 ,se puede observar el comportamiento de la estación 3D con respecto a las 30 muestras tomadas en el eje Y.

Figura 72

Comportamiento de los valores de la estación 3D eje Y



Nota. En la figura se puede observar el comportamiento de los valores medidos con respecto a la segunda posición en el eje Y.

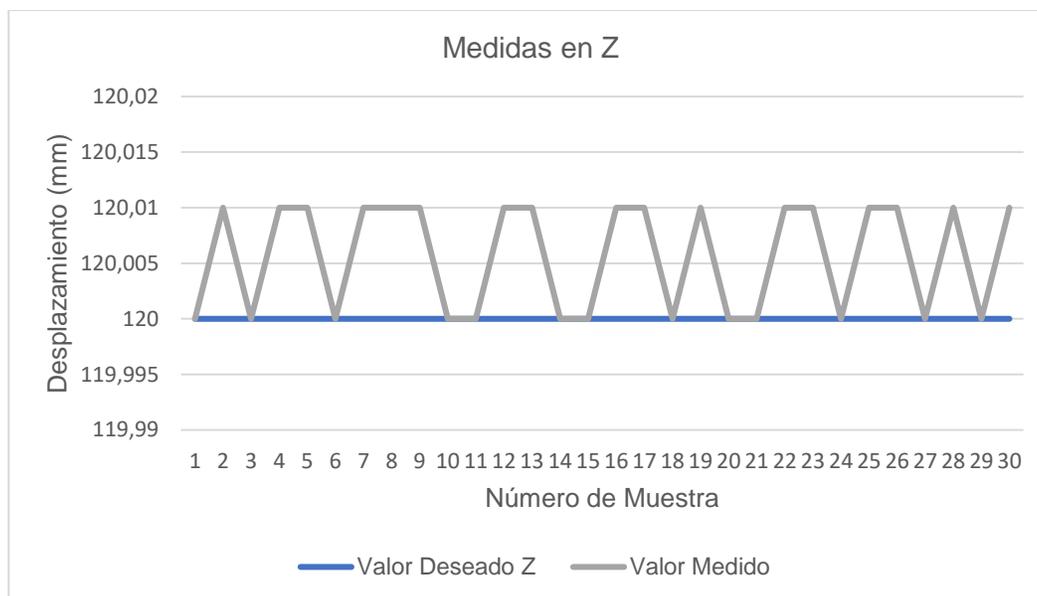
En la Figura 72 ,se observa el comportamiento de las gráficas las cuales indican que los valores medidos se aproximan a los de valores deseados en repetidas ocasiones, por ello se verifica que la máquina posee una muy buena repetibilidad con respecto al desplazamiento en el eje Y, por lo que se notó que existe muy poca variación con respecto a la medida, teniendo un error máximo de 0.05 mm de las muestras tomadas.

En la tercera prueba se tomó el punto $P = (X, Y, Z) = (0, 0, 120)$. En la Tabla 46 del Anexo 4, se muestran los datos de los valores deseados, valor del palpador, valores medidos, desviación estándar, error relativo y error absoluto obtenido en cada medida.

En la Figura 73 ,se puede observar el comportamiento de la estación 3D con respecto a las 30 muestras tomadas en el eje Z.

Figura 73

Comportamiento de los valores de la estación 3D eje Z



Nota. En la figura se puede observar el comportamiento de los valores medidos con respecto a la tercera posición en el eje Z.

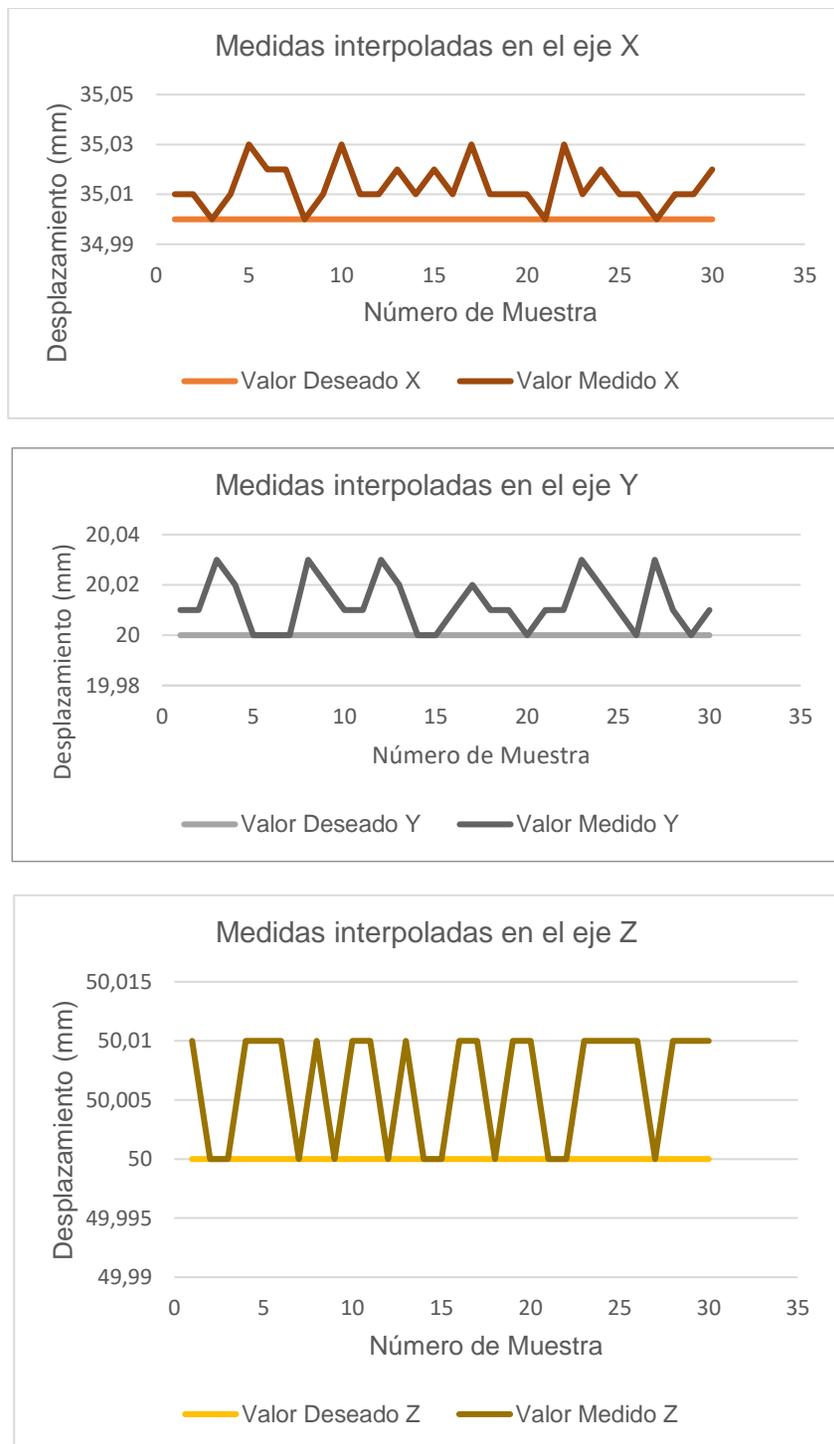
En la Figura 73 ,se observa el comportamiento de las gráficas las cuales indican que los valores medidos se aproximan a los de valores deseados en repetidas ocasiones, por ello se verifica que la máquina posee una muy buena repetibilidad con respecto al desplazamiento en el eje Z, por lo que se notó que existe muy poca variación con respecto a la medida, teniendo un error máximo de 0.01 mm de las muestras tomadas.

En la cuarta prueba se tomó el punto $P = (X,Y,Z) = (35,20,50)$ para ver cómo se comporta la estación 3D frente a movimientos interpolados. En la Tabla 47 del Anexo 5, se muestran los datos de los valores deseados, valor del palpador, valores medidos, desviación estándar, error relativo, y error absoluto obtenido en cada medida con respecto al eje X,Y y Z.

En la Figura 74 ,se puede observar el comportamiento de la estación 3D con respecto a las 30 muestras tomadas en el eje X,Y y Z.

Figura 74

Comportamiento de los valores de la estación 3D eje X-Y-Z



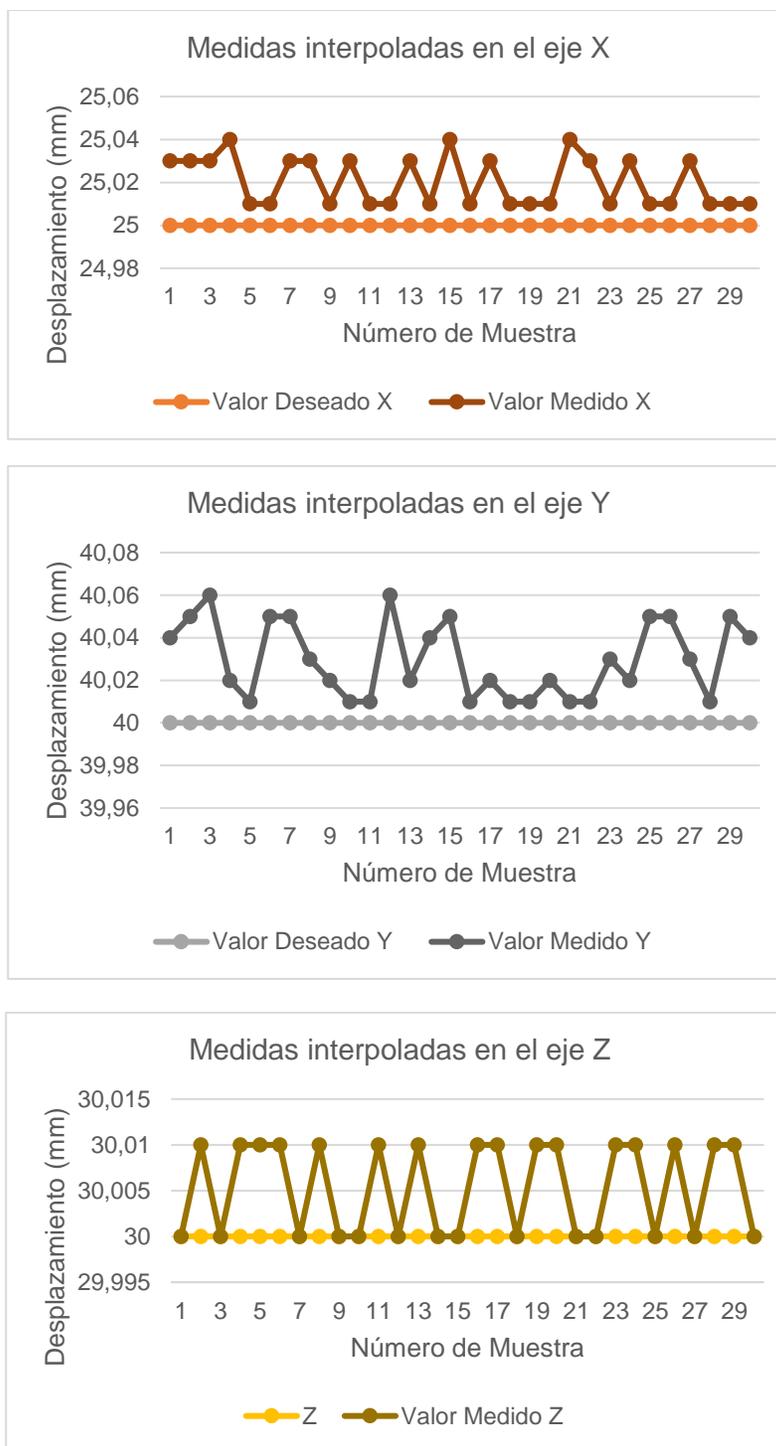
Nota. En la figura se puede observar el comportamiento de los valores medidos con respecto a la cuarta posición en el eje X,Y y Z.

En la Figura 74 ,se observa el comportamiento de las gráficas las cuales indican que los valores medidos se aproximan a los de valores deseados en repetidas ocasiones, por ello se verifica que la máquina posee una muy buena repetibilidad con respecto al desplazamiento en el eje X,Y y Z, por lo que se notó que existe muy poca variación con respecto a la medida, teniendo un error máximo en el eje X es de 0.03 mm, el en el eje Y es de 0.03 mm y en el eje Z es de 0.01 mm .Se notó que en un movimiento interpolado los ejes generan una mínima variación siendo el eje Z el más exacto al valor deseado y el eje X y Y con el grado de error igual.

En la quinta prueba se tomó el punto $P = (X,Y,Z) = (25,40,30)$ para ver cómo se comporta la estación 3D frente a movimientos interpolados. En la Tabla 48 del Anexo 6 , se muestran los datos de los valores deseados, valor del palpador, valores medidos, desviación estándar, error relativo, y error absoluto obtenido en cada medida con respecto al eje X,Y y Z. En la Figura 75,se puede observar el comportamiento de la estación 3D con respecto a las 30 muestras tomadas en el eje X,Y y Z, tanto desviación estándar, error relativo, y error absoluto.

Figura 75

Comportamiento de los valores de la estación 3D eje X-Y-Z



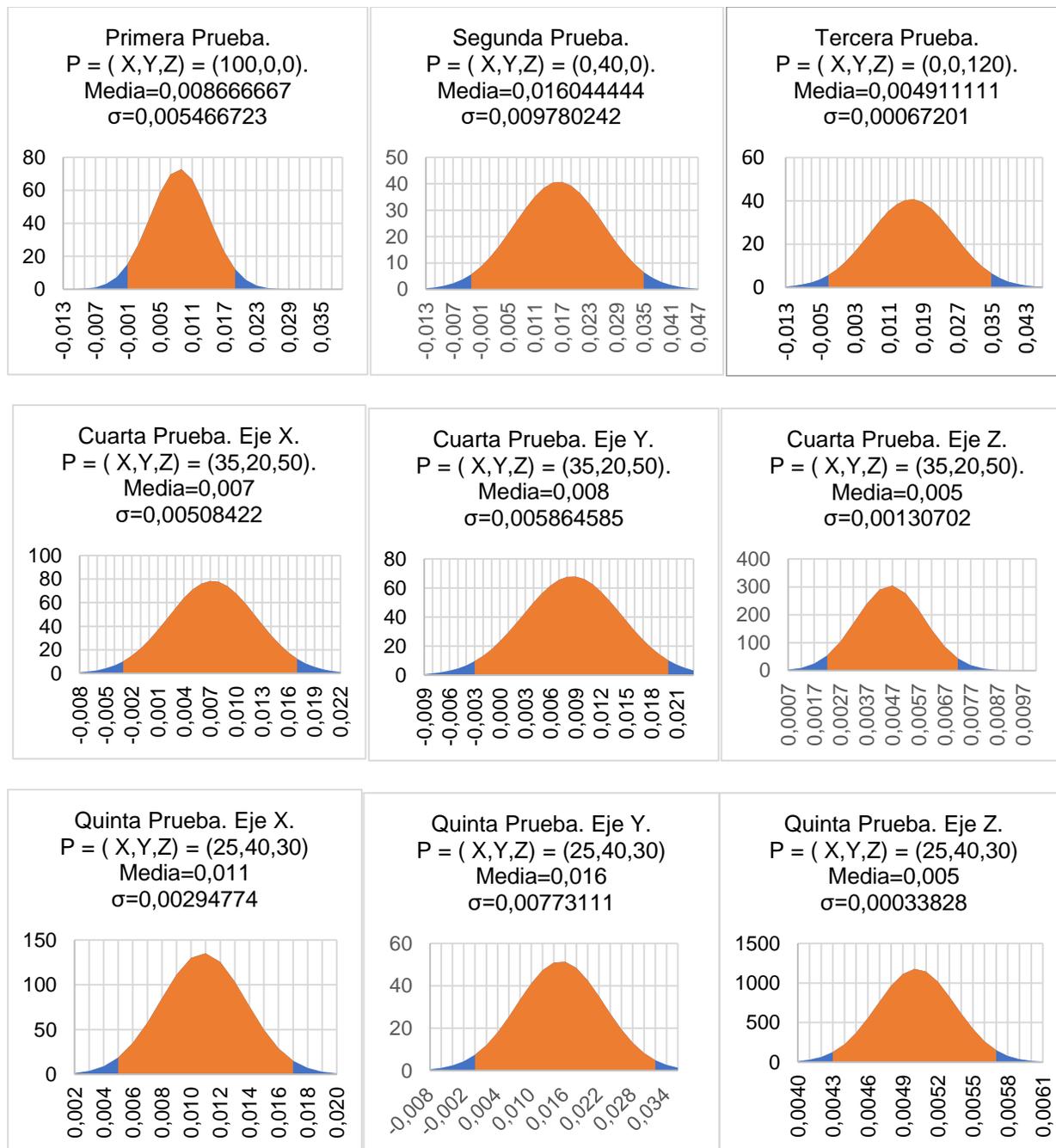
Nota. En la figura se puede observar el comportamiento de los valores medidos con respecto a la quinta posición en el eje X, Y y Z.

En la Figura 75, se observa el comportamiento de las gráficas las cuales indican que los valores medidos se aproximan a los de valores deseados en repetidas ocasiones, por ello se verifica que la máquina posee una muy buena repetibilidad con respecto al desplazamiento en el eje X,Y y Z, por lo que se notó que existe muy poca variación con respecto a la medida, teniendo un error máximo en el eje X es de 0.04 mm, el en el eje Y es de 0.06 mm y en el eje Z es de 0.01 mm .Se notó que en un movimiento interpolado los ejes generan una mínima variación siendo el eje Z el más exacto al valor deseado y el eje X y Y con un pequeño grado de variación con respecto a sus valores deseados.

Para un mayor interpretación de los datos se realizó un análisis estadístico donde se calculó la desviación estándar que se ve reflejada gráficamente en la campana de Gauss de las muestras tomadas de todos los ejes ya antes mencionados. Como se puede observar en la Figura 76.

Figura 76

Distribución de valores de las pruebas realizadas



Nota. En la figura se puede observar las campanas de Gauss de todas las pruebas realizadas.

En la Figura 76, se muestra gráficamente que con el 95 % de los datos tomados en cada prueba se obtienen los siguientes valores: para el eje X en el primer punto medido obtenemos una desviación baja de 0,005466723 que nos indica que los valores se encuentran muy cerca de la media del error que es de 0,008666667, para el eje Y en el segundo punto medido obtenemos una desviación baja de 0,009780242 que nos indica que los valores se encuentran muy cerca de la media del error que es de 0,016044444, para el eje Z en el tercer punto medido obtenemos una desviación baja de 0,00067201 que nos indica que los valores se encuentran muy cerca de la media del error que es de 0,004911111.

Para la cuarta y quinta prueba se tomaron puntos interpolados obteniendo los siguientes resultados: para el eje X en el cuarto punto medido obtenemos una desviación baja de 0,00508422 que nos indica que los valores se encuentran muy cerca de la media del error que es de 0,007, para el eje Y en el cuarto punto medido obtenemos una desviación baja de 0,005864585 que nos indica que los valores se encuentran muy cerca de la media del error que es de 0,008, para el eje Z en el cuarto punto medido obtenemos una desviación baja de 0,00130702 que nos indica que los valores se encuentran muy cerca de la media del error que es de 0,005. Para el eje X en el quinto punto medido obtenemos una desviación baja de 0,00294774 que nos indica que los valores se encuentran muy cerca de la media del error que es de 0,011, para el eje Y en el quinto punto medido obtenemos una desviación baja de 0,00773111 que nos indica que los valores se encuentran muy cerca de la media del error que es de 0,016, para el eje Z en el quinto punto medido obtenemos una desviación baja de 0,00033828 que nos indica que los valores se encuentran muy cerca de la media del error que es de 0,005.

Una vez concluido con las pruebas de repetibilidad y mediante los datos obtenidos se puede denotar que el eje que más variación tiene es el eje Y, aun así, el error es mínimo en todas las pruebas realizadas, y el eje más preciso es el eje Z con un error casi imperceptible

por lo que se puede denominar que la estación de manufactura aditiva en general es una máquina exacta y precisa.

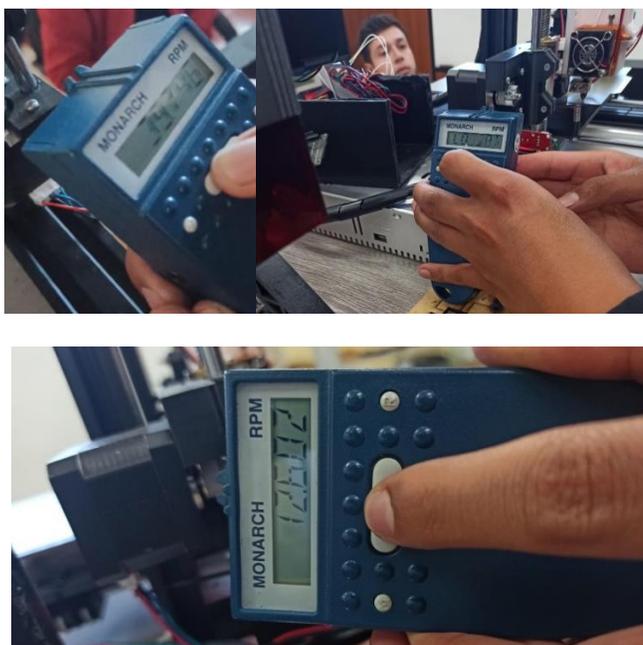
Analizando estos datos y dada la construcción de la impresora se puede deducir que la razón por la que los ejes X y Y tienen más error que el eje Z es por su sistema de transmisión por correas ya que existe un pequeño juego entre los dientes, pero a la vez evita que exista mayor peso en los ejes, por otro lado, el eje Z tiene una mayor precisión por ser construido con tornillos de avance y poseer dos motores en su eje que lo hace más exacto al transmitir movimiento.

Pruebas de velocidad

Para desplazarse de un punto a otro se debe programar una velocidad de avance, por lo que se debe realizar pruebas de velocidad para observar el funcionamiento y comprobar si las velocidades programadas concuerdan con las medidas para ello hacemos uso de una herramienta de medida en este caso un tacómetro como se puede observar en la Figura 77.

Figura 77

Medidas con tacómetro



Nota. En la figura se puede observar las medidas con el tacómetro.

Para el eje X se tomaron 5 datos y se comparó el valor real y el medido con el tacómetro, los errores se los puede observar en la Tabla 16.

Tabla 16

Valores obtenidos para el eje X

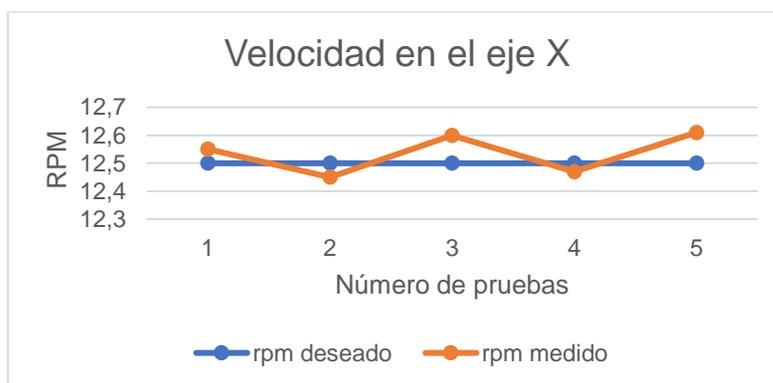
N°	avance(mm/min)	rpm deseado	rpm medido	error absoluto	error relativo
1	500	12,5	12,55	0,05	0,40%
2	500	12,5	12,45	0,05	0,40%
3	500	12,5	12,6	0,1	0,80%
4	500	12,5	12,47	0,03	0,24%
5	500	12,5	12,61	0,11	0,88%
Promedio					0.54%

Nota. En la tabla se muestran las mediciones reales, mediciones medidas y los errores obtenidos.

En la Figura 78 ,se puede observar de manera gráfica las variaciones que existen de las velocidades medidas frente a la velocidad programada , en las diferentes pruebas que se realizó para el eje X.

Figura 78

Comportamiento de los valores de velocidad de la estación 3D



Nota. En la figura se puede observar el comportamiento de los valores de la velocidad en el eje X.

Analizando los datos obtenidos se demuestra que el error más grande es de 0.16 esto significa que, al tener un error mínimo, el eje X se mueve de manera correcta y precisa en la velocidad programada.

Para el eje Y se tomaron 5 datos y se comparó el valor real y el medido con el tacómetro los errores se los puede observar en la Tabla 17.

Tabla 17

Valores obtenidos para el eje Y

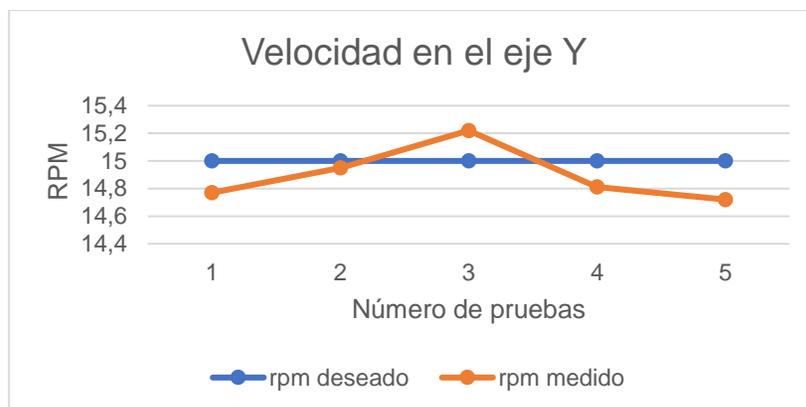
N°	avance(mm/min)	rpm deseado	rpm medido	error absoluto	error relativo
1	600	15	14,77	0,23	1,53%
2	600	15	14,95	0,05	0,33%
3	600	15	15,22	0,22	1,47%
4	600	15	14,81	0,19	1,27%
5	600	15	14,72	0,28	1,87%
Promedio					1.29%

Nota. En la tabla se muestran las mediciones reales, mediciones medidas y los errores obtenidos.

En la Figura 79, se puede observar de manera gráfica las variaciones que existen de las velocidades medidas frente a la velocidad programada , en las diferentes pruebas que se realizó para el eje Y.

Figura 79

Comportamiento de los valores de velocidad de la estación 3D



Nota. En la figura se puede observar el comportamiento de los valores de la velocidad en el eje Y.

Analizando los datos obtenidos se demuestra que el error más grande es de 0.5 esto significa que, al tener un error mínimo, el eje Y se mueve de manera correcta y precisa en la velocidad programada.

Para el eje Z se tomaron 5 datos y se comparó el valor real y el medido con el tacómetro los errores se los puede observar en la Tabla 18.

Tabla 18

Valores obtenidos en el eje Z

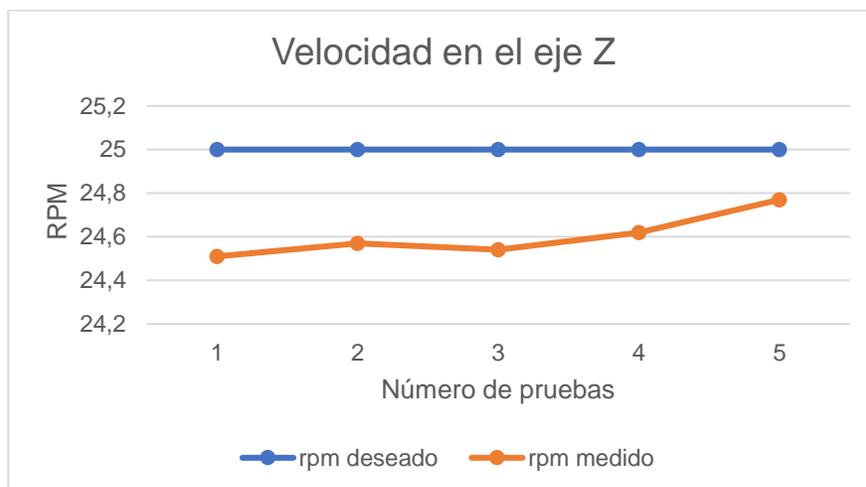
N°	avance(mm/min)	rpm deseado	rpm medido	error absoluto	error relativo
1	200	25	24,51	0,49	1,96%
2	200	25	24,57	0,43	1,72%
3	200	25	24,54	0,46	1,84%
4	200	25	24,62	0,38	1,52%
5	200	25	24,77	0,23	0,92%
Promedio					1.5%

Nota. En la tabla se muestran las mediciones reales, mediciones medidas y los errores obtenidos.

En la Figura 80 ,se puede observar de manera gráfica las variaciones que existen de las velocidades medidas frente a la velocidad programada , en las diferentes pruebas que se realizó para el eje Z.

Figura 80

Comportamiento de los valores de velocidad de la estación 3D



Nota. En la figura se puede observar el comportamiento de los valores de la velocidad en el eje Z.

Analizando los datos obtenidos se demuestra que el error más grande es de 0.49 esto significa que, al tener un error mínimo, el eje Z se mueve de manera correcta y precisa en la velocidad programada.

Luego de haber realizada las diferentes pruebas en cada uno de los ejes y comprobando de manera confiable, con el instrumento de medida “tacómetro” se puede evidenciar de manera general que la máquina, tiene un error promedio de los tres ejes de 1.11% con respecto a la velocidad programada.

Pruebas de impresión de la estación 3D

Se procede a realizar pruebas de impresión por lo que se realiza rectángulos, círculos y rombos, la impresión de nueve modelos de prueba permitirá tomar las dimensiones de los mismos. En la Figura 81 ,se observa los modelos impresos en 3D.

Figura 81

Modelos impresos en 3D

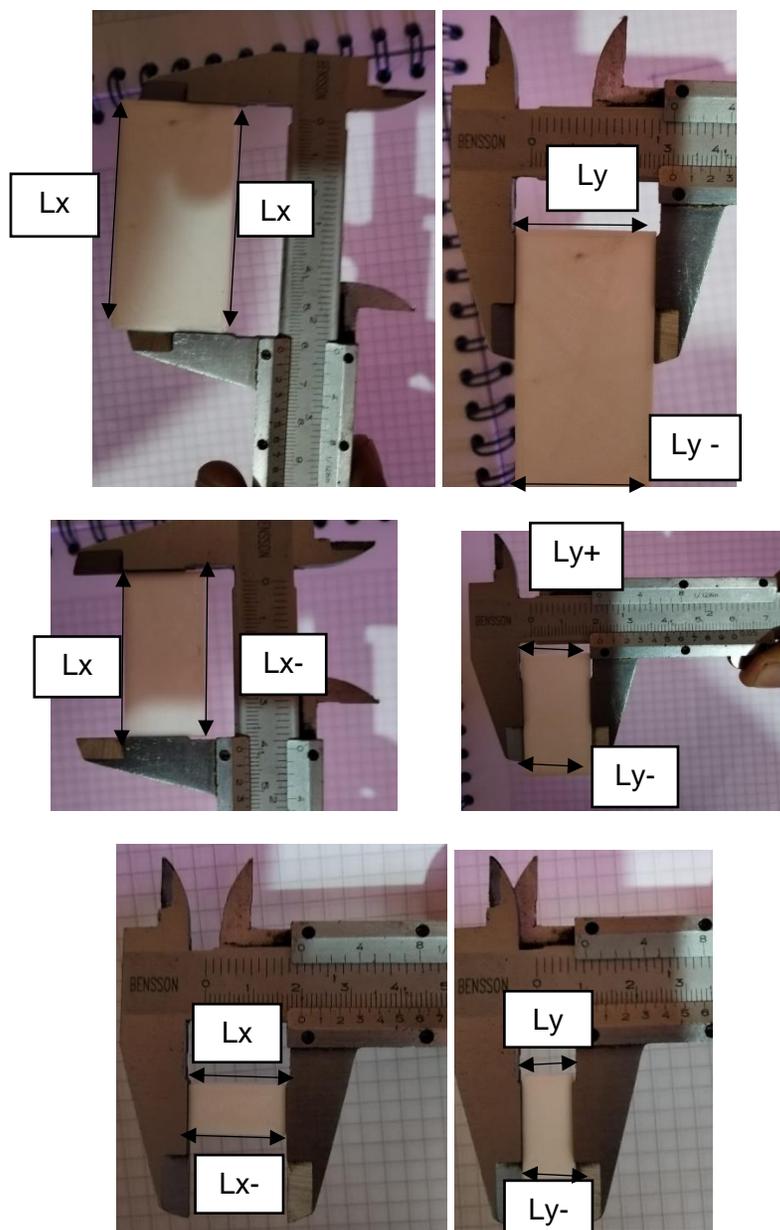


Nota. En la figura se puede observar los modelos de prueba de la impresora 3D.

En la Figura 82 ,se puede observar las dimensiones de las piezas (rectangulares) impresas en 3D.

Figura 82

Dimensiones de las piezas impresas en 3D rectángulos



Nota. En la figura se puede observar las dimensiones del rectángulo en este caso $Lx+$, $Lx-$, $Ly+$ y $Ly-$.

En la Tabla 19, se detalla las dimensiones de los tres modelos impresos en 3D (rectángulos) notando las condiciones de $Lx+$ y $Lx-$.

Tabla 19*Pruebas de impresión 3D del rectángulo eje X*

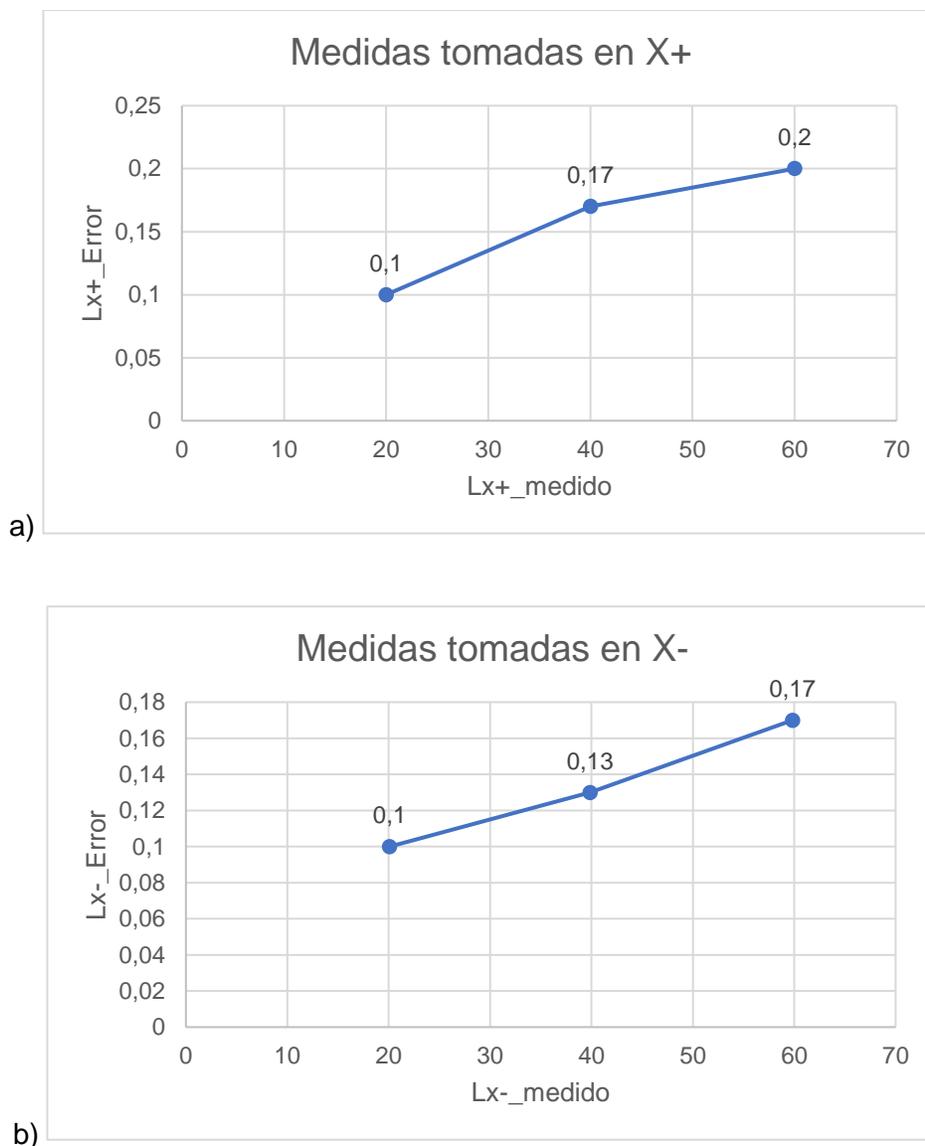
No. Muestras	Medidas del Diseño		Medidas Tomadas		Error	
	Lx+	Lx-	Lx+_medido	Lx-_medido	Lx+_Error	Lx-_Error
Rectángulo	Lx+	Lx-	Lx+_medido	Lx-_medido	Lx+_Error	Lx-_Error
Pieza 1	20	20	20,1	20,1	0,1	0,1
Pieza 2	40	40	39,83	39,87	0,17	0,13
Pieza 3	60	60	59,8	59,83	0,2	0,17

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(rectángulo) impresas en 3D.

Mediante el uso de la Tabla 19 se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lx+ y Lx- , las cuales vendrán en el valor de milímetros, en la Figura 83, se observa la aproximación de errores de las medidas tomadas con respecto a las medidas de diseño.

Figura 83

Medidas de Diseño vs Medidas obtenidas eje X



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 83, se notó que en el diagrama de dispersión los valores de error que existen para las diferentes longitudes del rectángulo en este caso Lx+_medido con respecto a Lx+_Error y Lx-_medido con respecto a Lx-_Error. Mediante el desarrollo de las pruebas se encuentra que el mayor error es de 0.2 mm en la longitud del plano X+ ,además se denota que

mientras mayor tamaño tiene la pieza va aumentando su error, este error es mínimo por lo cual la calidad de la impresión es precisa y versátil.

En la Tabla 20, se detalla los tres modelos impresos en 3D (rectángulos) notando las condiciones de Ly+ y Ly-.

Tabla 20

Pruebas de impresión 3D del rectángulo eje Y

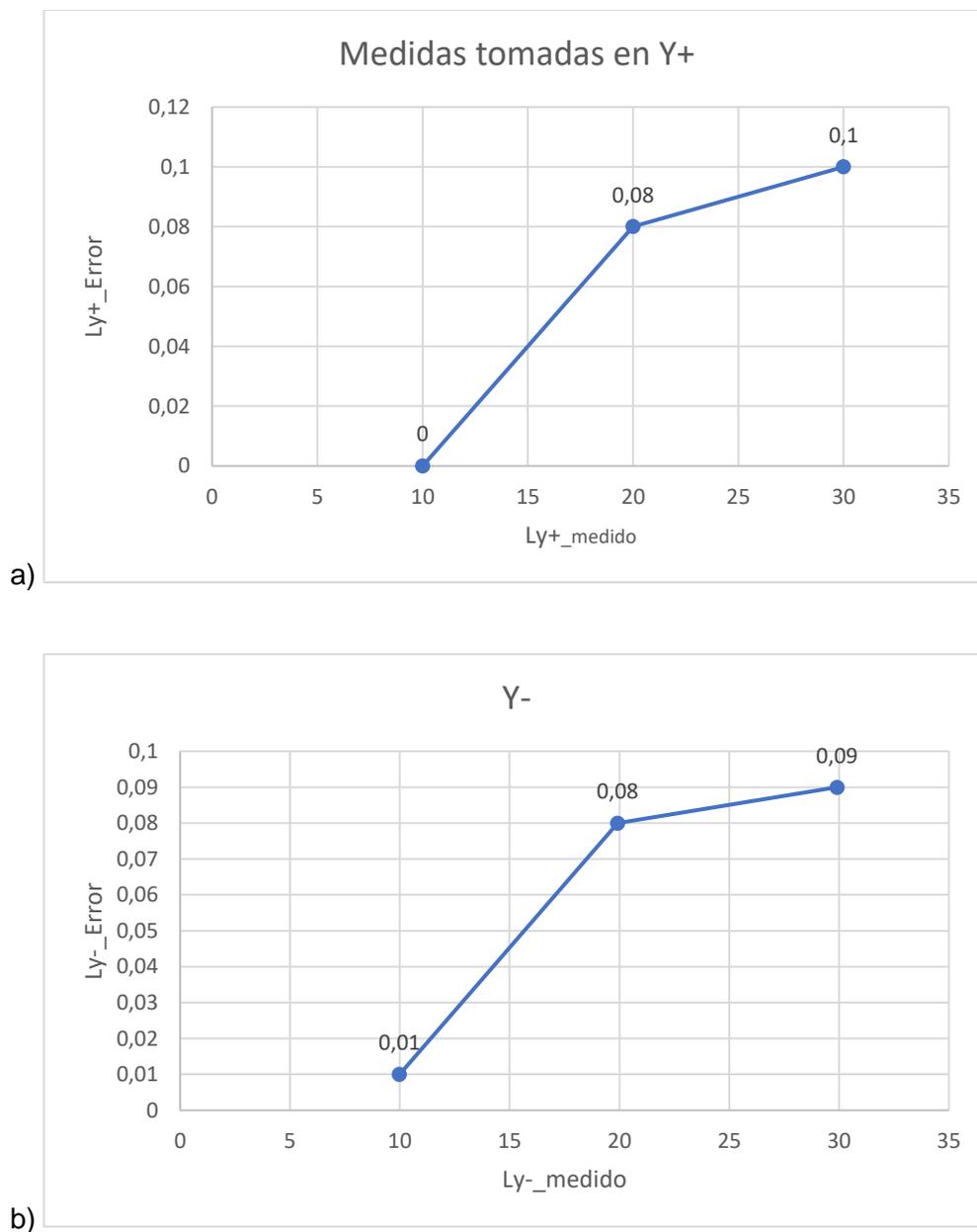
No. Muestras	Medidas del Diseño		Medidas Tomadas		Error	
	Ly+	Ly-	Ly+_medido	Ly-_medido	Ly+_Error	Ly-_Error
Rectángulo	Ly+	Ly-	Ly+_medido	Ly-_medido	Ly+_Error	Ly-_Error
Pieza 1	10	10	10	9,99	0	0,01
Pieza 2	20	20	19,92	19,92	0,08	0,08
Pieza 3	30	30	29,9	29,91	0,1	0,09

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(rectángulo) impresas en 3D.

Mediante el uso de la Tabla 20, se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Ly+ y Ly- , las cuales vendrán en el valor de milímetros , en la Figura 84 se observa la aproximación de errores de las medidas tomadas con respecto a las medidas de diseño.

Figura 84

Medidas de Diseño vs Medidas obtenidas eje Y



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 84 , se notó que en el diagrama de dispersión los valores de error que existen para las diferentes longitudes del rectángulo en este caso Ly+_medido con respecto a Ly+_Error y Ly-_medido con respecto a Ly-_Error. Mediante el desarrollo de las pruebas se encuentra que el mayor error es de 0.1 mm en la longitud del plano Y+ ,además se denota que

mientras mayor tamaño tiene la pieza va aumentando su error, este error es mínimo por lo cual la calidad de la impresión es precisa y versátil.

En la Tabla 21 , se detalla los tres modelos impresos en 3D (rectángulos) notando las condiciones de Lz.

Tabla 21

Pruebas de impresión 3D del rectángulo eje Z

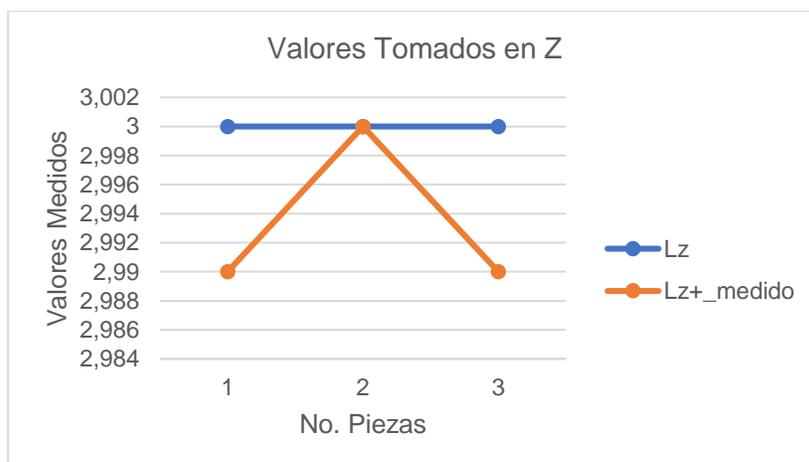
No. Muestras	Medidas del Diseño	Medidas Tomadas	Error
Rectángulos	Lz	Lz+_medido	Lz_Error
Pieza 1	3	2,99	0,01
Pieza 2	3	3	0
Pieza 3	3	2,99	0,01

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(rectángulo) impresas en 3D.

Mediante el uso de la Tabla 21, se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lz, las cuales vendrán en el valor de milímetros , en la Figura 85 se observa la aproximación de errores de las medidas tomadas con respecto a las medidas de diseño.

Figura 85

Medidas de Diseño vs Medidas obtenidas eje Z



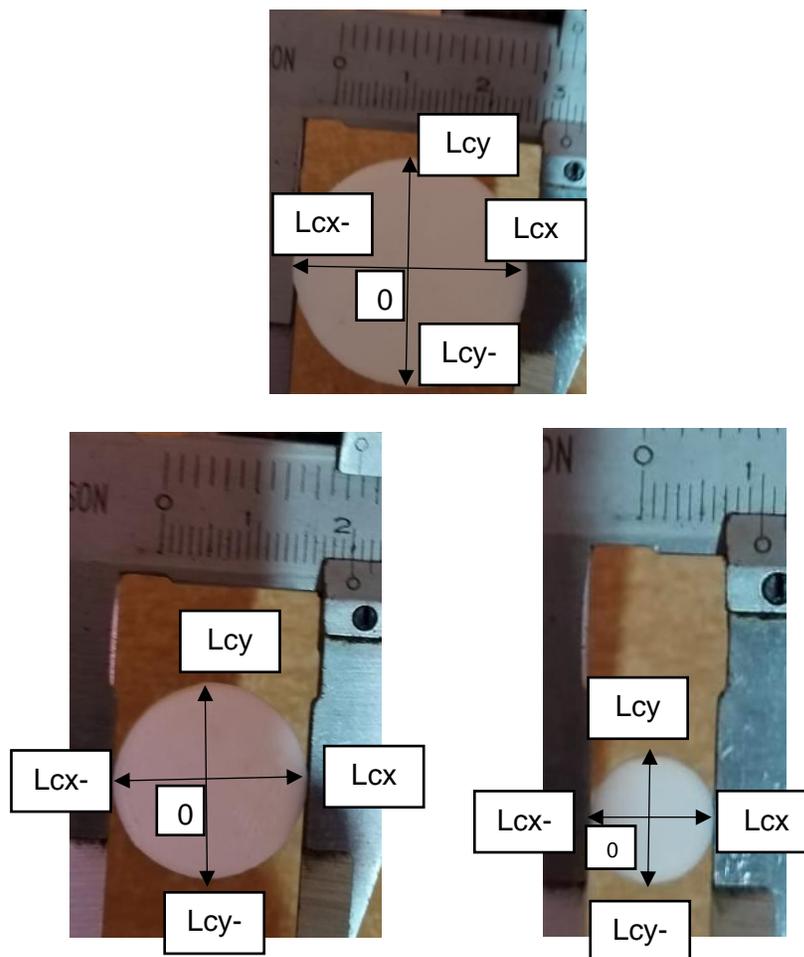
Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 85, se nota en el grafico la variación que existe en el eje Z de las diferentes figuras (rectángulos) en las cuales todas las piezas median 3mm de altura. Mediante el desarrollo de las pruebas se encuentra que el mayor error es de 0.01 mm en la longitud del plano Z+.

En la Figura 86 ,se puede observar las dimensiones de las tres piezas (circulares) impresas en 3D.

Figura 86

Dimensiones de las piezas impresas en 3D círculos



Nota. En la figura se puede observar las dimensiones de las piezas impresas en 3D.

En la Tabla 22 se detalla los tres modelos impresos en 3D (círculos) notando las condiciones de longitud Lcx+ y Lcy+.

Tabla 22

Pruebas de impresión 3D del círculo primer cuadrante

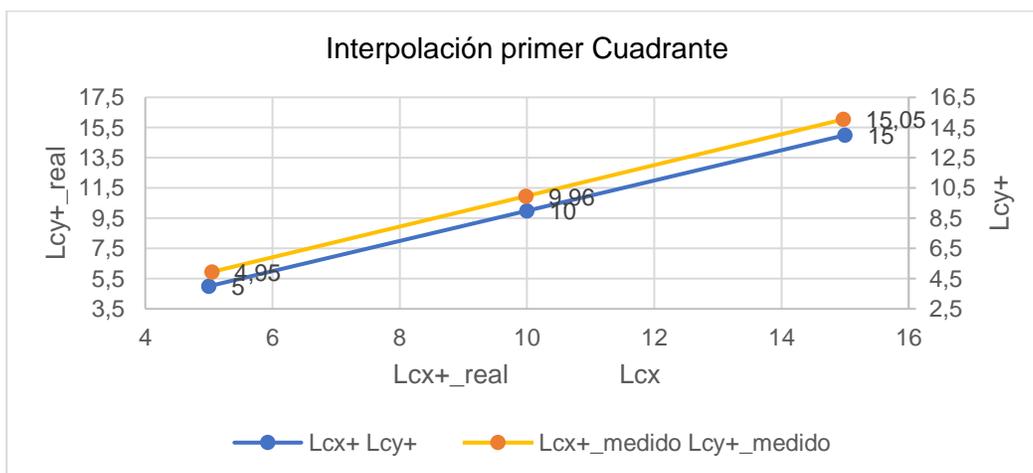
No. Muestras	Medidas del Diseño		Medidas Tomadas		Error	
	Lcx+	Lcy+	Lcx+_medido	Lcy+_medido	Lcx+_Error	Lcy+_Error
Círculos	Lcx+	Lcy+	Lcx+_medido	Lcy+_medido	Lcx+_Error	Lcy+_Error
Pieza 1	5	5	5,05	4,95	0,05	0,05
Pieza 2	10	10	9,985	9,96	0,015	0,04
Pieza 3	15	15	14,975	15,06	0,025	0,06

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(circulo) del primer cuadrante.

Mediante el uso de la Tabla 22, se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lcx+ y Lcy+ con respecto al primer cuadrante, las cuales vendrán en el valor de milímetros, en la Figura 87 se observa la aproximación de los valores medidos con los valores de diseño.

Figura 87

Medidas de Diseño vs Medidas tomadas primer cuadrante



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 87, se notó que en el diagrama de dispersión los valores de error que existen para las diferentes longitudes del círculo en este caso Lcx+_medido y Lcy+_medido, Lcx+ y Lcy+ dimensiones de diseño mediante las cuales se puede observar que el error más grande es de 0.06 mm en la pieza más grande . Por lo que se denota que mientras mayor tamaño tiene la pieza va aumentando su error, pero este error es mínimo por lo cual la calidad de la impresión es precisa y versátil.

En la Tabla 23, se detalla los tres modelos impresos en 3D (círculos) notando las condiciones de Lcx- y Lcy+.

Tabla 23

Pruebas de impresión 3D del círculo segundo cuadrante

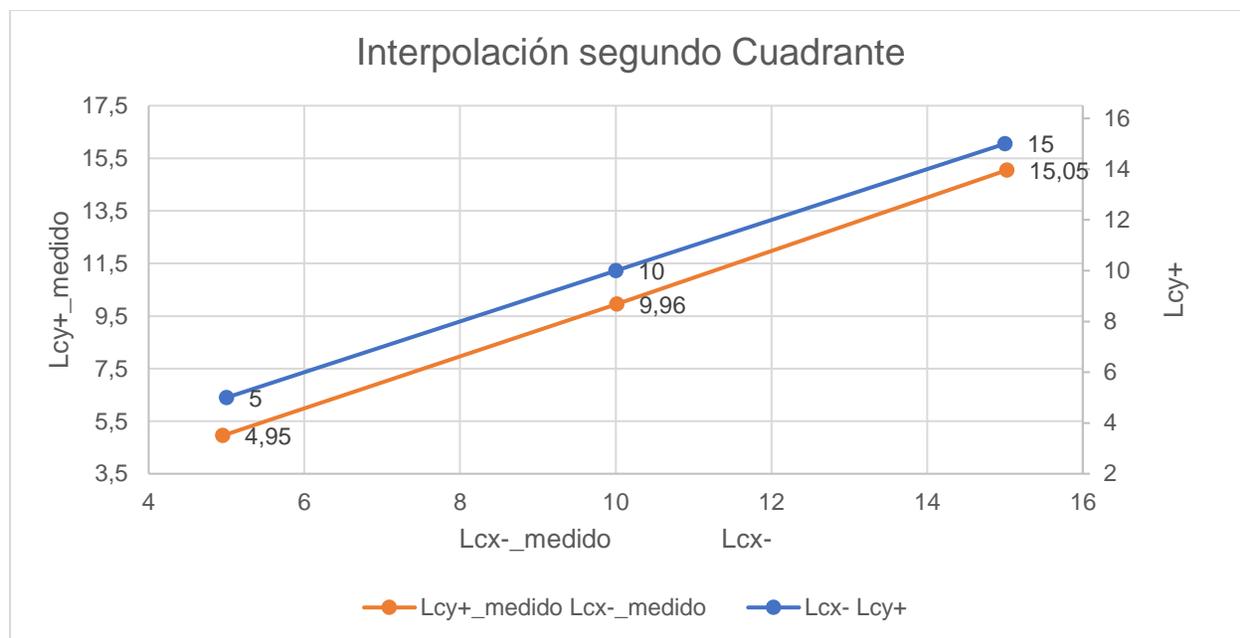
No. Muestras	Medidas del Diseño		Medidas Tomadas		Error	
	Lcx-	Lcy+	Lcx-_medido	Lcy+_medido	Lcx-_Error	Lcy+_Error
Círculos	Lcx-	Lcy+	Lcx-_medido	Lcy+_medido	Lcx-_Error	Lcy+_Error
Pieza 1	5	5	4,95	4,95	0,05	0,05
Pieza 2	10	10	10,015	9,96	0,015	0,04
Pieza 3	15	15	15,025	15,06	0,025	0,06

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(circulo) del segundo cuadrante.

Mediante el uso de la Tabla 23, se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lcx- y Lcy+ con respecto al segundo cuadrante , las cuales vendrán en el valor de milímetros , en la Figura 88 se observa la aproximación de los valores medidos con los valores de diseño.

Figura 88

Medidas de Diseño vs Medidas tomadas segundo cuadrante



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 88, se notó que en el diagrama de dispersión los valores de error que existen para las diferentes longitudes del círculo en este caso Lcx_medido y Lcy_medido , $Lcx-$ y $Lcy+$ dimensiones de diseño mediante las cuales se puede observar que el error más grande es de 0.06 mm en la pieza más grande. Por lo que se denota que mientras mayor tamaño tiene la pieza va aumentando su error, pero este error es mínimo por lo cual la calidad de la impresión es precisa y versátil.

En la Tabla 24, se detalla los tres modelos impresos en 3D (círculos) notando las condiciones de $Lcx-$ y $Lcy-$.

Tabla 24

Pruebas de impresión 3D del círculo tercer cuadrante

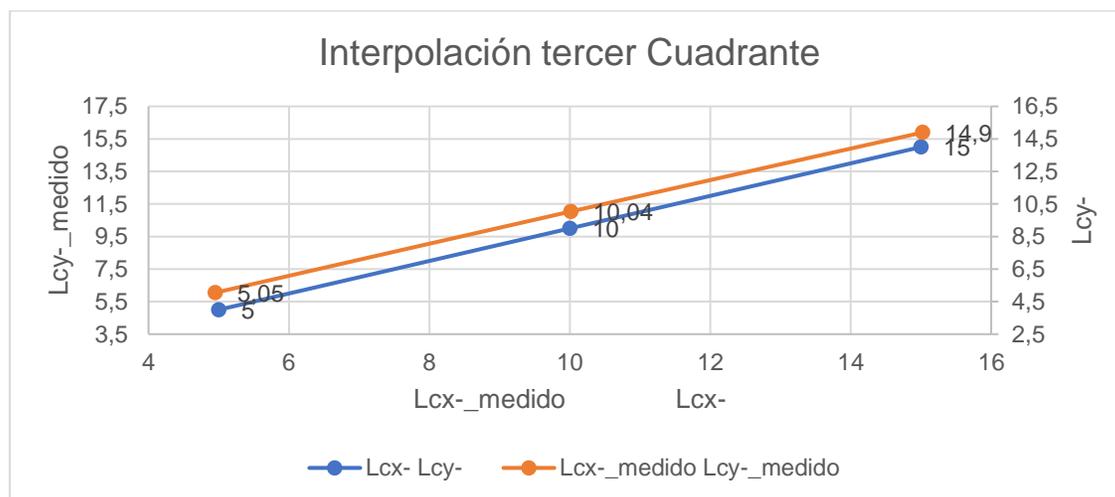
No. Muestras	Medidas del Diseño		Medidas Tomadas		Error	
	Lcx-	Lcy-	Lcx-_medido	Lcy-_medido	Lcx-_Error	Lcy-_Error
Círculos	Lcx-	Lcy-	Lcx-_medido	Lcy-_medido	Lcx-_Error	Lcy-_Error
Pieza 1	5	5	4,95	5,05	0,05	0,05
Pieza 2	10	10	10,015	10,04	0,015	0,04
Pieza 3	15	15	15,025	14,9	0,025	0,1

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(círculo) del tercer cuadrante.

Mediante el uso de la Tabla 24 , se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lcx- y Lcy- con respecto al tercer cuadrante , las cuales vendrán en el valor de milímetros , en la Figura 89 se observa la aproximación de los valores medidos con los valores reales.

Figura 89

Medidas de Diseño vs Medidas tomadas tercer cuadrante



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 89 , se notó que en el diagrama de dispersión los valores de error que existen para las diferentes longitudes del círculo en este caso Lcx-_medido y Lcy-_medido, Lcx- y Lcy- dimensiones del diseño mediante las cuales se puede observar que el error más grande es de 0.1 mm en el eje Y. Por lo que se denota que mientras mayor tamaño tiene la pieza va aumentando su error, pero este error es mínimo por lo cual la calidad de la impresión es precisa y versátil.

En la Tabla 25 ,se detalla los tres modelos impresos en 3D (Círculos) notando las condiciones de Lcx+ y Lcy-.

Tabla 25

Pruebas de impresión 3D del círculo cuarto cuadrante

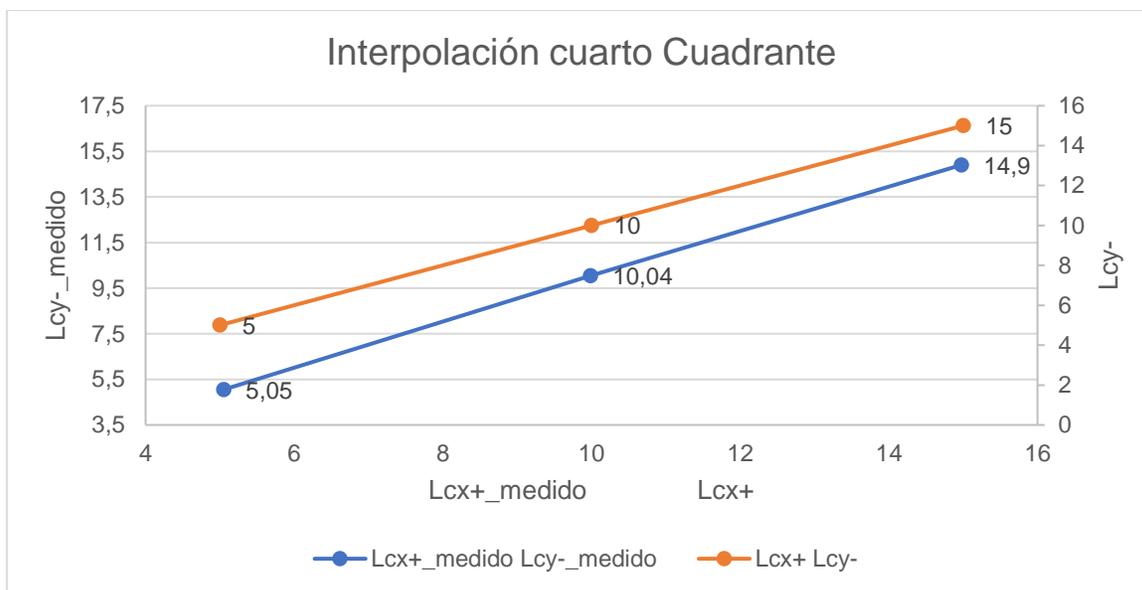
No. Muestras	Medidas del Diseño		Medidas Tomadas		Error	
	Lcx+	Lcy-	Lcx+_medido	Lcy-_medido	Lcx+_Error	Lcy-_Error
Círculos	Lcx+	Lcy-	Lcx+_medido	Lcy-_medido	Lcx+_Error	Lcy-_Error
Pieza 1	5	5	5,05	5,05	0,05	0,05
Pieza 2	10	10	9,985	10,04	0,015	0,04
Pieza 3	15	15	14,975	14,9	0,025	0,1

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(circulo) cuarto cuadrante.

Mediante el uso de la Tabla 25 , se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lcx+ y Lcy- con respecto al cuarto cuadrante , las cuales vendrán en el valor de milímetros , en la Figura 90 se observa la aproximación de los valores medidos con los valores de diseño.

Figura 90

Medidas de Diseño vs Medidas tomadas cuarto cuadrante



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 90, se notó que en el diagrama de dispersión los valores de error que existen para las diferentes longitudes del círculo en este caso $Lcx+_medido$ y $Lcy-_medido$ medidas tomadas, $Lcx+$ y $Lcy-$ dimensiones del diseño mediante las cuales se puede observar que el error más grande es de 0.1 mm respecto al eje Y .

En la Tabla 26, se detalla los tres modelos impresos en 3D (círculos) notando las condiciones de Lz .

Tabla 26

Pruebas de impresión 3D del círculo en el eje Z

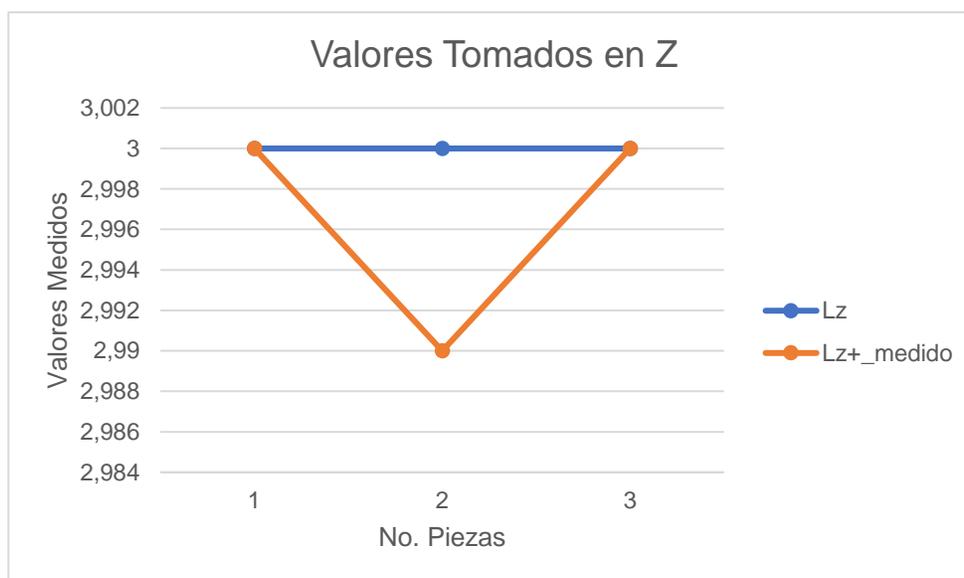
No. Muestras	Medidas del Diseño	Medidas Tomadas	Error
Círculos	Lz	$Lz+_medido$	Lz_Error
Pieza 1	3	3	0
Pieza 2	3	2,99	0,01
Pieza 3	3	3	0

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas (círculos) impresas en 3D.

Mediante el uso de la Tabla 26, se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lz, las cuales vendrán en el valor de milímetros, en la Figura 91 se observa la aproximación de errores de las medidas tomadas con respecto a las medidas de diseño.

Figura 91

Medidas de Diseño vs Medidas obtenidas eje Z



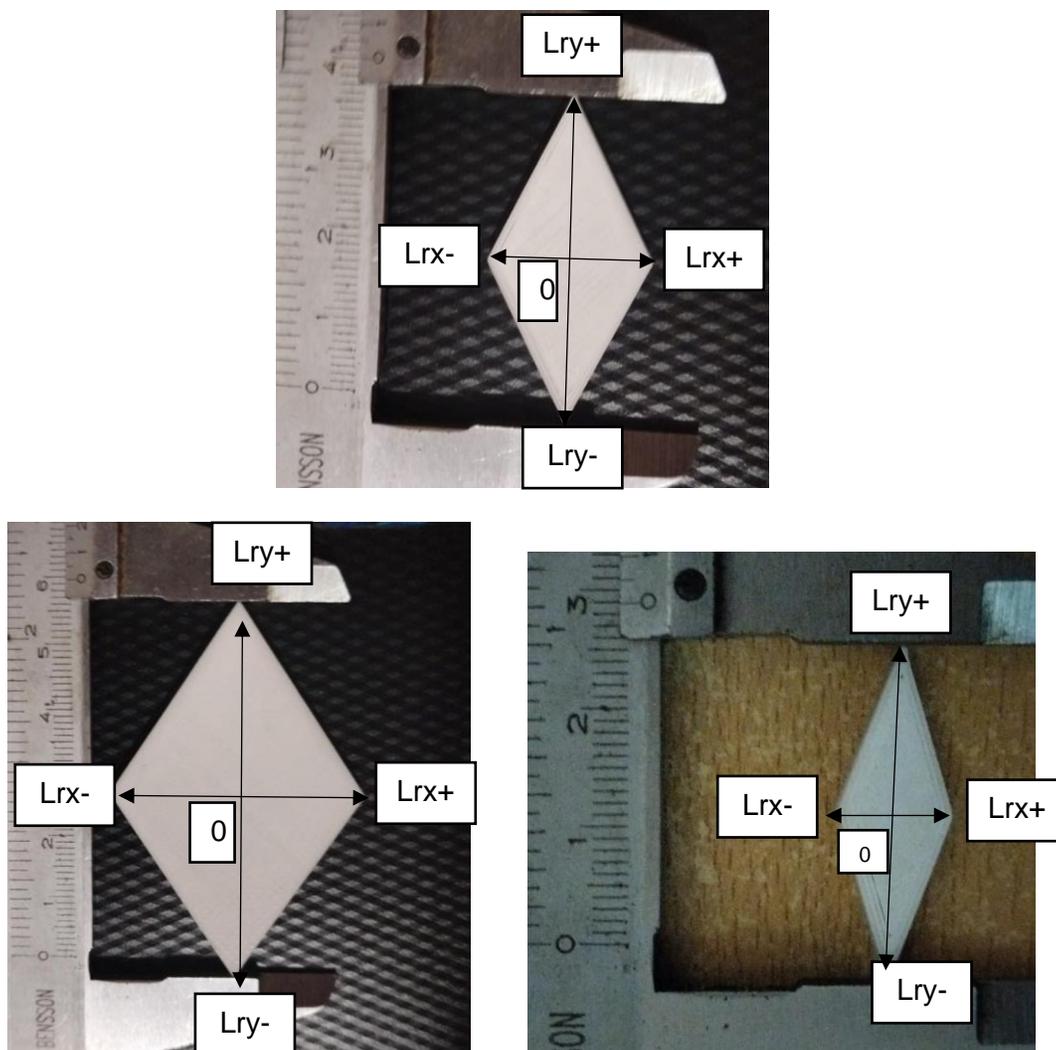
Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 91, se nota en el gráfico la variación que existe en el eje Z de las diferentes figuras (círculos) en las cuales todas las piezas median 3mm de altura. Mediante el desarrollo de las pruebas se encuentra que el mayor error es de 0.01 mm en la longitud del plano Z+.

En la Figura 92, se puede observar las dimensiones de las piezas (rombos) impresas en 3D.

Figura 92

Dimensiones de las piezas impresas en 3D rombos



Nota. En la figura se puede observar las dimensiones de las piezas impresas en 3D.

En la Tabla 27, se detalla los tres modelos impresos en 3D (rombos) notando las condiciones de longitud $Lrx+$ y $Lry+$.

Tabla 27

Pruebas de impresión 3D del rombo primer cuadrante

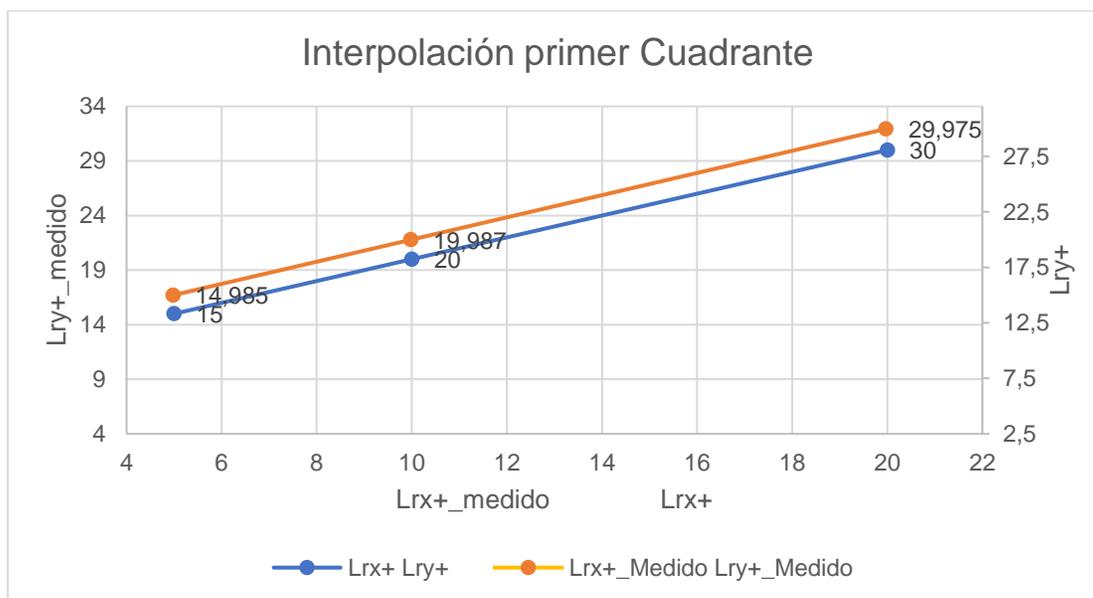
No. Muestras	Medidas del Diseño		Medidas Tomadas		Error	
	Lrx+	Lry+	Lrx+_medido	Lry+_medido	Lrx+_Error	Lry+_Error
Rombos	Lrx+	Lry+	Lrx+_medido	Lry+_medido	Lrx+_Error	Lry+_Error
Pieza 1	5	15	4,975	14,985	0,025	0,015
Pieza 2	10	20	9,9825	19,987	0,0175	0,013
Pieza 3	20	30	19,975	29,975	0,025	0,025

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(rombos) del primer cuadrante.

Mediante el uso de la Tabla 27, se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lrx+ y Lry+ con respecto al primer cuadrante , las cuales vendrán en el valor de milímetros , en la Figura 93 se observa la aproximación de los valores medidos con los valores de diseño.

Figura 93

Medidas de Diseño vs Medidas tomadas primer cuadrante



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 93 , se notó que en el diagrama de dispersión los valores de error que existen para las diferentes longitudes del rombo en este caso Lrx+_medido y Lry+_medido, Lrx+ y Lry+ dimensiones de diseño mediante las cuales se puede observar que el error más grande es de 0.025 mm en la pieza más grande . Por lo que se denota que mientras mayor tamaño tiene la pieza va aumentando su error, pero este error es mínimo por lo cual la calidad de la impresión es precisa y versátil.

En la Tabla 28 , se detalla los tres modelos impresos en 3D (rombos) notando las condiciones de Lrx- y Lry+.

Tabla 28

Pruebas de impresión 3D del rombo segundo cuadrante

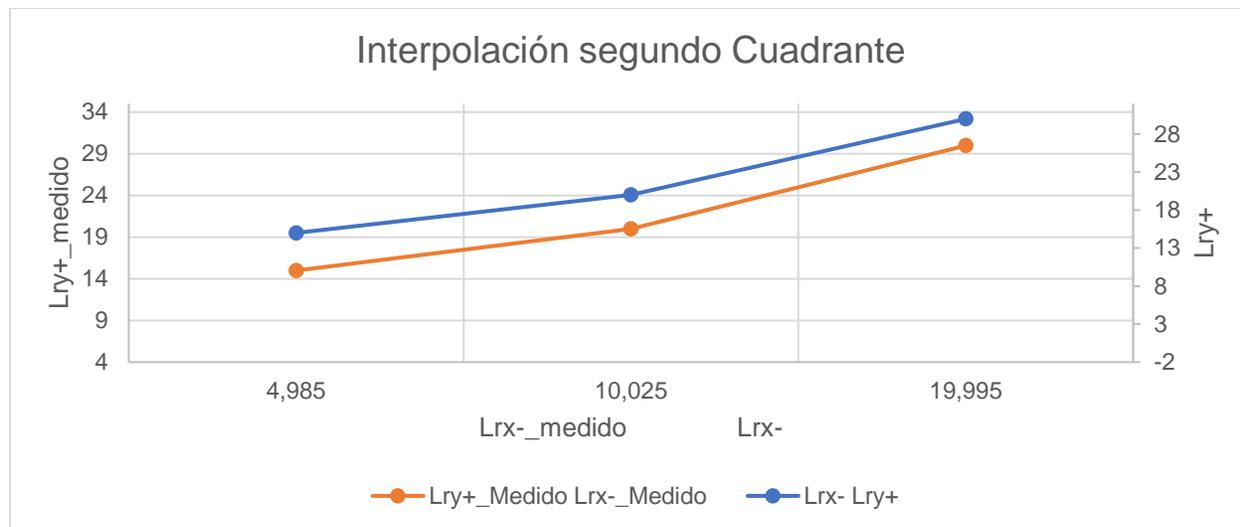
No. Muestras	Medidas del Diseño		Medidas Tomadas		Error	
	Lrx-	Lry+	Lrx-_medido	Lry+_medido	Lrx-_Error	Lry+_Error
Rombos	Lrx-	Lry+	Lrx-_medido	Lry+_medido	Lrx-_Error	Lry+_Error
Pieza 1	5	15	4,985	14,985	0,015	0,015
Pieza 2	10	20	10,025	19,987	0,025	0,013
Pieza 3	20	30	19,995	29,975	0,005	0,025

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas (rombos) del segundo cuadrante.

Mediante el uso de la Tabla 28, se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lrx- y Lry+ con respecto al segundo cuadrante , las cuales vendrán en el valor de milímetros , en la Figura 94, se observa la aproximación de los valores medidos con los valores de diseño.

Figura 94

Medidas de Diseño vs Medidas tomadas segundo cuadrante



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 95, se notó que en el diagrama de dispersión los valores de error que existen para las diferentes longitudes del rombo en este caso Lrx-_medido y Lry+_medido, Lrx- y Lry+ dimensiones de diseño mediante las cuales se puede observar que el error más grande es de 0.025 mm en la pieza más grande con respecto al eje Y. Por lo que se denota que mientras mayor tamaño tiene la pieza va aumentando su error, pero este error es mínimo por lo cual la calidad de la impresión es precisa y versátil.

En la Tabla 29, se detalla los tres modelos impresos en 3D (rombos) notando las condiciones de Lrx- y Lry-.

Tabla 29

Pruebas de impresión 3D del rombo tercer cuadrante

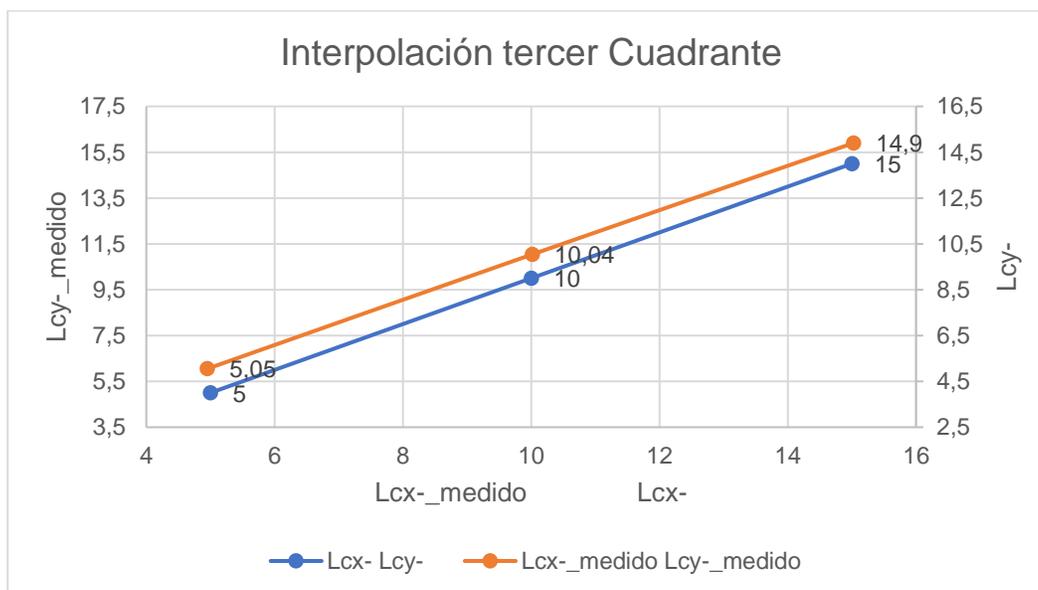
No. Muestras	Medidas del Diseño		Medidas Tomadas		Error	
	Lrx-	Lry-	Lrx-_medido	Lry-_medido	Lrx-_Error	Lry-_Error
Rombos	Lrx-	Lry-	Lrx-_medido	Lry-_medido	Lrx-_Error	Lry-_Error
Pieza 1	5	15	4,985	14,995	0,015	0,005
Pieza 2	10	20	10,025	20,015	0,025	0,015
Pieza 3	20	30	19,995	30,025	0,005	0,025

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(rombo) del tercer cuadrante.

Mediante el uso de la Tabla 29 , se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lrx- y Lry- con respecto al tercer cuadrante , las cuales vendrán en el valor de milímetros , en la Figura 95 se observa la aproximación de los valores medidos con los valores de diseño.

Figura 95

Medidas de Diseño vs Medidas tomadas tercer cuadrante



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 95 , se notó que en el diagrama de dispersión los valores de error que existen para las diferentes longitudes del rombo en este caso Lrx-_medido y Lry-_medido, Lrx- y Lry- dimensiones del diseño mediante las cuales se puede observar que el error más grande es de 0.025mm en el eje Y. Por lo que se denota que mientras mayor tamaño tiene la pieza va aumentando su error, pero este error es mínimo por lo cual la calidad de la impresión es precisa y versátil.

En la Tabla 30 ,se detalla los tres modelos impresos en 3D (rombos) notando las condiciones de Lrx+ y Lry-.

Tabla 30

Pruebas de impresión 3D del rombo cuarto cuadrante

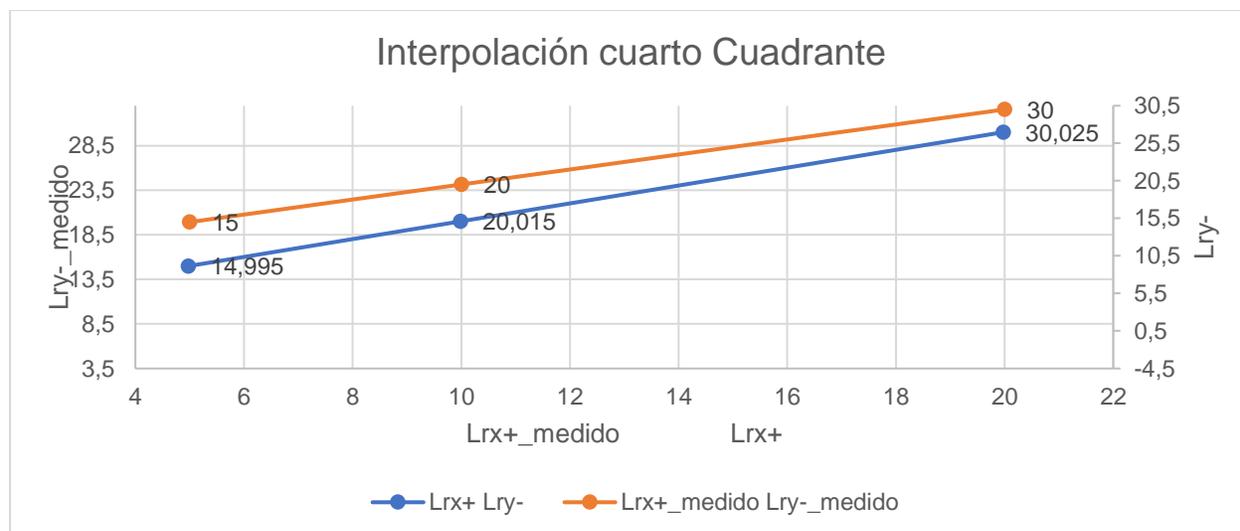
No. Muestras	Medidas del Diseño		Medidas Tomadas		Error	
	Lrx+	Lry-	Lrx+_medido	Lry-_medido	Lcx+_Error	Lcy-_Error
Rombos	Lrx+	Lry-	Lrx+_medido	Lry-_medido	Lcx+_Error	Lcy-_Error
Pieza 1	5	15	4,975	14,995	0,025	0,005
Pieza 2	10	20	9,9825	20,015	0,0175	0,015
Pieza 3	20	30	19,975	30,025	0,025	0,025

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(rombos) cuarto cuadrante.

Mediante el uso de la Tabla 30 , se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lrx+ y Lry- con respecto al cuarto cuadrante , las cuales vendrán en el valor de milímetros , en la Figura 96, se observa la aproximación de los valores medidos con los valores de diseño.

Figura 96

Medidas de Diseño vs Medidas tomadas cuarto cuadrante



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

En la Figura 96, se notó que en el diagrama de dispersión los valores de error que existen para las diferentes longitudes del rombo en este caso Lrx+_medido y Lry-_medido medidas tomadas, Lrx+ y Lry- dimensiones del diseño mediante las cuales se puede observar que el error más grande es de 0.025 mm respecto al eje X y Y.

En la Tabla 31, se detalla los tres modelos impresos en 3D (rombos) notando las condiciones de Lz.

Tabla 31

Pruebas de impresión 3D del rombo eje Z

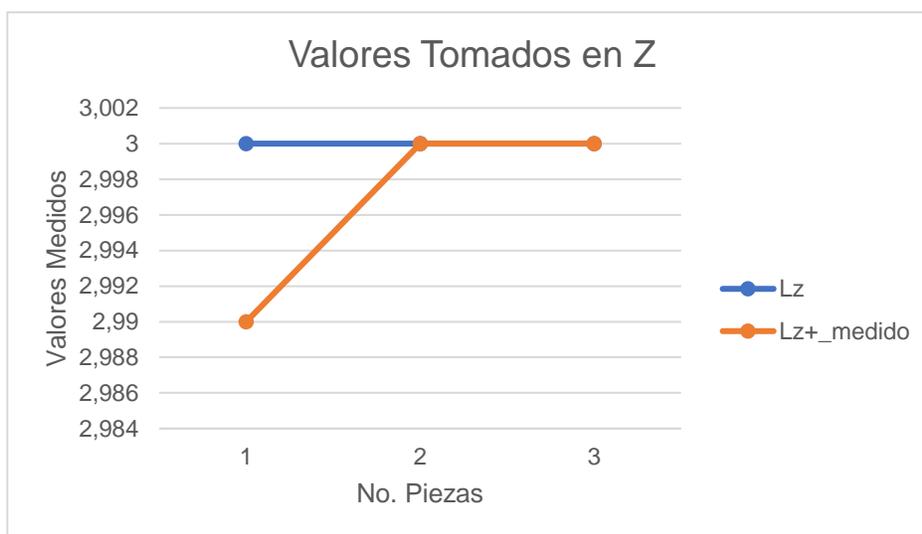
No. Muestras	Medidas del Diseño	Medidas Tomadas	Error
Rombos	Lz	Lz+_medido	Lz_Error
Pieza 1	3	2,99	0,01
Pieza 2	3	3	0
Pieza 3	3	3	0

Nota. En la tabla se puede observar las medidas de las piezas(rombos) impresas en 3D.

Mediante el uso de la Tabla 31 , se observa los datos estadísticos de las piezas impresas en 3D con respecto a Lz, las cuales vendrán en el valor de milímetros , en la Figura 97 se observa la aproximación de errores de las medidas tomadas con respecto a las medidas de diseño.

Figura 97

Medidas de Diseño vs Medidas obtenidas eje Z



Nota. En la figura se puede observar las medidas de las piezas impresas en 3D.

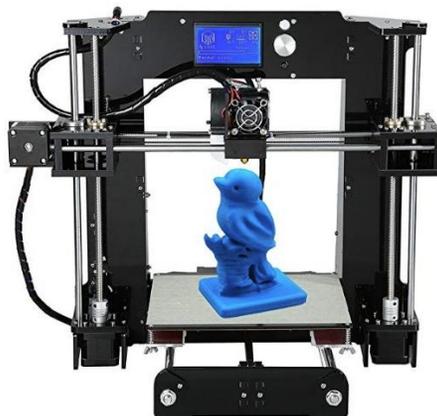
En la Figura 97, se nota en el grafico la variación que existe en el eje Z de las diferentes figuras (rombos) en las cuales todas las piezas median 3mm de altura. Mediante el desarrollo de las pruebas se encuentra que el mayor error es de 0.01 mm en la longitud del plano Z+.

Análisis de comparación con impresora 3D comercial

Con las pruebas de impresión realizadas se puede analizar cuán precisa es la máquina, para ello se realiza una comparación con una impresora 3D que se encuentre en el mercado y que sea de similares características a la diseñada en este proyecto, para lo cual, revisando el tamaño, la estructura mecánica, transmisión de movimiento y la electrónica la mejor opción fue la ANET A6 como se observa en la Figura 98.

Figura 98

Impresora Anet A6



Nota. En la figura se puede observar la impresora Anet A6 de similares características a la diseñada.

Dentro de las características de las Anet A6, se encuentra la precisión de los ejes esta información se la encuentra en (Solectro, s.f.) con estas características y con los datos recolectados podemos realizar una tabla comparativa con lo vemos en la Tabla 32.

Tabla 32

Comparación de precisión con impresora comercial

Características	Anet A6	Impresora diseñada
Precisión del eje X	0.012 mm	0,065 mm
Precisión del eje Y	0.012 mm	0,044 mm
Precisión del eje Z	0.004 mm	0,008 mm

Nota. En la tabla se puede observar la comparación de precisión de una impresora comercial y la diseñada.

En la Tabla 32, se puede observar las características de precisión de cada impresora, para la Anet A6, estos datos nos proporciona el fabricante, para la impresora diseñada en este proyecto los datos de precisión para cada eje se los obtiene de los promedios realizados en cada una de las pruebas individuales, analizando dichos valores se evidencia que existe una

mínima variación en la precisión de cada eje lo que significa, que de manera general la máquina diseñada es bastante precisa en las impresiones que realiza.

Pruebas indexadas al CIM

Luego de haber realizado con éxito las pruebas individuales de la estación, se procede a la realización de pruebas indexadas al CIM lo que consiste en comprobar que se comunique correctamente la máquina con el control computarizado y el manipulador, con el fin de obtener un resultado óptimo se realizó pruebas de ciclo individuales y en conjunto con otra estación de manufactura sustractiva.

Pruebas de ciclo Individuales

Se realizó 10 pruebas para comprobar la correcta indexación de la estación de impresión 3D en el CIM para lo cual desde la interfaz del CIM de la computadora central, se controló el proceso de la máquina y su interacción con el manipulador para retirar y colocar correctamente el fleje magnético donde se imprimen las piezas, el objetivo de estas pruebas es recolectar datos de cuantas veces tiende a fallar el proceso.

A continuación, en la Tabla 33, se observa los datos obtenidos.

Tabla 33

Datos obtenidos del pruebas individuales con el CIM

Pruebas Individuales con el CIM			
No.	Funcional	No	Porcentaje
Pruebas		Funcional	
1	X		10 %
2	X		10 %
3	X		10 %
4	X		10 %
5	X		10 %
6	X		10 %
7		X	10 %
8	X		10 %
9	X		10 %
10	X		10 %
Total			100 %

Nota. En la tabla se puede observar los datos obtenidos de las pruebas Individuales con el CIM.

Las pruebas individuales con el CIM consistían en enviar a operar la máquina de manera automática controlada desde la interfaz una vez terminado el proceso de impresión el manipulador desde home de su sexto eje realiza el proceso de retirado del fleje magnético de la impresora y colocarlo en el AS/RS, para finalmente colocar una nueva bandeja en la cama caliente de la impresora y con ello finalizar el ciclo. De las 10 pruebas que se realizó en el CIM existió un error en la colocación del fleje magnético de la cama caliente , debido a pérdida de pasos del sexto eje. Lo que significa que existe un 10 % de fallos en el sistema.

Pruebas simultáneas con otra estación

Para esta prueba se realizó el mismo proceso anterior con la diferencia que esta vez se envió a operar la estación de corte y grabado laser de manera simultánea con la intención de comprobar la correcta comunicación e interacción de todo el sistema que compone el CIM.

A continuación, en la Tabla 34 ,se observa los datos obtenidos.

Tabla 34

Datos obtenidos del pruebas simultáneas con el CIM

Pruebas simultáneas con el CIM			
No. Pruebas	Funcional	No Funcional	Porcentaje
1	X		10 %
2	X		10 %
3		X	10 %
4		X	10 %
5	X		10 %
6	X		10 %
7	X		10 %
8		X	10 %
9	X		10 %
10	X		10 %
Total			100 %

Nota. En la tabla se puede observar los datos obtenidos de las pruebas simultáneas con el CIM.

En los resultados de esta prueba hubo un incremento del error del 30 %, en cuanto al sexto eje ya que al interactuar dos estaciones de manera simultánea aumenta la probabilidad

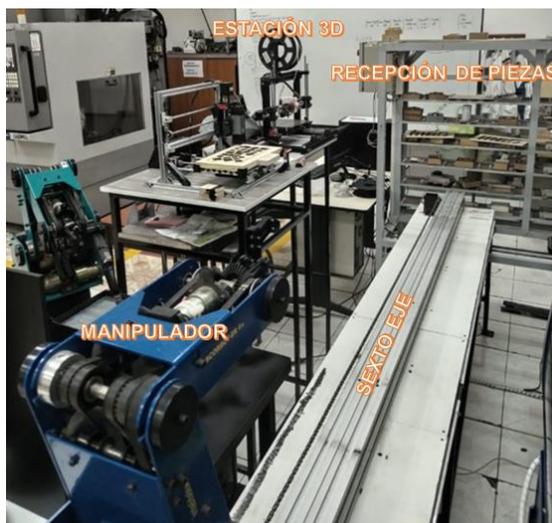
de pérdidas de pasos del sexto eje, debido a que mecánicamente este sistema de transmisión de movimiento se compone de un piñón y una cadena haciendo necesario que en cada fin del ciclo regrese a home para disminuir este error. Por lo tanto, se demostró que en cuestiones de comunicación entre estaciones del CIM no existe errores y la estación de impresión 3D se encuentra correctamente indexada al CIM.

Pruebas de tiempo de ciclo

En esta prueba se mide el tiempo de ciclo que tarda en realizar el recorrido desde que parte el manipulador de home del sexto eje , pasa por la estación retirando las piezas impresas, luego procede a colocar en su respectivo lugar de recepción de las piezas y finaliza con la colocación de una nueva bandeja de impresión lista para volver a imprimir, la distribución de este ciclo se lo puede observar en la Figura 99.

Figura 99

Recorrido del manipulador en el ciclo de la estación de impresión 3D



Nota. en la figura se puede observar el recorrido del manipulador en el ciclo de la estación de impresión 3D.

Para realizar esta prueba se realizó 10 veces el recorrido que tendrá el manipulador una vez terminado el tiempo de impresión, dicho tiempo no se toma en cuenta ya que depende de

cada modelo a imprimir, el tiempo de ciclo se lo toma con un cronómetro para que sea lo más preciso posible, los datos obtenidos se los puede observar en la Tabla 35.

Tabla 35

Datos obtenidos del tiempo de ciclo

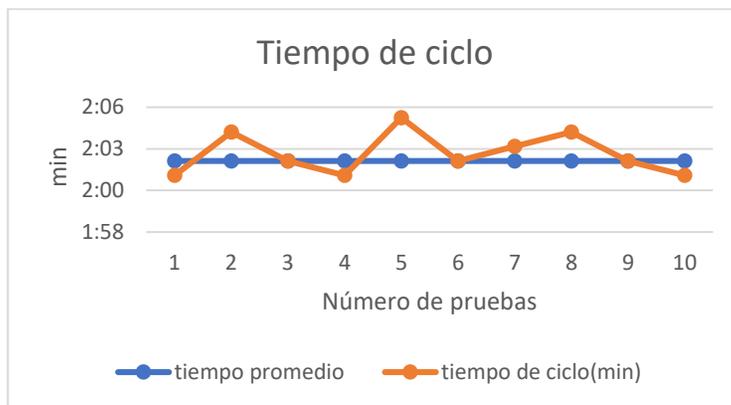
N° prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo promedio
Tiempo de ciclo (min)	2:02	2:05	2:03	2:02	2:06	2:03	2:04	2:05	2:03	2:02	2:03

Nota. En la tabla se puede observar los datos obtenidos de los tiempos de ciclo.

En la Figura 100, se puede observar de manera gráfica los diferentes tiempos de ciclo que se tomaron de las pruebas realizadas con la impresora 3D indexada al CIM.

Figura 100

Datos tomados de las pruebas indexadas al CIM



Nota. En la figura se observa los diferentes datos tomados de las pruebas de tiempo de ciclo de la estación de manufactura aditiva indexadas al CIM.

Luego de haber culminado estas pruebas y verificar que existe un correcto funcionamiento en la comunicación entre el sistema computarizado, manipulador y la estación de manufactura aditiva con un tiempo promedio de ciclo de 2 minutos con 3 segundos, teniendo en cuenta que dicho tiempo contempla un recorrido completo desde parte el manipulador del

inicio del sexto eje hasta que termina con la colocación de una nueva cama de impresión, se puede considerar que es un tiempo aceptable dentro del rango deseado.

Validación de Hipótesis

Validación de la Hipótesis Individual

Dentro de la nota conceptual del trabajo de integración curricular se planteó la siguiente hipótesis.

“ Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Aditiva se podrá indexar al CIM como estación de impresión 3D”.

En la Tabla 36, se muestra la variable dependiente e independiente de la hipótesis planteada.

Tabla 36

Variable dependiente e independiente

Variable Independiente	Diseñar e implementar un Sistema de Manufactura Aditiva.
Variable Dependiente	Indexar al CIM como estación de impresión en 3D.

Nota. En la tabla se puede observar las variables dependiente e independiente.

Método de validación. La hipótesis planteada se validará por la metodología del chi cuadrado, por lo que es esencial plantear la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alternativa (H1), en la Tabla 37, se puede observar la Hipótesis nula y alternativa.

Tabla 37*Hipótesis nula e Hipótesis Alternativa*

Hipótesis Nula (H0)	Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Aditiva no se podrá indexar al CIM como estación de impresión 3D.
Hipótesis Alternativa (H1)	Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Aditiva se podrá indexar al CIM como estación de impresión 3D.

Nota. En la tabla se puede observar la Hipótesis Nula y la Hipótesis Alternativa.

Validación. Para validar la hipótesis se realizó encuestas de 10 preguntas que se encuentran en el Anexo 7 , a 30 estudiantes matriculados en la materia de Manufactura Asistida por Computador después de haber concluido una práctica en el CIM, las preguntas de la encuesta fueron relacionadas con el funcionamiento y operación de la estación de impresión 3D indexada al CIM, para lo cual se segmenta en 5 parámetros de evaluación, los cuales son :

- Operación de la estación 3D indexada al CIM.
- Funcionamiento de la estación de impresión 3D con el CIM
- Indexación de la estación 3D al CIM.
- Programación y postprocesado de la estación de impresión 3D.
- Prácticas de estudiantes en el CIM.

En la Tabla 38, se muestra los parámetros evaluados con las frecuencias de aceptación y rechazo que la muestra de los estudiantes manifestó de acuerdo con las encuestas realizadas.

Tabla 38*Parámetros evaluados de la impresora 3D indexada al CIM*

Ítem	Parámetros	Aceptación	Rechazo	No. Valoración
1	Operación de la estación 3D indexada al CIM	29	1	30
2	Funcionamiento de la estación de impresión 3D con el CIM	25	5	30
3	Indexación de la estación 3D al CIM	22	8	30
4	Programación y postprocesado de la estación de impresión 3D	23	7	30
5	Prácticas de estudiantes en el CIM	20	10	30
Total		119	31	150

Nota. En la tabla se puede observar los parámetros de aceptación y rechazo de la impresora 3D indexada al CIM.

Con los datos obtenidos de la encuesta se hizo uso del software Excel para realizar los cálculos pertinentes.

Como primer paso se calcula la frecuencia esperada con la siguiente fórmula.

$$f_t = \frac{T_i * T_j}{N}$$

T_i = Número de Valoraciones

T_j = Total de aceptación o rechazo

N = Total de valoraciones

En la Tabla 39, se observa los valores de la frecuencia absoluta, frecuencia esperada y el cálculo del chi-cuadrado que se simplifica en la siguiente formula.

$$X^2 = \sum \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$$

$X^2 = \text{Valor de chi - cuadrado}$

$f_o = \text{frecuencia absoluta}$

$f_t = \text{frecuencia esperada}$

Tabla 39

Cálculo del método estadístico del chi cuadrado

Datos	f_o	f_t	$(f_o - f_t)$	$(f_o - f_t)^2$	$\frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$
Aceptación 1	29	23,8	5,2	27,04	1,13613445
Aceptación 2	25	23,8	1,2	1,44	0,0605042
Aceptación 3	22	23,8	-1,8	3,24	0,13613445
Aceptación 4	23	23,8	-0,8	0,64	0,02689076
Aceptación 5	20	23,8	-3,8	14,44	0,60672269
Rechazo 1	1	6,2	-5,2	27,04	4,36129032
Rechazo 2	5	6,2	-1,2	1,44	0,23225806
Rechazo 3	8	6,2	1,8	3,24	0,52258065
Rechazo 4	7	6,2	0,8	0,64	0,10322581
Rechazo 5	10	6,2	3,8	14,44	2,32903226
Total					9,51477365

Nota. En la tabla se puede observar el cálculo del método estadístico del chi cuadrado.

EL valor calculado del chi cuadrado es de $X^2 = 9,515$, este valor es necesario compararlo utilizando la tabla del chi cuadrado para lo cual se debe primero calcular los grados de libertad como se observa a continuación.

$$v = (f - 1) * (c - 1)$$

$v =$ grados de libertad

$f =$ número de filas

$c =$ número de columnas

$$v = (5 - 1) * (2 - 1)$$

$$v = 4$$

Obtenido el valor de 4 grados de libertad y con un nivel de confianza del 95% que es igual a un nivel de significancia del 0.05 nos dirigimos a la tabla de distribución del chi-cuadrado y buscamos el valor crítico con estos datos que se intersecan en la fila y la columna de estos dos valores como se observa en la Tabla 40.

Tabla 40

Tabla de chi-cuadrado

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742	0,8735	0,7083	0,5707	0,4549
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079	2,0996	1,8326	1,5970	1,3863
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8794	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649	3,2831	2,9462	2,6430	2,3660
4	18,4753	16,4759	14,8575	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853	4,8784	4,4377	4,0446	3,6871	3,3567
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257	6,0644	5,5731	5,1319	4,7278	4,3515
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408	7,2311	6,6948	6,2108	5,7652	5,3481
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371	8,3834	7,8061	7,2832	6,8000	6,3458
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189	9,5245	8,9094	8,3505	7,8325	7,3441
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887	10,6564	10,0060	9,4136	8,8632	8,3428
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489	11,7807	11,0971	10,4732	9,8922	9,3418
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007	12,8987	12,1836	11,5298	10,9199	10,3410

Nota. En la tabla se puede observar la distribución del chi-cuadrado. Tomado de (slideshare, 2014).

De la tabla de distribución de chi cuadrado obtenemos el valor de 9,4877 que al comparar con el valor calculado del chi-cuadrado $\chi^2 = 9,515$ es menor , por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alternativa (H1) concluyendo que mediante el Diseño e implementación de un sistema de manufactura aditiva se podrá indexar al CIM como estación de impresión 3D.

Validación de la Hipótesis General

Dentro de la nota conceptual del trabajo de integración curricular se planteó la siguiente hipótesis.

“Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador CIM con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva se podrá realizar Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga”.

En la Tabla 41, se muestra la variable dependiente e independiente de la hipótesis planteada.

Tabla 41

Variable dependiente e independiente

	Diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada
Variable Independiente	por Computador CIM con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva.
Variable Dependiente	Realizar Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Nota. En la tabla se puede observar las variables dependiente e independiente.

Método de Validación. Para la validación de esta hipótesis se hace uso de índices de aceptación de parámetros, donde es esencial plantear la hipótesis nula y la hipótesis alternativa como se observa en la Tabla 42.

Tabla 42*Hipótesis nula e Hipótesis Alternativa*

Hipótesis Nula (H0)	Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador CIM con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, no se podrá realizar Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.
Hipótesis Alternativa (H1)	Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador CIM con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, se podrá realizar Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Nota. En la tabla se puede observar la Hipótesis Nula y la Hipótesis Alternativa.

Con este método se aceptará o rechazará las hipótesis antes planteadas (H0 y H1). Por ende se tomó en cuenta las pruebas realizadas con el CIM como se muestra en la Tabla 33 y Tabla 34 donde se operó de manera individual y simultánea la estación de impresión 3D y la estación de corte y grabado láser para comprobar el correcto funcionamiento de los elementos que compone el CIM, con la finalidad de realizar prácticas de manufactura dentro del laboratorio, el objetivo es obtener los parámetros relacionados a las variables de la hipótesis, los cuales se presentan a continuación.

- Efectividad del CIM con la estación de manufactura aditiva.
- Efectividad del CIM con la estación de manufactura aditiva y sustractiva de manera simultánea.

Estos parámetros fueron evaluados en la sección de pruebas presentando los siguientes resultados de los índices.

Tabla 43*Parámetros de la Hipótesis General*

Parámetros	Índice de H1	Índice de H0	H1 >H0
Efectividad del CIM con la estación de manufactura aditiva.	90%	10%	Si cumple
Efectividad del CIM con la estación de manufactura aditiva y sustractiva de manera simultánea.	70%	30%	Si cumple

Nota. En la tabla se puede observar los parámetros de la hipótesis general.

Dado el resultado de los índices se demuestra que la efectividad del CIM al operar con una estación es altamente efectiva, además el funcionamiento de manera simultánea con más estaciones también genera un alto índice de efectividad. Por ende, se rechaza la Hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alternativa (H1) por lo tanto se concluye que, mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador CIM con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, se podrá realizar Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Una vez concluido el proyecto de integración curricular, se diseñó e implementó una estación de impresión 3D de tipo cartesiana, con una precisión en el eje X de 0.065 mm, en el eje Y de 0.044 mm y en el eje Z de 0,008 mm haciendo de esta máquina precisa y versátil, además con una efectividad de trabajo individual del 90% en el CIM y de un 70% trabajando en simultáneo con más estaciones del CIM del laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.
- Con el análisis de toda la información preliminar y partiendo de una línea base, se logró indexar al CIM del laboratorio de CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, el sistema de manufactura aditiva como estación de impresión 3D, donde el proceso se controla desde una interfaz que se encuentra en la computadora central, las opciones que brinda dicha interfaz, es controlar un proceso continuo del modelo a imprimir y la cantidad de veces que el usuario requiera repetir el ciclo en esta y otras estaciones indexadas al CIM.
- Se analizó las alternativas de solución y los parámetros de diseño de la estación donde se diseñó una estación de impresión 3D con un área de trabajo de 190x170x140 mm, con la capacidad de imprimir filamentos como el PLA además una de las partes principales fue la programación de la impresora 3D, se optó por el Firmware de código abierto Marlin, el cual fue adaptado para comunicarse bilateralmente mediante el protocolo MQTT con la computadora central mediante tópicos determinados, creando una comunicación segura, baja en consumo de energía y sencilla, con una opción bastante tecnológica capaz de realizar futuras aplicaciones en IoT.
- Se diseñó y se seleccionó los sistemas que componen la estación de impresión 3D para realizar diferentes tipos de pruebas de manera individual utilizando herramientas de

medidas según la normativa, para comprobar el correcto funcionamiento del sistema mecánico, además dentro de las pruebas realizadas se operó la estación de impresión 3D desde el CIM y en conjunto con otra estación de manufactura sustractiva de forma simultánea logrando resultados altamente positivos.

- Se operó la estación de impresión 3D con 30 estudiantes matriculados en la materia de Manufactura Asistida por Computador, los cuales realizaron prácticas con la ayuda del manual de operación de forma independiente y también controlada desde la interfaz de CIM, culminada la práctica fueron encuestados donde los datos recolectados fueron segmentados para validar la hipótesis que se concluyó que mediante el Diseño e implementación de un sistema de manufactura aditiva, se podrá indexar al CIM como estación de impresión 3D.

Recomendaciones

- Para disminuir el error del 10% en la operación individual en el CIM y el 30% de manera simultánea con otras estaciones, se recomienda diseñar un sistema templador de cadena para el sexto eje del manipulador, para evitar pérdidas de paso y mejorar la precisión.
- Se recomienda mantener la estación libre de impurezas y lubricar los ejes ya que son uno de los principales elementos que transmiten el movimiento.
- Antes de usar la estación de impresión 3D se recomienda revisar el manual de usuario y operación para tener conocimiento de su manipulación.
- Retirar los residuos de material que pueden quedar en el fleje magnético de la cama caliente.
- Tener precaución al manipular la estación ya que algunos componentes están sometidos a grandes temperaturas.
- Se recomienda indexar al CIM el AS-RS para mejorar la etapa de recolección y entrega de fleje magnético de la estación de impresión 3D.

Bibliografía

- Aguinsaca, D. (2017). *Diseño y construcción de una impresora 3d tipo cartesiana para la elaboración de placas electrónicas tipo SMD*. Obtenido de Diseño y construcción de una impresora 3d tipo cartesiana para la elaboración de placas electrónicas tipo SMD: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/12801/T-ESPE-053788.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aldáz, M. (2007). *Análisis de Técnicas de Control en el Espacio de Estado e Implementación de Sensores Virtuales para la Estación de Control de Procesos del CIM 2000 ESPE*. Obtenido de Análisis de Técnicas de Control en el Espacio de Estado e Implementación de Sensores Virtuales para la Estación de Control de Procesos del CIM 2000 ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2265/1/T-ESPE-025242.pdf>
- Ali Aburaia. (03 de 06 de 2021). 3D Printer Farm - Robot-based Automation. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=EK57AHT1Xqk>
- Altamirano, E., & Zambrana, S. (2017). *Diseño e Implementación de una Impresora 3D utilizando herramientas Open Source*. Obtenido de Diseño e Implementación de una Impresora 3D utilizando herramientas Open Source: <http://ribuni.uni.edu.ni/2440/1/92079.pdf>
- Arce, K., & Morales, L. (2016). *Guías de laboratorio y programación del sistema CIM MPS500 para su uso en prácticas de métodos y tiempos en la Fundación Universitaria Los Libertadores*. Obtenido de Guías de laboratorio y programación del sistema CIM MPS500 para su uso en prácticas de métodos y tiempos en la Fundación Universitaria Los Libertadores.: <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/800/ArceAlarc%C3%B3nKarenAndrea.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Arcos Juarez, G., & Diosdado De la Peña, J. A. (30 de 12 de 2017). *Manufactura aditiva para prototipado rápido*. Obtenido de Manufactura aditiva para prototipado rápido:

<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1867/1370>

Arregocés, S., & Cano, W. (2007). Control de una celda de un sistema de manufactura integrada por computador - CIM. *Scientia Et Technica*, 169-172.

Becolve. (s.f.). *Motores*. Obtenido de Motores: <https://logitek.es/productos-lk/motores/>

Benitez, J. (2005). *Implementación de la Estación de Visión Artificial y Control de Calidad del Laboratorio CIM 2000: VI 2005*. Obtenido de Implementación de la Estación de Visión Artificial y Control de Calidad del Laboratorio CIM 2000: VI 2005: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/979/1/T-ESPE-012488.pdf>

Calvache, E., & Lopez, G. (2009). *Automatización de la Estación Neumática PN-2800 del Laboratorio C.I.M. 2000 mediante la Plataforma Compactlogix de Allen Bradley*. Obtenido de Automatización de la Estación Neumática PN-2800 del Laboratorio C.I.M. 2000 mediante la Plataforma Compactlogix de Allen Bradley: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/258/6/T-ESPE-026209.pdf>

Carabali, E., & Coral, E. (2016). *Diseño y construcción de una impresora 3d con impresión de soporte en ambiente controlado*. Obtenido de Diseño y construcción de una impresora 3d con impresión de soporte en ambiente controlado.: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12082/1/T-ESPE-053355.pdf>

Chancusi, S., & Navarrete, P. (Abril de 2014). *Diseño y construcción de una impresora 3d auto-replicable controlada inalámbricamente para el prototipado de piezas plásticas de bajo costo, mediante software libre*. Obtenido de Diseño y construcción de una impresora 3d auto-replicable controlada inalámbricamente para el prototipado de piezas plásticas de bajo costo, mediante software libre: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8176/1/T-ESPEL-MEC-0019.pdf>

- Coba, M., & Moliner, E. (2006). ecnologías de fabricación rápida. Optimización y mejora de la tecnología de mecanizado rápido-Coproinmold. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 7-20.
- Costandi, D. E., Pontbriant, L. N., Ruggiero, A. N., & Valente-Comas, K. A. (2017). *Automated 3D Printer Farm*. Obtenido de Automated 3D Printer Farm:
<https://digital.wpi.edu/downloads/8p58pf525?locale=en>
- Diaz, G., & Mañay, E. (2017). *Diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea mediante robot articulado para prácticas de FMS en el laboratorio de CNC*. Obtenido de Diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea mediante robot articulado para prácticas de FMS en el laboratorio de CNC.:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11965/1/T-ESPEL-MEC-0090.pdf>
- DirectIndustry. (s.f.). *Servomotor DC MAC050-141 series*. Obtenido de Servomotor DC MAC050-141 series: <https://www.directindustry.es/prod/jvl-s/product-22516-54575.html>
- EATON. (s.f.). *Cable Adaptador USB-A a RS-232 (DB9) Serial (M/M), 1.52 m [5 pies]*. Obtenido de Cable Adaptador USB-A a RS-232 (DB9) Serial (M/M), 1.52 m [5 pies]:
<https://assets.tripplite.com/product-pdfs/es/u209000r.pdf>
- Eras, W., & Arguero, D. (2010). *Incorporacion de la tecnologia CompactLogix de Allen Bradley a la Estacion de Control de Procesos PS-2800 del CIM 2000*. Obtenido de Incorporacion de la tecnologia CompactLogix de Allen Bradley a la Estacion de Control de Procesos PS-2800 del CIM 2000.: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/171/6/T-ESPE-027399.pdf>
- FabLab SENA Neiva. (s.f.). *Fablabs.io*. Obtenido de Fablabs.io:
<https://www.fablabs.io/labs/fablabsenaneiva>

FDM 2000 / 3000 / 8000. (s.f.). Obtenido de FDM 2000 / 3000 / 8000:

<https://support.stratasys.com/sitecore/api/downloadazurefile?id={F9B9C75D-F105-4097-A321-5E81F3E6694D}>

filament2print. (29 de Marzo de 2023). *Velocidades y aceleraciones en impresión 3D*. Obtenido de Velocidades y aceleraciones en impresión 3D:

https://filament2print.com/es/blog/178_velocidades-aceleraciones-impresion-3d.html

flickr. (s.f.). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia* . Obtenido de Universidad Nacional Abierta y a Distancia :

<https://www.flickr.com/photos/universidadunad/30835974493/in/album-72157677744700116/>

Fonseca, C., & Miranda, P. (6 de Marzo de 2018). *Diseño e implementación de un prototipo de impresora 3d de cinco ejes para el ahorro de material y mejoramiento de la resistencia mecánica en piezas fabricadas mediante el método de deposición de material fundido en la Universidad de las Fuerzas Armadas E*. Obtenido de Diseño e implementación de un prototipo de impresora 3d de cinco ejes para el ahorro de material y mejoramiento de la resistencia mecánica en piezas fabricadas mediante el método de deposición de material fundido en la Universidad de las Fuerzas Armadas E:

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14160/1/T-ESPEL-MEC-0130.pdf>

Gálvez, P. (s.f). *Manufactura Integrada por Computador (CIM)*. Obtenido de Manufactura Integrada por Computador (CIM):

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1682&ni=manufactura-integrada-por-computador-40cim41>

geeknetic. (2014). *geeknetic*. Obtenido de <https://www.geeknetic.es/Guia/987/Como-montar-una-impresora-3D-casera.html>

- HTA3D. (s.f.). *Cama caliente y superficie de Impresión 3D*. Obtenido de Cama caliente y superficie de Impresión 3D: <https://www.hta3d.com/es/blog/cama-caliente-y-superficies-de-impresion-3d>
- HTA3D. (s.f.). *Conexiones de la RAMPS 1.4*. Obtenido de Conexiones de la RAMPS 1.4: <https://www.hta3d.com/es/blog/Como-Conectar-RAMPS1.4>
- Impresión 3D*. (s.f.). Obtenido de Impresión 3D: <https://terapiaocupacional3dpa.wordpress.com/impresion-3d/>
- Isaac. (2020). *Motor brushless: lo que deberías saber sobre estos motores*. Obtenido de Motor brushless: lo que deberías saber sobre estos motores: <https://www.hwlibre.com/motor-brushless/>
- Isaac. (2020). *Nema 17*. Obtenido de Nema 17: <https://www.hwlibre.com/nema-17/>
- Larico, M., Paucar, F., & Herrera, C. (2018). *Sistema de Manufactura Reconfigurables*. Obtenido de Sistema de Manufactura Reconfigurables: <https://es.scribd.com/document/394551384/APLICACIONES-AL-CIM>
- Lasluisa, H. (27 de Octubre de 2017). *Investigación del prototipado rápido de piezas con orientación de fibras según su perfil mediante el robot KUKA KR16 de la ESPE-EL*. Obtenido de Investigación del prototipado rápido de piezas con orientación de fibras según su perfil mediante el robot KUKA KR16 de la ESPE-EL: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13735/1/T-ESPE-057811.pdf>
- Leon, J., & Torres, E. (2013). *Diseño de un prototipo de impresora 3D que aplica la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida*. Obtenido de Diseño de un prototipo de impresora 3D que aplica la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida: <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2470>
- Lozada, O. (2017). *Diseño de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador (CIM) para el Laboratorio de Fabricación Digital – FabLab Neiva*. Huila.

- Macdonald, E., Kim, C. y., & Lee, J.-W. (Junio de 2015). *A Study on Manufacturing System Integration with a 3D printer based on the Cloud Network*. Obtenido de A Study on Manufacturing System Integration with a 3D printer based on the Cloud Network:
https://www.researchgate.net/publication/282459387_A_Study_on_Manufacturing_System_Integration_with_a_3D_printer_based_on_the_Cloud_Network
- Martínez, J., & Vázquez, J. (2013). *Control híbrido de motores DC sin escobillas*. Obtenido de Control híbrido de motores DC sin escobillas:
<https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/241/1/ReyesSSA.pdf>
- Moreno, G., Molina, J., Francés, M. d., & Rosales, I. (2018). *Manufactura aditiva, una alternativa de producción actual. Reaxion*.
- Mott, R. (2009). *Resistencia de Materiales*. México: PEARSON EDUCATION.
- MovilTronics. (s.f.). *Extrusor MK8 1.75mm*. Obtenido de Extrusor MK8 1.75mm :
<https://moviltronics.com/tienda/extrusor-mk8-175mm/>
- Navarro, C. (Julio de 2010). *Sistemas de ejecución de manufactura en la fabricación integrada por computador y prácticas de laboratorio de sistemas Scada*. Obtenido de Sistemas de ejecución de manufactura en la fabricación integrada por computador y prácticas de laboratorio de sistemas Scada.:
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/918/digital_19599.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- Novotek. (s.f.). *MQTT – leichtgewichtiges Publish/Subscribe-Messaging-Protokoll*. Obtenido de MQTT – leichtgewichtiges Publish/Subscribe-Messaging-Protokoll:
<https://www.novotek.ch/insight/mqtt-leichtgewichtiges-publish-subscribe-messaging-protokoll/>
- Ortiz, J. M., Guzmán, M. D., & Casanova, O. L. (2019). *Sistemas de manufactura*. Obtenido de Sistemas de manufactura:
<https://libros.uat.edu.mx/index.php/librosuat/catalog/download/193/163/475-1?inline=1>

- Pavon, L., & Cruz, W. (2015). *Diseño y construcción de un equipo de impresión 3d con resina fotosensible UV para elaborar prototipos de piezas por medio del proceso DLP*.
Obtenido de Diseño y construcción de un equipo de impresión 3d con resina fotosensible UV para elaborar prototipos de piezas por medio del proceso DLP:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10662/1/T-ESPE-049196.pdf>
- perle. (s.f.). *RS232 a Ethernet | Transmite datos RS232 sobre Ethernet TCP/IP*. Obtenido de RS232 a Ethernet | Transmite datos RS232 sobre Ethernet TCP/IP:
<https://www.perlesystems.es/products/rs232-to-ethernet.shtml>
- Prusa. (s.f.). *Kit de Impresora 3D Original Prusa i3 MK3S+*. Obtenido de Kit de Impresora 3D Original Prusa i3 MK3S+: <https://www.prusa3d.com/es/producto/kit-de-impresora-3d-original-prusa-i3-mk3s/>
- Robochip. (s.f.). *Cama Magnetica*. Obtenido de Cama Magnetica:
<https://www.robochip.net/product-page/cama-magnetica>
- Romero, D., & Anzola, N. (2012). *Manufactura integrada por computadora CIM*. Obtenido de Manufactura integrada por computadora CIM:
<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/1181>
- Scribd. (s.f.). *Tabla de Rosca ACME*. Obtenido de Tabla de Rosca ACME:
<https://es.scribd.com/document/400583240/329892129-Tabla-de-Rosca-ACME#>
- slideshare. (2014). *Tabla chi cuadrado*. Obtenido de Tabla chi cuadrado:
<https://www.slideshare.net/mayhuasca2/tabla-chi-cuadrado-37003519>
- Solectro. (s.f.). *Solectro*. Obtenido de <https://solectroshop.com/es/impresoras-3d-fdm-para-montar-diy/1446-impresora-3d-anet-a6-diy-kit-6941377720754.html>
- Soriano, S. A. (2019). *Diseño de una impresora 3D para la construcción de viviendas*. Obtenido de Diseño de una impresora 3D para la construcción de viviendas:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/134783/memoria-tfg-sandra-amado-soriano.pdf>

stratasys. (s.f.). *FDM 2000/3000/8000*. Obtenido de FDM 2000/3000/8000:

https://support.stratasys.com/en/printers/fdm-legacy/fdm-2000-3000-8000?sc_lang=es

SUMITEC. (s.f.). *Acero Inoxidable*. Obtenido de Acero Inoxidable:

<https://www.sumiteccr.com/acero/inoxidable/AI07.pdf>

TechDesign. (s.f.). *Qué es un Servomotor Industrial?* Obtenido de Qué es un Servomotor

Industrial?: <https://www.automatizacion-en-quito.com/servomotores-industriales/>

Transmisión por cadena. (s.f.). Obtenido de Transmisión por cadena:

<https://sites.google.com/site/martaomecanis/mecanismos-de-transmision-circular/transmision-por-cadena>

Trapero, D. (12 de 05 de 2019). *Tipos de Impresoras 3D, la guía definitiva de Bitfab*. Obtenido de Tipos de Impresoras 3D, la guía definitiva de Bitfab: <https://bitfab.io/es/blog/tipos-de-impresoras-3d/>

UNAD. (s.f.). *Laboratorio CIM (Manufactura integrada por Computador)*. Obtenido de Laboratorio CIM (Manufactura integrada por Computador):

<https://estudios.unad.edu.co/componente-practico-ebti/escenarios-remotos-ecbti/laboratorio-cim-manufactura-integrada-por-computador?showall=1>

Vanegas, L. (2018). *Diseño de elemento de máquinas*. Pereira: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira.

Vasconez, E., & Viteri, A. (2017). *Implementación de un prototipo de impresora 3d controlada inalámbricamente por bluetooth mediante una plataforma Android*. Obtenido de Implementación de un prototipo de impresora 3d controlada inalámbricamente por bluetooth mediante una plataforma Android:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14619/1/UPS-GT001984.pdf>

Velázquez, J. (Revista del Departamento Académico de Ingeniería Universidad Ricardo Palma). Supervisión y control de sistemas CIM. *Revista del Departamento Académico de Ingeniería Universidad Ricardo Palma*, 2-3.

ZIKODRIVE. (s.f.). *Marcos de motor y especificaciones típicas para motores paso a paso.*

Obtenido de Marcos de motor y especificaciones típicas para motores paso a paso:

<https://zikodrive.com/es/uFAQS/nema-motor-marco-tamanos-media/>

Anexos