



Diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas de patrones, previo a la elaboración de prendas, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui.

Campaña Ramírez, Jean Carlos y Cevallos Ortiz, Patricio Marcelo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

Ing. Caizalitín Quinaluisa, Edwin Alejandro

Lunes 07 de agosto de 2023

Latacunga

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos



Plagiarism and AI Content Detector Report

Tesis_Campaña_Cevallos (1).docx

Scan details

Scan time:
August 7th, 2023 at 19:40 UTC

Total Pages:
129

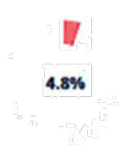
Total Words:
32240

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	1.2%	379
Minor Changes	1.1%	356
Paraphrased	1.8%	572
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	4.8%	585
Human text	95.2%	11681

[Learn more](#)

Plagiarism Results: (40)

Fundamentos básicos del procesamiento de imágenes...

0.6%

<https://www.famaf.unc.edu.ar/~pperez1/manuales/cim/cap2...>

Curso de imágenes médicas ...

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT CARTESIA...

0.6%

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/1...>

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT CARTESIANO CON UN CONTROL DE POSICIÓN PUNTO A PUNTO AUTOR: CRISTIAN LEONARDO RODRÍGUEZ...

Robots cartesianos de sobremesa - Larraioz Elektro...

0.4%

<https://larraioz.com/ia1/productos/robots-cartesianos-sobre...>

Saltar al contenido CATÁLOGO SmartGreen Programa LMT Form...

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "Diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas de patrones, previo a la elaboración de prendas, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui. " fue realizado por los señores Campaña Ramírez, Jean Carlos y Cevallos Ortiz, Patricio Marcelo; 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 analizado 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, 07 de agosto de 2023

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.

C. C.: 0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Campaña Ramírez, Jean Carlos**, con cédula de ciudadanía n°1803930393 y **Cevallos Ortiz, Patricio Marcelo**, con cédula de ciudadanía n°0550306575 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas de patrones, previo a la elaboración de prendas, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui**, 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, 07 de agosto de 2023

Campaña Ramírez, Jean Carlos

C.C.: 1803930393

Cevallos Ortiz, Patricio Marcelo

C.C.: 0550306575



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Autorización de Publicación

Josotros, **Campaña Ramírez, Jean Carlos**, con cédula de ciudadanía n°1803930393 y **Cevallos Ortiz, Patricio Marcelo**, con cédula de ciudadanía n°0550306575, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas de patrones, previo a la elaboración de prendas, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 07 de agosto de 2023

Campaña Ramírez, Jean Carlos

C.C.: 1803930393

Cevallos Ortiz, Patricio Marcelo

C.C.: 0550306575

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo al incansable esfuerzo de mi madre, Glenda R. Ella ha estado a mi lado de manera incondicional, nunca me ha permitido rendirme y siempre me ha motivado a ser una persona mejor.

Cada sacrificio, cada logro y cada meta alcanzada reflejan las lágrimas derramadas por mi querida abuela, Amelia R., durante su vida. Agradezco este logro a mi padre, Raúl C., así como a mis hermanos Gary C. y Dudikof C., quienes han sido un gran apoyo en los momentos más difíciles de mi vida.

Dedico este gran paso que doy a todas las personas que han confiado en mí a lo largo de este camino tan arduo: mis amigos, familiares y conocidos. No tengo palabras para agradecerles por brindarme fuerza y aliento constantemente, y por ayudarme a convertirme en una mejor persona día a día. Esta meta alcanzada lleva impreso cada uno de sus nombres.

Por último, pero no menos importante quiero dar un agradecimiento a la Sra. Elsa A., Sr. Patricio S., Génesis S., Carlita, Noha, Nahomi, Carlitos y Seraphiel, por abrirme no sólo las puertas de su casa, sino de su vida, apoyarme, motivarme y no dejarme rendir, es muy grato saber que existen personas con un noble corazón, no son sólo conocidos o personas que comparten tiempo conmigo sino ustedes son mi familia.

Campaña Ramírez, Jean Carlos

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mi madre Liliana Ortiz por su apoyo incondicional ya que a pesar de las dificultades del camino siempre ha estado ahí para brindarme palabras de aliento y su amor, por siempre creer en mí y en mis capacidades gracias mamá, a mi abuelo Custodio Ortiz que, aunque ya no esté con nosotros siempre fue como un padre para mí y un ejemplo a seguir, a mi abuela Diocelina Lozada por acogerme en su seno como un hijo más, por enseñarme disciplina, valores y buenas costumbres.

A mis hermanas Jaqueline y Fanny que con su fortaleza y carácter me han enseñado a identificar siempre mis fortalezas y no me han dejado caer en el camino, a mis tíos Medardo O, Ángel O, Fanny O, Beatriz O, Marco O, Rosa A, Clara B a mis primos Danilo O, Consuelo L por siempre brindarme una mano en momentos de dificultad, consejos y palabras de aliento, agradezco a Dios infinitamente por haberme proporcionado una familia tan grande y atribuyo este logro no solo a mi sino a toda mi familia.

Finalmente, a todos mis amigos Jean Carlos C, Henry A, Karen A, Fernanda D, Joel A, Néstor A, Iván C, Bruno C, Alicia M agradezco su amistad y el haber echo de mi formación profesional un bonito recuerdo a pesar de las dificultades y espero que la vida les recompense siempre.

Patricio Marcelo Cevallos Ortiz

Agradecimiento

Expresaré mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte de mi camino y me han apoyado a mi progresión como profesional. Sus palabras de aliento, apoyo incondicional y confianza en mí han sido fundamentales en cada paso que he dado.

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre, mi padre y hermanos por su constante apoyo y sacrificio han sido mi mayor motivación. A ti, mamá, te debo mi determinación y perseverancia. A ti, padre, te debo la sabiduría y madurez. A ustedes hermanos, les agradezco la confianza y el acompañamiento.

A mi compañero de tesis, que a pesar de no tener todo a nuestro favor confió en nuestras capacidades para afrontar las adversidades, que en tu futuro como ingeniero destaques como lo hiciste en la carrera.

Es grato tener profesores que te apoyen en tu trayecto a ser ingeniero, como no agradecer de la manera más cordial a mis ingenieros de la Universidad De Las Fuerzas Armadas "ESPE", gracias por ser unos increíbles docentes, sobre todo a mi tutor de la tesis, Ing. Edwin Caizalitín.

El agradecimiento no es suficiente para enunciar toda mi gratitud, pero espero que estas palabras transmitan la honestidad de mis sentimientos, les agradezco a todos por ser parte de mi viaje y por contribuir en mi éxito.

Campaña Ramírez, Jean Carlos

Agradecimiento

Agradezco infinitamente a la Universidad de las Fuerza Universidad de la Fuerzas Armadas “ESPE” sede Latacunga por haberme permitido formarme profesionalmente en tan prestigiosa institución educativa a mis docentes que han impartido su valioso conocimiento.

También me gustaría Expresar mi gratitud al Ing. Edwin Caizalín por la orientación brindada en el proyecto de titulación.

Por último, me gustaría agradecer a todas mis buenas amistades por su apoyo y sincera amistad les deseo muchos éxitos y anhelo poder seguir siendo amigos en futuro muchas gracias.

Cevallos Ortiz, Patricio Marcelo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenidos	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Índice de contenidos	10
Índice de figuras	16
Índice de tablas	23
Resumen	26
Abstract	27
Capítulo I: Planteamiento del problema	28
Introducción.....	28
Antecedentes.....	28
Formulación del problema.....	30
Descripción resumida del proyecto	31
Justificación e importancia	33

Objetivos	35
<i>Objetivo general</i>	35
<i>Objetivos específicos</i>	35
Hipótesis	36
Variables de investigación.....	36
<i>Variable Independiente</i>	36
<i>Variable Dependiente</i>	36
Capítulo II: Marco teórico	37
Imagen.....	37
<i>¿Qué es una imagen en el contexto de la Visión Artificial?</i>	37
Robot Cartesiano.....	39
Adquisición de imágenes 2D.....	41
Filtros de imagen.....	44
<i>Filtros de suavizado.</i>	47
Open CV	48
Visión artificial.....	49
<i>Ojo de pez</i>	50
Sensores y actuadores	51
<i>Sensores</i>	51
<i>Clasificación de los sensores</i>	51
<i>Actuadores</i>	53

	12
Motores paso a paso.....	55
<i>Tipos de motores paso a paso.....</i>	<i>55</i>
Servomotores	56
Transistores.....	57
Microprocesadores y Microcontroladores.....	58
<i>Microcontroladores</i>	<i>58</i>
<i>Microprocesadores.....</i>	<i>58</i>
CNC Shield V3	58
Capítulo III: Selección de componentes, diseño y construcción	59
Diseño del sistema.....	59
<i>Necesidades del cliente.....</i>	<i>59</i>
<i>Aspectos relacionados al entorno.....</i>	<i>61</i>
<i>Especificaciones técnicas del sistema</i>	<i>61</i>
Matriz (QFD).....	63
<i>Análisis de la Matriz (QFD).....</i>	<i>65</i>
Toma de decisiones basada en Modelos.....	66
Selección de Conceptos	68
<i>Selección del material de la estructura de la máquina.....</i>	<i>70</i>
<i>Valoración de conceptos del material para la estructura de la máquina</i>	<i>72</i>
<i>Selección de conceptos para el perfil de la estructura de la máquina...</i>	<i>73</i>
<i>Valoración de conceptos para el perfil de la estructura de la máquina .</i>	<i>75</i>

<i>Selección de conceptos para los motores de la máquina</i>	<i>77</i>
<i>Valoración de conceptos para los motores de la máquina.....</i>	<i>79</i>
<i>Selección de conceptos para la cámara de la máquina</i>	<i>81</i>
<i>Valoración de conceptos para la cámara de la máquina</i>	<i>83</i>
<i>Selección de conceptos para el controlador de la máquina.....</i>	<i>85</i>
<i>Valoración de conceptos para el controlador de la máquina</i>	<i>88</i>
Arquitectura de Producto	89
Esquema del producto.....	90
Agrupar los elementos del esquema	91
Disposición geométrica aproximada	92
Diseño y dimensionamiento de la estructura.....	93
<i>Dimensiones de la estructura</i>	<i>94</i>
<i>Diseño de la estructura del eje “Y”</i>	<i>96</i>
<i>Análisis de Cargas.....</i>	<i>97</i>
<i>Cálculos de las cargas del eje “Y”</i>	<i>100</i>
<i>Diseño de la estructura del eje “X”</i>	<i>105</i>
<i>Cálculos de la estructura del eje “X”</i>	<i>108</i>
<i>Cálculos de los carros.....</i>	<i>113</i>
Diseño del control eléctrico.....	119
<i>Cálculos del torque del motor.....</i>	<i>119</i>
<i>Microcontrolador del sistema</i>	<i>121</i>

<i>Driver Motor paso a paso DRV8826</i>	122
<i>Sensor de finales de carrera</i>	123
Simulación de cálculos estructurales	124
<i>Perfil del eje “Y”</i>	125
<i>Perfil del eje “X”</i>	128
<i>Varilla roscada de soporte</i>	130
<i>Perfil del carro</i>	133
Construcción de la estructura	136
Implementación del sistema eléctrico a la estructura	150
Implementación del sistema de visión y posicionamiento	154
<i>Calibración de la cámara</i>	154
Integración de la estructura con el sistema de visión	175
Capítulo IV: Pruebas y resultados	179
Pruebas de funcionamiento	179
<i>Patrón 1</i>	179
<i>Patrón 2</i>	181
<i>Patrón 3</i>	183
<i>Patrón 4</i>	184
Recolección de datos	186
<i>Patrón 1</i>	186
<i>Patrón 2</i>	188

<i>Patrón 3</i>	191
<i>Patrón 4</i>	193
<i>Tiempo de recorrido automático</i>	195
Análisis de datos	195
<i>Error Promedio Absoluto (MAE)</i>	196
<i>Error Cuadrático Medio (MSE)</i>	197
<i>Error Porcentual Promedio (MAPE)</i>	197
<i>Desviación Estándar del Error</i>	197
<i>Valores de los patrones</i>	198
<i>Tiempo de recorrido automático</i>	199
Validación de hipótesis	200
Análisis de costos	202
<i>Costos directos</i>	202
<i>Costos indirectos</i>	204
<i>Costo total</i>	205
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	206
Conclusiones	206
Recomendaciones	207
Bibliografía	208
Anexos	215

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Esquema del proceso para el sistema de visión artificial</i>	31
Figura 2 <i>Elementos de la comunicación visual por medio de la imagen</i>	37
Figura 3 <i>Composición de colores de una imagen</i>	38
Figura 4 <i>Representación numérica de una imagen</i>	38
Figura 5 <i>Vista general de los robots industriales</i>	39
Figura 6 <i>Robot cartesiano</i>	40
Figura 7 <i>Esquema cualitativo del espectro electromagnético</i>	42
Figura 8 <i>Imagen en representación vectorial (izquierda) y en pixelado bitmap (derecha)</i> ...	43
Figura 9 <i>Aplicación de operadores de rotación, en dominio de coordenadas y de frecuencias, respectivamente</i>	46
Figura 10 <i>Imagen en representación de las aplicaciones de las transformaciones referidas para una imagen con Open CV</i>	49
Figura 11 <i>Funcionamiento de la Visión Artificial</i>	50
Figura 12 <i>Efecto “Ojo de pez”</i>	51
Figura 13 <i>Clasificación de los sensores por su transducción</i>	52
Figura 14 <i>Clasificación de los sensores por su medición</i>	53
Figura 15 <i>Clasificación de los actuadores</i>	53
Figura 16 <i>Clasificación de los motores paso a paso</i>	55
Figura 17 <i>Servomotor</i>	56
Figura 18 <i>Clasificación de los transistores</i>	57
Figura 19 <i>CNC Shield V3</i>	58
Figura 20 <i>Matriz de calidad o QFD</i>	65

Figura 21 Estructura del sistema de control de la máquina	91
Figura 22 Agrupación de los elementos del sistema de control de la máquina.	91
Figura 23 Disposición geométrica aproximada de la máquina.	93
Figura 24 Dimensiones del perfil de aluminio V-Slot 2040.....	94
Figura 25 Diseño del perfil Tipo V-Slot 2040.	95
Figura 26 Eje de transmisión en “Y”	97
Figura 27 Propiedades físicas en el eje “Z”	98
Figura 28 Movimiento en el eje “Y” con cargas verticales.....	100
Figura 29 Diagrama de las cargas en la estructura del eje “Y”	100
Figura 30 Distancias del eje “Y”.....	101
Figura 31 Diagrama de las cargas y reacciones en el eje “Y”	104
Figura 32 Diagrama del diagrama de momento y de corte	104
Figura 33 Eje de transmisión en “X”	105
Figura 34 Propiedades físicas del eje “X”	106
Figura 35 Distancias del eje “X”.....	106
Figura 36 Movimiento en el eje “X” con cargas verticales.....	108
Figura 37 Diagrama de las cargas en la estructura del eje “X”	108
Figura 38 Diagrama de las cargas y reacciones en el eje “X”	111
Figura 39 Diagrama del diagrama de momento y de corte	112
Figura 40 Estructura del carro vista frontal.....	113
Figura 41 Estructura del carro vista lateral	113
Figura 42 Estructura del carro vista lateral	114

Figura 43 <i>Propiedades mecánicas del PLA</i>	118
Figura 44 <i>Arduino Uno</i>	122
Figura 45 <i>Finales de carrera</i>	124
Figura 46 <i>Propiedades del material Aluminio 6063-T5</i>	125
Figura 47 <i>Simulación de los esfuerzos en el eje “Y”</i>	126
Figura 48 <i>Simulación del factor de seguridad en el eje “Y”</i>	127
Figura 49 <i>Simulación del desplazamiento en el eje “Y”</i>	127
Figura 50 <i>Simulación de los esfuerzos el eje “X”</i>	129
Figura 51 <i>Simulación del factor de seguridad en el eje “X”</i>	129
Figura 52 <i>Simulación del desplazamiento en el eje “X”</i>	130
Figura 53 <i>Simulación de los esfuerzos de la varilla roscada</i>	131
Figura 54 <i>Simulación del factor de seguridad de la varilla roscada</i>	132
Figura 55 <i>Simulación del desplazamiento de la varilla roscada</i>	133
Figura 56 <i>Simulación de los esfuerzos del perfil del carro</i>	134
Figura 57 <i>Simulación del factor de seguridad del perfil del carro</i>	135
Figura 58 <i>Simulación del desplazamiento del perfil del carro</i>	136
Figura 59 <i>Perfiles de aluminio tipo V-Slot 2040</i>	137
Figura 60 <i>Piezas impresas en PLA</i>	137
Figura 61 <i>Ruedas completas Delrin</i>	138
Figura 62 <i>Espaciador 6 mm</i>	138
Figura 63 <i>Arandelas de precisión estampada 5.3 x 10</i>	139
Figura 64 <i>Polea GT2-6mm 16 dientes D-5</i>	139

Figura 65 Banda GT2-6mm con hilo de acero (blanca)	140
Figura 66 Tuercas T insertable M4 serie 20	140
Figura 67 Pernos Allen cilíndrico M3x08, M4x08, M4x10 y M4x40 (mm).....	141
Figura 68 Pernos Allen cabeza plana M5x25, M5x15 y M5x30 (mm)	141
Figura 69 Arandelas M3.....	142
Figura 70 Cadena porta cable TP 10x10.....	142
Figura 71 Micro fin – carrera	143
Figura 72 Varilla roscada inoxidable M12.....	143
Figura 73 Tuercas hexagonales M12	144
Figura 74 Arandelas planas M12.....	144
Figura 75 Arduino Uno R3.....	145
Figura 76 Placa de control CNC Shield V3.....	145
Figura 77 Cámara Web Logitech C922 Pro Stream Full HD.....	146
Figura 78 Cables para motor Nema 17	146
Figura 79 Driver motor paso a paso DRV8826.....	147
Figura 80 Motor paso a paso nema 17 42STH40 1204 1.2A 0.4Nm.....	147
Figura 81 Eje “X” y “Y” unidos mediante el carro	148
Figura 82 Soporte para la cámara y carro del eje “Y”	148
Figura 83 Estructura unida conjuntamente con el carro del “Y”	149
Figura 84 Colocación de las bandas en las poleas de los dos ejes	149
Figura 85 Armado de la estructura conjuntamente con los motores y la varilla roscada ...	150
Figura 86 Motor nema 17 y control mediante el driver motor paso a paso DRV8826	151

Figura 87 <i>Conexión de los cables a la fuente para que pase de 110 V a 12 V</i>	151
Figura 88 <i>Colocación de la fuente para la alimentación de los motores y la shield CNC..</i>	152
Figura 89 <i>Armado del Arduino Uno + Shield CNC y los drivers DRV8826</i>	152
Figura 90 <i>Funcionamiento de los motores con los controladores y la fuente</i>	153
Figura 91 <i>Sinergia de la parte eléctrico conjuntamente con la parte mecánica del sistema</i>	153
Figura 92 <i>Obtención de la matriz de corrección de la cámara</i>	155
Figura 93 <i>Parámetros proporcionados por el usuario</i>	155
Figura 94 <i>Obtención de la matriz de corrección de la cámara</i>	156
Figura 95 <i>Bibliotecas necesarias para el desarrollo de la interfaz gráfica (I.G.)</i>	157
Figura 96 <i>Inicialización de la clase interfaz gráfica con progresión orientada a objetos....</i>	157
Figura 97 <i>Creación de la ventana, dimensionamiento de esta y carga de imágenes</i>	158
Figura 98 <i>Carga de las imágenes de apariencia</i>	158
Figura 99 <i>Creación del frame de la primera columna</i>	159
Figura 100 <i>Ejemplo de la creación de un CtkButton</i>	159
Figura 101 <i>Ejemplo de la creación de un CtkLabel</i>	159
Figura 102 <i>Ejemplo de la creación de un CtkSwitch</i>	160
Figura 103 <i>Ejemplo de la creación de un CtkOptionsMenu</i>	160
Figura 104 <i>Ejemplo de la creación de un Entry</i>	160
Figura 105 <i>Primer frame completo</i>	161
Figura 106 <i>Ventana completa</i>	161
Figura 107 <i>Librerías y variables para la toma de medidas</i>	162
Figura 108 <i>Función para detectar esquinas</i>	163

Figura 109 <i>Función para dibujar esquinas.....</i>	163
Figura 110 <i>Función para activar la cámara web.....</i>	164
Figura 111 <i>Función usada para actualiza y mostrarla en un espacio de la interfaz gráfica.....</i>	164
Figura 112 <i>Función usada para la captura de imágenes por cámara web.....</i>	165
Figura 113 <i>Función usada para aplicar la corrección de la imagen capturada.....</i>	166
Figura 114 <i>Función encargada de todos los eventos del mouse.....</i>	166
Figura 115 <i>Función de actualización del frame de toma de medidas.....</i>	169
Figura 116 <i>Parámetros para eliminar el eje z del ciclo home.....</i>	170
Figura 117 <i>Parámetro \$100=25, \$101=25 del grbl.....</i>	171
Figura 118 <i>Parámetro para la configuración de home cycle en grbl.....</i>	171
Figura 119 <i>Parámetro para la configuración de las velocidades de y aceleraciones de cada uno de cada uno de los ejes.....</i>	172
Figura 120 <i>Función para la obtención de puertos.....</i>	172
Figura 121 <i>Función para la validación de entrada.....</i>	172
Figura 122 <i>Función destinada a establecer la conexión con el puerto serie.....</i>	173
Figura 123 <i>Función destinada a establecer la conexión con el puerto serie.....</i>	173
Figura 124 <i>Funciones movimiento manual.....</i>	174
Figura 125 <i>Funcione de movimiento automático.....</i>	175
Figura 126 <i>Diagrama de funcionamiento del algoritmo de visión y posicionamiento.....</i>	176
Figura 127 <i>Sinergia de la parte mecánica, eléctrica y de control del sistema.....</i>	177
Figura 128 <i>Primera prueba de la figura 1.....</i>	179
Figura 129 <i>Segunda prueba de la figura 1.....</i>	180
Figura 130 <i>Tercera prueba de la figura 1.....</i>	180

Figura 131 <i>Cuarta prueba de la figura 1</i>	180
Figura 132 <i>Quinta prueba de la figura 1</i>	181
Figura 133 <i>Primera prueba de la figura 2</i>	181
Figura 134 <i>Segunda prueba de la figura 2</i>	181
Figura 135 <i>Tercera prueba de la figura 2</i>	182
Figura 136 <i>Cuarta prueba de la figura 2</i>	182
Figura 137 <i>Quinta prueba de la figura 2</i>	182
Figura 138 <i>Primera prueba de la figura 3</i>	183
Figura 139 <i>Segunda prueba de la figura 3</i>	183
Figura 140 <i>Tercera prueba de la figura 3</i>	183
Figura 141 <i>Cuarta prueba de la figura 3</i>	184
Figura 142 <i>Quinta prueba de la figura 3</i>	184
Figura 143 <i>Primera prueba de la figura 4</i>	184
Figura 144 <i>Segunda prueba de la figura 4</i>	185
Figura 145 <i>Tercera prueba de la figura 4</i>	185
Figura 146 <i>Cuarta prueba de la figura 4</i>	185
Figura 147 <i>Quinta prueba de la figura 4</i>	186

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Necesidades del cliente</i>	60
Tabla 2 <i>Especificaciones técnicas del sistema</i>	62
Tabla 3 <i>Simbología especificaciones</i>	63
Tabla 4 <i>Matriz de correlación</i>	64
Tabla 5 <i>Simbología de evaluación</i>	69
Tabla 6 <i>Matriz de selección de conceptos para el material de la estructura de la máquina</i>	70
Tabla 7 <i>Simbología de calificación</i>	71
Tabla 8 <i>Valoración de conceptos del material para la estructura de la máquina</i>	72
Tabla 9 <i>Matriz de selección de conceptos para el perfil de la estructura de la máquina</i>	73
Tabla 10 <i>Valoración de conceptos para el perfil de la estructura de la máquina</i>	76
Tabla 11 <i>Matriz de selección de conceptos para los motores de la máquina</i>	77
Tabla 12 <i>Valoración de conceptos para los motores de la máquina</i>	79
Tabla 13 <i>Matriz de selección de conceptos para la cámara de la máquina</i>	81
Tabla 14 <i>Valoración de conceptos para la cámara de la máquina</i>	83
Tabla 15 <i>Matriz de selección de conceptos para el controlador de la máquina</i>	85
Tabla 16 <i>Valoración de conceptos para el controlador de la máquina</i>	88
Tabla 17 <i>Propiedades mecánicas del Aluminio</i>	94
Tabla 18 <i>Características del perfil V-Slot 2040</i>	95
Tabla 19 <i>Par de rotura mínimo</i>	96
Tabla 20 <i>Datos del eje crítico "Y"</i>	99
Tabla 21 <i>Datos de las variables</i>	102

Tabla 22 Datos del eje "X"	107
Tabla 23 Datos de las variables.....	109
Tabla 24 Características mecánicas del PLA.....	115
Tabla 25 Modelos de motores y sus características	119
Tabla 26 Modelo Nema 17 42STH40-1204A 1.2A 0.4Nm.....	120
Tabla 27 Driver Motor paso a paso DRV8826.....	123
Tabla 28 Valores de la prueba 1 del patrón 1	186
Tabla 29 Valores de la prueba 2 del patrón 1	187
Tabla 30 Valores de la prueba 3 del patrón 1	187
Tabla 31 Valores de la prueba 4 del patrón 1	187
Tabla 32 Valores de la prueba 5 del patrón 1	188
Tabla 33 Valores de la prueba 1 del patrón 2	188
Tabla 34 Valores de la prueba 2 del patrón 2	189
Tabla 35 Valores de la prueba 3 del patrón 2	189
Tabla 36 Valores de la prueba 4 del patrón 2	190
Tabla 37 Valores de la prueba 5 del patrón 2	190
Tabla 38 Valores de la prueba 1 del patrón 3	191
Tabla 39 Valores de la prueba 2 del patrón 3	191
Tabla 40 Valores de la prueba 3 del patrón 3	191
Tabla 41 Valores de la prueba 4 del patrón 3	192
Tabla 42 Valores de la prueba 5 del patrón 3	192
Tabla 43 Valores de la prueba 1 del patrón 4	193

Tabla 44 <i>Valores de la prueba 2 del patrón 4</i>	193
Tabla 45 <i>Valores de la prueba 3 del patrón 4</i>	193
Tabla 46 <i>Valores de la prueba 4 del patrón 4</i>	194
Tabla 47 <i>Valores de la prueba 5 del patrón 4</i>	194
Tabla 48 <i>Pruebas de tiempo del modo automático</i>	195
Tabla 49 <i>Valores del patrón 1</i>	198
Tabla 50 <i>Valores del patrón 2</i>	198
Tabla 51 <i>Valores del patrón 3</i>	198
Tabla 52 <i>Valores del patrón 4</i>	198
Tabla 53 <i>Validación de las mediciones de los patrones</i>	201
Tabla 54 <i>Costos directos de la máquina</i>	202
Tabla 55 <i>Costos indirectos de la máquina</i>	205
Tabla 56 <i>Presupuesto total de fabricación</i>	205

Resumen

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo desarrollar un sistema para la verificación precisa de medidas en patrones de prendas de vestir previo a su elaboración en la empresa FAME S.A. En busca de una solución eficiente, se emplea un enfoque basado en visión artificial y posicionamiento, aprovechando herramientas como Python, OpenCV y Arduino. El sistema implementado permite la detección y medición precisa de las dimensiones de los patrones, asegurando una mayor exactitud y eficiencia en el proceso de medición. Con la utilización de la cámara Logitech C922 Pro HD y el controlador Arduino Uno + Shield CNC, se logra una selección óptima de componentes basada en criterios de costo, peso, tamaño, ángulo focal y resolución. La arquitectura del producto ha sido cuidadosamente definida, asignando funciones específicas a los componentes físicos, permitiendo una correlación clara entre las funcionalidades eléctricas y de automatización con las partes físicas del dispositivo. Este sistema en el contexto actual de la industria textil, la automatización y aplicación de tecnologías como la visión artificial y el posicionamiento representan un salto cualitativo en la eficiencia y precisión de los procesos de producción. La culminación del sistema, no es solo un impulso en la competitividad, sino que se establece un referente en el uso de tecnologías avanzadas en el sector textil. Mediante el proceso que se aplica sienta las bases para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la automatización y la mejora continua de la calidad en la manufactura de prendas de vestir, impulsando así la innovación en el sector y fortaleciendo su posición en el mercado global.

Palabras Clave: Visión Artificial, Sistemas de Verificación de Medidas, Controladores, Criterios de Selección y Posicionamiento.

Abstract

The present graduation project aims to develop a system for the precise verification of measurements in clothing patterns before their production at FAME S.A. To achieve an efficient solution, a vision-based approach is adopted, leveraging tools like Python, OpenCV, and Arduino. The implemented system allows for accurate detection and measurement of pattern dimensions, ensuring enhanced precision and efficiency in the measuring process. By utilizing the Logitech C922 Pro HD camera and the Arduino Uno + Shield CNC controller, an optimal component selection is achieved based on criteria such as cost, weight, size, focal angle, and resolution. The product architecture has been meticulously defined, assigning specific functions to physical components, enabling a clear correlation between electrical and automation features with the physical aspects of the device. In the current context of the textile industry, automation and the integration of technologies like vision-based and positioning signify a qualitative leap in the efficiency and precision of production processes. The culmination of the system is not only a boost in competitiveness, but also establishes a benchmark in the use of advanced technologies in the textile sector. Through the process that is applied, it lays the foundations for future research and development in the field of automation and continuous quality improvement in the manufacture of clothing, thus promoting innovation in the sector and strengthening its position in the global market.

Keywords: Vision-Based, Measurement Verification Systems, Controllers, Selection Criteria, Positioning.

Capítulo I

Planteamiento del problema

Introducción

El primera capitulo constituye un sólido prefacio que aborda la evolución gradual de la empresa textil FAME S.A. hacia un proceso de industrialización, destacando la imperante necesidad de integrar la automatización en sus actividades manuales. En este contexto, se plantea con precisión la fuente del problema que enfrenta la organización, justificando así la relevancia de emprender una búsqueda activa de soluciones.

La importancia de esta investigación radica en el impacto potencial que conlleva la implementación de un sistema automatizado en FAME S.A., lo que se traducirá en mejoras significativas en su eficiencia y competitividad en el sector textil. Mediante una cuidadosa exposición, se definen los objetivos que se persiguen y que serán abordados exhaustivamente a lo largo del desarrollo del presente proyecto.

Antecedentes

FAME S.A. Es una empresa del Estado Ecuatoriano (ISSFA) con 70 años de experiencia y labor profesional, que se dedica exclusivamente a la confección y producción de uniformes e indumentaria siendo líderes en los sectores de Seguridad y Defensa Nacional, con una confección anualmente de 600.000 prendas, 120.000 artículos de equipamiento de seguridad y 180.000 pares de botas abasteciendo las demandas, anualmente se ha visto un gran crecimiento en las ventas, desde el 2016 donde se generó 9.008.000 millones de dólares, hasta en el 2019 con más de 17.000.000 millones de dólares, teniendo un crecimiento aproximado del 53%.

FAME S.A. brinda a sus usuarios un desarrollo amplio en la industria de la seguridad y defensa, teniendo como características fundamentales la de tener un conocimiento exacto de las necesidades y demandas del sector Seguridad y Defensa, Búsqueda equitativa entre excelencia y calidad y una responsabilidad conjunta con el

compromiso para conservar la seguridad interna del estado. En la empresa FAME S.A., según los trabajadores las mediciones se realizan de forma manual, calculando perímetros, ángulos y distanciamientos para verificar el correcto dimensionamiento de las prendas.

Dentro de Latinoamérica otro país que mejora el proceso de mediciones en las prendas es Colombia, la cual más de 14.000 empresas han optado por la automatización de los procesos mediante maquinaria, para reducir costos, desarrollar nuevos acabados en el textil, una alta precisión al reducir el margen de error, implicando maquinaria de medición por coordenadas. Empresas como Lectra Systems ofertan gran ayuda en la parte del proceso de soluciones al momento de automatizar no solo en medición, precisión sino en corte también.

La empresa Mitutoyo de España, tiene sistemas de medición por visión, con la finalidad de mejorar la velocidad y la eficiencia, dado que estas máquinas dan mayor rendimiento, por la reducción significativa de los costos de producción, por la satisfacción de las necesidades más complejas, por su garantía de precisión y la secuencia consecutiva de realizar cuantas veces se necesite y por último para la satisfacción al momento de entrega al cliente. (MITUTOYO, 2018)

A nivel mundial las empresas encargadas a la confección de telas de ropa militar, policial y de defensa pública es amplia, existiendo una gran demanda en países como Vietnam, Turquía, Perú, China, El Salvador y México entre algunas, que generan competencia en precios y calidad del producto. (PINKER, 2022)

También, existen muchas máquinas para la medición que se utiliza en empresas, algunas de estas son las máquinas de medición por coordenada CMSCMM, máquinas tridimensionales de alta precisión, máquinas de medición por visión, máquinas de medición por láser, que facilitan el tiempo de comparación entre las dimensiones establecidas y las que el sublimado realiza.

Formulación del problema

Con el crecimiento exponencial que existe en la actual gerencia de FAME S.A. y con la necesidad de innovar en el desarrollo de nuevos métodos de fabricación de productos para la seguridad y la defensa, uno de los principales problemas es la falta de automatización en varias estaciones de trabajo (estación de verificación de medidas), donde es necesario intervenir de forma directa para la reducción de tiempos de producción.

La empresa FAME S.A satisface con varios estándares de calidad en sus productos, controlando de manera minuciosa cada uno de los procesos que intervienen en su elaboración, desde la etapa de diseño de prendas de vestir donde personal calificado se encarga de diseñar los patrones y sublimados de las prendas a elaborar dependiendo de la necesidad existente, seguidamente los sublimados se trasladan a la estación de verificación donde el personal toma medidas de manera manual en determinados puntos.

Una vez culminada la verificación de medidas se descartan los que presenten errores en las medidas y los correctos se trasladan a la etapa de corte, si bien la empresa FAME S.A es actualmente líder en el mercado nacional en la fabricación de productos para la seguridad y defensa, conforme pasan los años la empresa pretende abrir nuevos mercados tanto como a nivel nacional como a nivel internacional.

Esto permitirá ampliar sus horizontes siempre marcando la diferencia en sus productos tanto en calidad y precio por lo que es de vital importancia la automatización de todos los procesos de la empresa empezando por el proceso de verificación de medidas.

Por último, analizando la situación actual de la empresa, las tecnologías emergentes a nivel mundial y la aprobación del presupuesto por parte de la empresa se puede decir que el diseño, construcción e implementación de un sistema de visión artificial de patrones, previo a la elaboración de prendas, mediante software libre para la verificación de medidas es una necesidad urgente dentro de la empresa y a la vez la realización del proyecto marcaría un paso importante dentro de la innovación y el desarrollo de FAME SA, abriendo

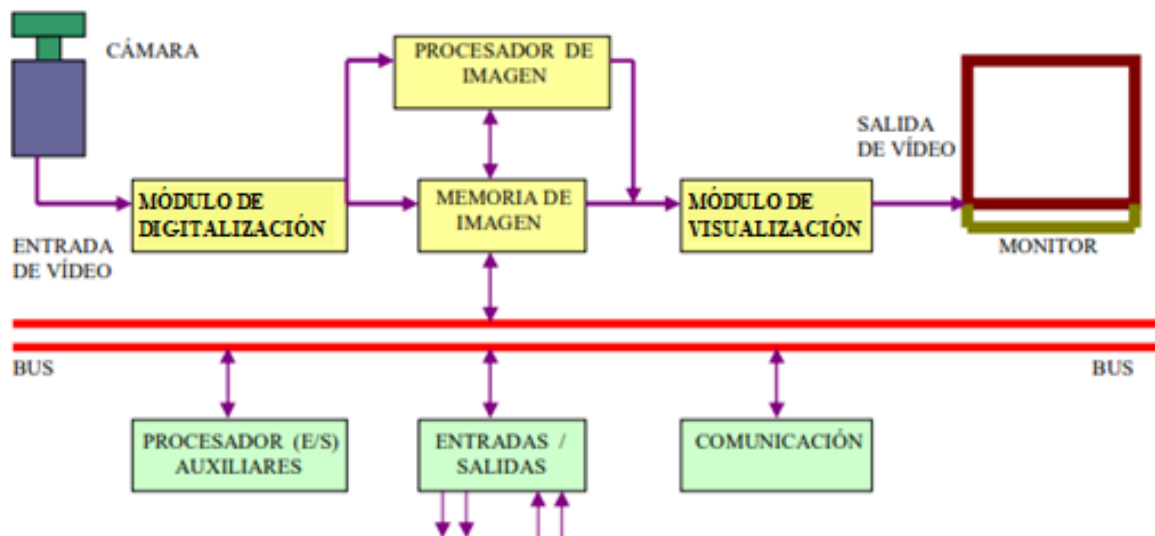
la posibilidad a la elaboración de nuevos proyectos de automatización en el futuro con miras al aumento del volumen de producción para el abastecimiento del mercado tanto a nivel nacional como internacional.

Descripción resumida del proyecto

El proyecto se basa en el diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas de patrones, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial en la estación de trabajo donde proceden a la medición de las prendas en la empresa, el mismo que mejorará la precisión y el tiempo que lleva verificar las medidas.

Figura 1

Esquema del proceso para el sistema de visión artificial



Nota. La Figura 1 representa el proceso de obtención de la imagen desde la cámara de visión artificial hasta la comunicación mediante el módulo de visualización al monitor, Adaptado de *Visión artificial* por (ETIDUDELA, 2010).

Para poder cumplir con lo mencionado, se debe realizar un estudio de todo lo existente a nivel mundial sobre medición a través de visión artificial, ya que ayudará a tener un enfoque más preciso, desde la identificación del programa que se utilizará para programar el sistema, hasta la parte mecánica, eléctrica y electrónica del sistema de posicionamiento donde se colocará la cámara que verificará las mediciones.

Dentro de los parámetros se contempla las dimensiones del sistema, dado que se asignará un área de trabajo dentro de la empresa, donde anteriormente se realizaba el proceso de toma de medidas en una mesa de dos metros y medio de largo por más de medio metro de ancho, donde se optimizará el área de trabajo conjuntamente con las dimensiones del proyecto.

Es importante comprender que, para la parte de diseño, se deberá constituir por tres fases: mecánica, electrónica y control con base a los requerimientos de la empresa, tomando en cuenta las normas de seguridad y construcción a la que están regidas en el Ecuador.

En la primera etapa el diseño mecánico consiste en la identificación y selección de materiales para la fabricación de mecanismos y estructuras, así como también el análisis estructural del mismo mediante el uso de software de modelado 3D con sus respectivos planos, diagramas y simulaciones entre otros.

En la segunda etapa el diseño del sistema eléctrico y electrónico se considerará separar la parte del sistema de posicionamiento y el de visión artificial, en el de posicionamiento se requiere detectar el movimiento de los ejes, se inicia con la identificación y selección de componentes eléctricos tales como sensores, actuadores, drivers, etc. Es necesario para el sistema de posicionamiento, seguidamente se realiza la identificación y selección de la cámara, así como también el sistema de procesamiento de imagen a utilizar en el sistema de visión artificial.

Tercera etapa el control se realiza mediante Softwares que permitan la interacción con visión artificial, seguidamente se crea una interfaz que permita al usuario interactuar con el sistema permitiendo visualizar las distancias a medir, en caso de que este no sea correcto tendrá una base en la cual pueda identificar si es o no es correcto el dimensionamiento de las prendas, según los parámetros asignados por el usuario.

Justificación e importancia

En la actualidad existen métodos y procesos tradicionales y manuales para el desarrollo de medidas en telas, sin embargo, esto requiere normalmente de tiempos largos y revisión por varios operarios en la empresa, además de una previa preparación de los operarios para tomar los dimensionamientos correctos, según el número de telas y los sublimados en dichas, el tiempo puede ser demasiado extensos, para que los siguientes procesos como el corte y el marcado puedan seguir trabajando sin interrupciones.

El presente proyecto es de suma importancia para resolver los problemas existentes en la empresa FAME S.A., tomando en cuenta que los avances tecnológicos han permitido automatizar procesos y tareas que requerían de varios operarios en un área, estos avances permiten realizar tareas de manera más rápidas y precisas en la empresa.

Si bien FAME S.A., actualmente es líder en la producción y comercialización de productos de seguridad y defensa, para el año 2030 pretende alcanzar mercados internacionales aumentando su volumen de producción en gran medida por lo que el uso de métodos manuales representaría una gran limitante en cuanto al proceso de verificación de medidas en patrones de tela.

El fortalecer la empresa es un punto importante para el progreso y desarrollo de su alcance al no tener un correcto desarrollo tecnológico dentro de la misma no se podría cumplir la demanda existen y mucho menos alcanzar nuevos mercados.

En el alcance se toma en cuenta que con el desarrollo del proyecto de titulación: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA VERIFICACIÓN DE MEDIDAS DE PATRONES, PREVIO A LA ELABORACIÓN DE PRENDAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO Y VISIÓN ARTIFICIAL EN LA EMPRESA FAME S.A. EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTÓN RUMIÑAHUI.”, el objetivo es reducir el área de trabajo de la máquina, incorporar adaptaciones de corriente para la alimentación del sistema, colocar de forma estratégica en un lugar donde la luz no sea un factor que perjudique a la identificación de patrones, incluye los planos, accesorios y manual de uso, otro objetivo es la reducción de tiempo y la precisión al momento de tomar las medidas.

El sistema de visión artificial permite tener grandes beneficios, uno de ellos es la precisión y el mejor trabajo a largo plazo, dado que un operario tiende a disminuir la eficiencia después de cierto tiempo, debido al cansancio y el proceso monótono, a diferencia de estos sistemas que están dispuestos a trabajar el día completo con una eficiencia constante.

El sistema automático de verificación de medidas de patrones en telas que se desarrollará requerirá el uso de la mecatrónica para su construcción y operación, como lo es en el sistema de posicionamiento, sistema de control, sistemas de visión artificial y sistemas mecánicos entre otros, ayudando a solventar el problema de la mejora de precisión y velocidad del proceso, reducción del tiempo y aumento de la eficiencia y productividad en su desempeño y competitividad.

En conclusión, la aplicación de sistemas de visión artificial mediante implementaciones mecánicas, electrónicas y de control, en el campo de la línea de investigación de Automática y Control, dirigirá a una gradual industrialización de procesos en la empresa FAME S.A.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar, construir e implementar un sistema automático para la verificación de medidas de patrones, previo a la elaboración de prendas, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui.

Objetivos específicos

- Recopilar información acerca de la visión artificial, función, operaciones, parámetros necesarios para la elaboración de un programa de verificación de medidas de patrones textiles.
- Diseñar un sistema mecánico para el correcto movimiento de los ejes de traslación de la máquina.
- Diseñar un sistema eléctrico, electrónico con los sensores y actuadores necesarios para el funcionamiento del posicionamiento de la cámara dentro del área de trabajo.
- Desarrollar el algoritmo de procesamiento de imágenes y comunicación mediante el uso de Software libre para proceso de verificación de medidas en patrones de tela.
- Desarrollar el algoritmo de posicionamiento de la cámara en cuanto a los ejes de la máquina.
- Construir el sistema de visión artificial considerando los diseños mecánicos, eléctricos - electrónicos planteados previamente.
- Implementar en la empresa FAME S.A. en la estación de verificación de medidas el sistema desarrollado.
- Ejecutar pruebas de funcionamiento de la maquina dentro del entorno industrial para validar el correcto funcionamiento de esta.

Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas en patrones, previo a la elaboración de prenda, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial permitirá reducir los tiempos en la estación de verificación de medidas en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui?

Variables de investigación

Variable Independiente

La implementación del sistema automático para la verificación de medidas de patrones mediante el uso de un sistema de posicionamiento y visión artificial.

Variable Dependiente

La eficiencia en la producción, el tiempo y los costos asociados con la verificación manual de patrones en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, Cantón Rumiñahui.

Capítulo II

Marco teórico

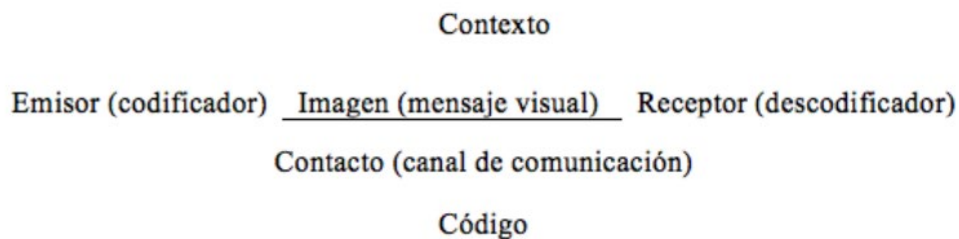
Imagen

A vista de un punto técnico, la imagen se conceptualiza como un elemento de comunicación y recurso de información en aspectos prácticos en relación con que es un elemento que necesita un código para ser descodificada e interpretada. La imagen, ya sea física o digital, es un mensaje que es producido y transmitido por un emisor con un fin específico y que se promociona a través de los distintos canales que conectan emisor y receptor. (Meza Castro, 2018)

Este aspecto técnico se puede corroborar en la ilustración de la Figura 2.

Figura 2

Elementos de la comunicación visual por medio de la imagen



Nota. La Figura 2, representa los factores que influyen al momento de la comunicación por medio de imágenes y los mismos factores que ayudan en la descodificación del mensaje que se quiere transmitir al receptor. Tomado de *Lingüística y poética* por (Jakobson, 1981).

¿Qué es una imagen en el contexto de la Visión Artificial?

Las imágenes son matrices de píxeles, y cada píxel es una combinación de rojo, verde y azul (y, a veces, píxeles adicionales que son un valor alfa o de transparencia. En inglés se conoce como RGB (3 colores) o RGBA (3 + alfa) porque generalmente se respeta este mismo orden (Red, Green, Blue) como se muestra en la ilustración de la Figura 3.

Figura 3

Composición de colores de una imagen

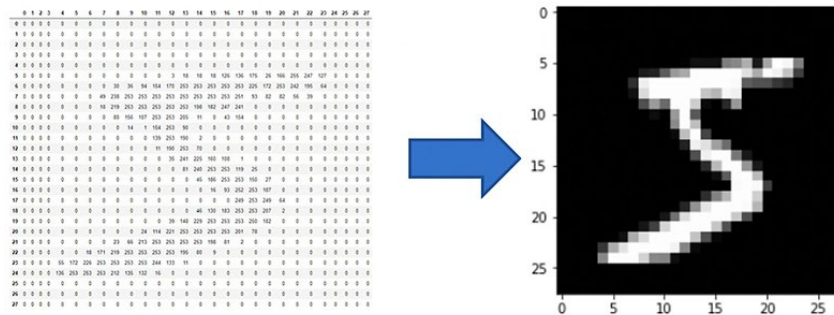


Nota. En la Figura 3, el modelo RGB, son combinaciones de diferentes intensidades de rojo, verde y azul. Y cada componente tiene un valor que va desde 0 hasta 255. Tomado de *La Visión Artificial y el procesamiento de imágenes* por (Xeridia, 2019)

La interpretación visual de una imagen surge de la interacción de estos tres canales fundamentales. No obstante, desde la perspectiva computacional, las imágenes se codifican mediante matrices numéricas, tal como se ilustra en la Figura 4.

Figura 4

Representación numérica de una imagen



Nota. La Figura 4, muestra la representación de una imagen en una matriz, donde cada elemento representa un píxel y contiene valores numéricos que representan el color y la intensidad de ese píxel en particular. Tomado de *La Visión Artificial y el procesamiento de imágenes* por (Xeridia, 2019).

Una característica de las imágenes es que a menudo representan información desorganizada y ruidosa. Las imágenes almacenan una gran cantidad de información, de la cual solo una pequeña fracción se considera esencial para realizar tareas inteligentes (Xeridia, 2019).

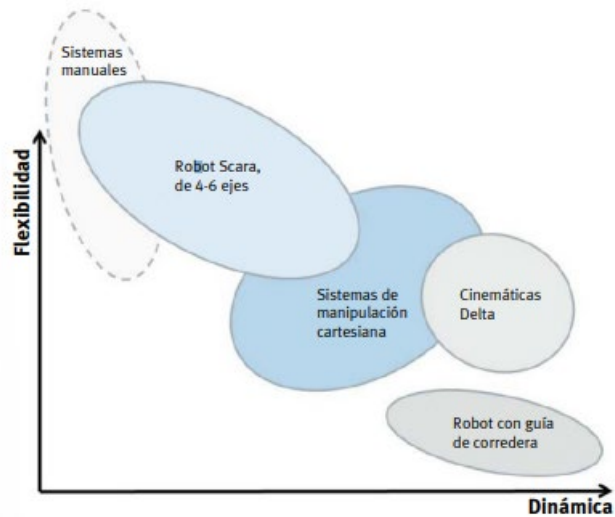
Robot Cartesiano

Los robots de tipo cartesiano, conocidos como robots lineales, los cuales son máquinas que se desplazan a lo largo de tres ejes cartesianos (X, Y, Z). Esto implica que tienen la capacidad de moverse verticalmente, de dentro hacia fuera y de un lado a otro. Estos robots poseen una estructura modular compuesta por una serie de elementos interconectados, como barras y componentes.

Esta característica les proporciona una ventaja significativa, ya que simplifica tanto el proceso de ensamblaje como el de mantenimiento. Además, estos robots son altamente versátiles, pudiendo ser programados de forma flexible y utilizados en diversas aplicaciones. La forma en que se dividen o segmentan los robots cartesianos está determinada por su funcionalidad, flexibilidad y la dinámica del sistema, tal como se muestra en la Figura 5. (Muñoz, 2023)

Figura 5

Vista general de los robots industriales

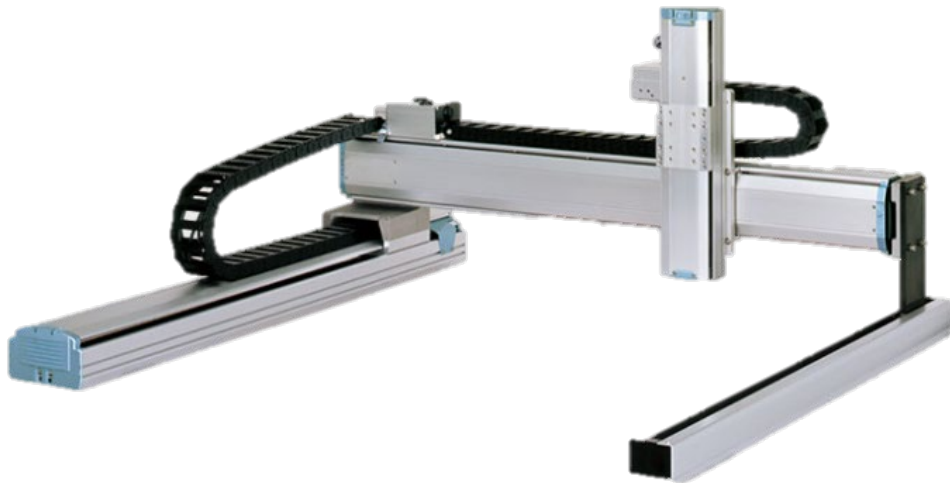


Nota. En la Figura 5, se aprecia la flexibilidad versus la dinámica de los robots cartesianos las cuales son dos características clave que se consideran al diseñar y seleccionar robots para aplicaciones industriales. Tomado de *Libro blanco. Sistemas de manipulación cartesiana comparación técnica con robots clásicos* por (Endrijaitis & Tertünte, 2022)

Existen los robots cartesianos de sobremesa los cuales son ampliamente utilizados en la rama de las industrias que se dedican a los procesos de ensamblaje de diversos componentes, operaciones de atornillado, aplicación de selladores, siliconas y adhesivos, soldadura selectiva, inspección de dispositivos aplicando una cámara de visión al eje Z, pequeños fresados de materiales de poca densidad, así como en industrias pequeñas direccionadas a talleres y laboratorios para trabajos que requieren precisión y calidad que no requieren de grandes espacios. (Larraioz, 2021)

Figura 6

Robot cartesiano



Nota. En la Figura 6, se visualiza la forma de un robot cartesiano, compuesto de 2 ejes, de la marca Yamaha, donde permite un movimiento en el eje “X” y “Y”. *Tomado de Robots cartesianos XY-X de (Yamaha Motor , 2013)*

Algo a considerar de los robots cartesianos de sobremesa para su selección son los factores de decisión, donde tenemos los siguientes

- Según la necesidad del cliente elegir si el robot será construido en base a 2, 3 o 4 ejes, si se necesita XY, XYZ o XYZ+R respectivamente.
- El rango de recorrido de los ejes XYZ.
- Las velocidades de desplazamiento de los diferentes ejes.
- La masa a manipular por el eje cartesiano más externo, normalmente la masa de la herramienta.
- Espacio disponible que corresponderá para montar el robot.
- Las medidas de seguridad si se trabaja sobre una mesa desprotegida.

Adquisición de imágenes 2D

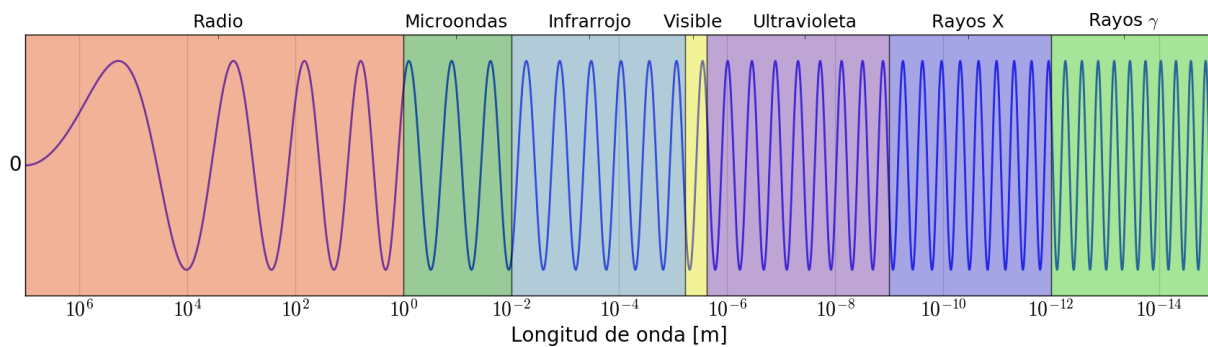
La adquisición de imágenes en 2D es un proceso que va desde mejorar la calidad de imagen hasta obtener información para un correcto procesamiento mediante métodos de

cálculo y análisis. Al momento de modificar la información obtenida de la imagen se debe tener en cuenta el disponer de un sistema de soporte, de esta forma se puede adquirir una imagen entre el objeto que se desea observar y el detector. (Pérez & Valente., 2018)

Según Pérez & Valente., 2018, en el mundo digital, las imágenes y los distintos tipos de detector dependen de la capacidad que tienen para asimilar el tipo de radiación electromagnética y por consiguiente de la información que se puede adquirir del objeto observado por medio de su interacción con la radiación. esta interacción entre objeto, detector y radiación electromagnética proviene el concepto de “bandas”, que sirven para facilitar el estudio del espectro electromagnético que emiten los objetos, el tipo de radiación se define a partir de sus propiedades físicas dentro del espectro electromagnético permitiendo adquirir los objetos a analizar, los detectores y materiales que se pueden utilizar como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Esquema cualitativo del espectro electromagnético



Nota. En la Figura 7, se aprecia el esquema cualitativo del espectro electromagnético el cuál proporciona una forma de clasificar y comprender las diferentes formas de radiación electromagnética según sus propiedades físicas y sus aplicaciones prácticas. Tomado de *Formato de imagen y representación digital* por (Pérez & Valente., 2018)

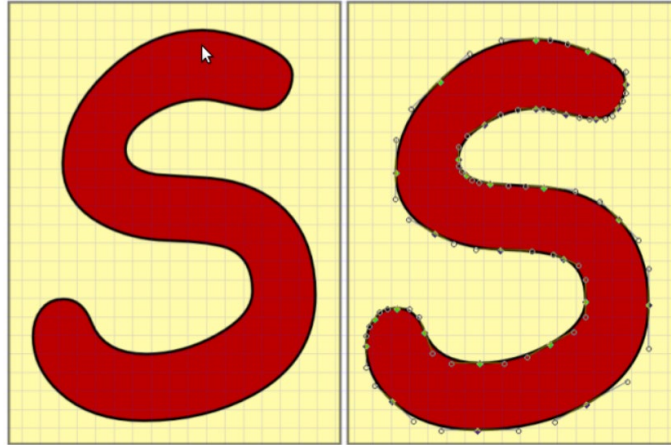
Según Pérez & Valente (2018), las imágenes derivadas de radiación electromagnética se pueden categorizar en términos generales en función de su disposición de frecuencias, desde las más altas hasta las más bajas

1. Rayos γ : Utilizados en medicina nuclear, observaciones de astronomía.
2. Rayos X: Sirven de apoyo en el diagnóstico médico e industria en el campo de control de calidad.
3. Banda ultravioleta: Es utilizada en la inspección industrial y microscopía biológica.
4. Banda visible e infrarroja: Tiene varias aplicaciones, la más común es la fotografía.
5. Microondas: Es útil en radares.
6. Ondas de radio: Es común utilizarlas en la medicina de resonancia magnética y algunas aplicaciones en astronomía.

Por otro parte, las imágenes vectoriales son las que están compuestas por contornos y rellenos definidos matemáticamente por ecuaciones que describen con precisión cada ilustración. Esto permite realizar escalado sin pérdida de calidad, lo cual es especialmente importante en la producción y reproducción de imágenes en dispositivos. Mantener la invariabilidad es crucial en casos donde las ilustraciones contienen áreas con contornos curvos, ya que el uso de píxeles resultaría en una pérdida de resolución, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Imagen en representación vectorial (izquierda) y en pixelado bitmap (derecha)



Nota. En la Figura 8, se aprecia las dos diferentes representaciones de imagen; la representación vectorial se compone de objetos geométricos definidos matemáticamente, lo que permite la escalabilidad sin pérdida de calidad, mientras que las imágenes en pixelado bitmap se forman a partir de una cuadrícula de píxeles, lo que determina su resolución y limita su escalabilidad sin degradación de calidad. Tomado de *Formato de imagen y representación digital* por (Pérez & Valente., 2018)

Filtros de imagen

Según Pérez & Valente., 2018, es posible realizar procesos de filtrado tanto en el dominio espacial de la imagen original $f(m, n)$ como en el dominio de las frecuencias de la transformada $F(m *, n *)$.

En efecto una de las principales ventajas de los espacios de transformadas, es que se puede realizar una operación de filtrado por medio de una multiplicación de transformadas; En contraste con la operación en el dominio de coordenadas, la cual implica una superposición expresada mediante el símbolo \otimes . Por ello en virtud del teorema de convolución, tenemos:

$$(m, n) \otimes g(m, n) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(m, n)g(m - k, n - l)dk dl \quad 1)$$

Y por definición de la transformada de Fourier, se tiene:

$$F_{f,g}(m^*, n^*) \equiv TF[f(m, n) \otimes g(m, n)] = TF[f(m, n)]TF[g(m, n)] \quad 2)$$

$$= F(m^*, n^*)G(m^*, n^*)$$

Donde $G(m^*, n^*)$ es el operador filtro espacial lineal o función de transferencia de filtro.

Para la obtención de la imagen resultado del filtrado $h(m, n)$ aplicamos la transformada inversa:

$$h(m, n) = TF^{-1}[F_{f,g}(m^*, n^*)] \quad 3)$$

El filtro de imagen queda definido por la función de transferencia o por la respuesta de impulso $j(m, n)$ definida por la siguiente ecuación:

$$j(m, n) = F_{f,g}(m, n) = \delta(m, n) \otimes j(m, n) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(m, n) j(k - m, l - n) dk dl \quad 4)$$

Sin embargo, debido a la relación entre dominios espaciales y de frecuencias al procesamiento digital de imágenes se puede determinar mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Delta m^* = \frac{1}{M\Delta m} \quad 5)$$

$$\Delta n^* = \frac{1}{N\Delta n} \quad 6)$$

Si $N=M$, se redefine la transformada de Fourier, obteniendo:

$$F(m^*, n^*) = TF[f(m, n)] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) e^{-2\pi i \left(\frac{m^*m + n^*n}{N} \right)} \quad 7)$$

$$f(m, n) = TF^{-1}[F(m^*, n^*)] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} F(m^*, n^*) e^{2\pi i \left(\frac{m^*m + n^*n}{N} \right)} \quad 8)$$

Donde la componente espectral compleja de $F(m^*, n^*)$ determina el módulo y la fase con las siguientes ecuaciones, respectivamente.

$$|F(m^*, n^*)| = \sqrt{[R(F(m^*, n^*))]^2 + [J(F(m^*, n^*))]^2} \quad 9)$$

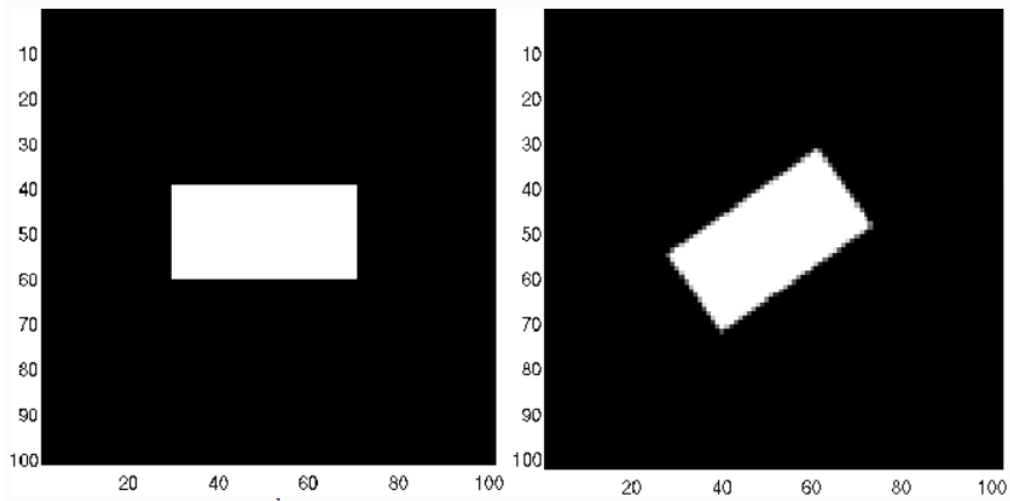
$$\phi(m^*, n^*) = \arctan\left[\frac{J(F(m^*, n^*))}{R(F(m^*, n^*))}\right] \quad 10)$$

Donde J es la componente imaginaria y R es la componente real. De la consideración de $N=M$ y sus ecuaciones se deduce que al filtrar una imagen original cuadrada definida por $f(m, n)$ de dimensiones $N \times N$ mediante un filtro $j(m, n)$ de dimensiones $L \times L$ se obtiene la imagen resultada $g(m, n)$ de $N + L - 1 \times N + L - 1$.

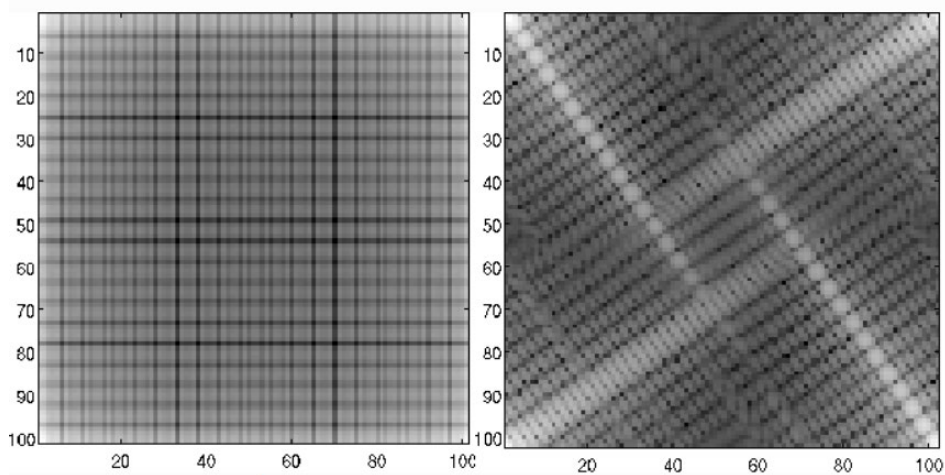
Una aplicación muy común del filtrado es en la rotación de la imagen con el uso de operadores de rotación tanto en el dominio de coordenadas como de frecuencias como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Aplicación de operadores de rotación, en dominio de coordenadas y de frecuencias, respectivamente



a)



b)

Nota. En la Figura 9, se aprecia en la parte a) la rotación de 35° de una imagen original $f(m, n)$ o $f(p, \theta)$ obtenido con el software Matlab en el dominio de las coordenadas y en la parte b) muestra la rotación de 35° de una imagen en el dominio de la transformada $F(m^* , n^*)$ o $F(\omega, \phi)$ obtenido desde el software Matlab. Tomado de *Filtros* por (Pérez & Valente., 2018).

Filtros de suavizado.

Según Pérez & Valente., 2018, se implementan métodos de filtrado para suavizar en el dominio de frecuencias aprovechándose de la característica de transiciones abruptas en

bordes y contornos de la imagen original, donde se puede eliminar frecuencias que estén por debajo o por encima de ciertos valores predefinidos para lograr efectos de suavizado según sea necesario.

Filtro ideal de paso alto.

Los filtros de paso alto se usan comúnmente para limpiar el ruido de baja frecuencia, eliminar el ruido de las señales de audio, enrutar las señales de alta frecuencia a los altavoces apropiados en un sistema de audio y eliminar las distorsiones de baja frecuencia en los datos de series temporales, enfatizando así las altas frecuencias y señales de tendencia de alta frecuencia. (MathWorks, 2018)

Filtro ideal de paso bajo

Es un circuito formado por una resistencia y una bobina conectadas en serie de forma que solo deja pasar frecuencias por debajo de una determinada frecuencia llamada frecuencia de corte (F_c) y rechaza frecuencias por encima de esa frecuencia. (Unicrom, 2023)

Open CV

Open CV se define como Open Source Computer Vision Library, la cual consiste en ser una biblioteca de software visual artificial y un aprendizaje automático de código abierto. Nos permite realizar aplicaciones visuales artificiales como la detección y el reconocimiento de objetos, monitorear objetos móviles, reconocimiento facial, calibración de cámaras, análisis de imágenes médicas, etc.

La biblioteca está escrita en C++ y hace interfaz con varios lenguajes de programación como Python y Java, lo que facilita nuestra integración en varios entornos de desarrollo. (Euroinnova, 2013)

Figura 10

Imagen en representación de las aplicaciones de las transformaciones referidas para una imagen con Open CV



Nota. En la Figura 10, se muestra cómo funciona las librerías de open CV en las imágenes que mediante la programación en Python permite cambiar tonalidad, resolución, calibración, entre otras cosas. Tomado de *OpenCv* por (Programacionpython, 2023)

Visión artificial

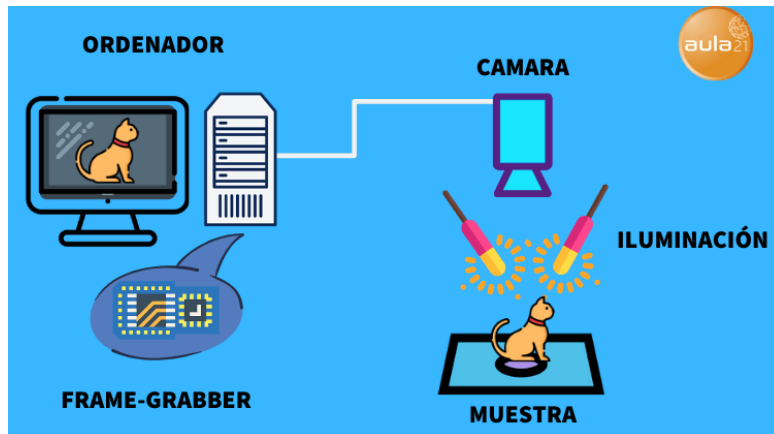
Es un campo inteligente artificial que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, nos permite la detección de defectos, la colación y medición de piezas, es decir, identifica, clasifica y rastrea productos. Ayuda también en el procesamiento y análisis de cualquier tipo de información obtenida a través de imágenes digitales, donde extrae características relevantes a través de la captura de información visual. (Alexander Vasco , 2016)

La visión por computador es un sistema controlado, que captura la imagen de un objeto específico en una línea de producción y continúa a la definición de varios parámetros para el control de calidad como; el color, la textura, la forma, la estructura interna y externa

del producto siendo así enfocado al análisis de forma y área de pequeñas figuras geométricas. (Pazmiño , 2015)

Figura 11

Funcionamiento de la Visión Artificial



Nota. En la Figura 11, se aprecia un diagrama básico de la visión artificial en donde nos ayudará a comprender un poco más a detalle cómo se genera la misma, dando a notar que para emular la vista humana las máquinas necesitan; adquirir, procesar y analizar para entender la imagen y así emitir una respuesta para saber si era correcta o no. Tomado de *Visión Artificial: todo lo que necesitas saber* por (Aula21, 2023)

Ojo de pez

Según Musso, 2023, para el desarrollo del algoritmo de medición se debe partir de un punto muy importante como es el conocimiento del funcionamiento de la cámara la resolución, además en la actualidad existe cámaras que producen el efecto de ojo de pez lo que produce una distorsión visual extrema dando a las imágenes captadas una apariencia hemisférica, por lo cual resulta perjudicial para el proyecto ya de dicha distorsión producen una representación errónea del mundo en 3D en una perspectiva 2D lo que se traducen en error al momento de tomar medidas, para lo cual se aplicará una calibración dicha cámara con la finalidad de compensar la distorsión producida por la cámara.

Figura 12

Efecto “Ojo de pez”



Nota. En la Figura 12, se observa el efecto que se da en la imagen cuando existe una distorsión por el ángulo focal desproporcionado. Tomado de *Ojo de pez* por (Musso, 2023).

Sensores y actuadores

Sensores

Los sensores son dispositivos de medida esenciales que detectan y registran magnitudes de variables físicas, como temperatura, presión, luz, entre otras, transformándolas en señales eléctricas procesables por sistemas electrónicos. El componente activo del sensor, conocido como transductor, es responsable de la conversión de la magnitud física a una señal eléctrica proporcional y representativa.

Su aplicación abarca diversas industrias y áreas de la tecnología, proporcionando información precisa y en tiempo real para sistemas de control, monitoreo, seguridad y otros dispositivos y procesos que dependen de mediciones confiables. (MecatronicaLATAM, 2021)

Clasificación de los sensores

Existen dos formas principales de clasificar los sensores. La primera es a través del principio de transducción, que se refiere al tipo de transductor utilizado en su

implementación. Sin embargo, esta clasificación puede resultar poco práctica, ya que no siempre es posible definir directamente el tipo de variable física que se puede medir mediante un sensor en particular.

A pesar de ello, esta clasificación se detalla en la Figura 13.

Figura 13

Clasificación de los sensores por su transducción



Nota. En la Figura 13, se muestra que la transducción permite derivar los sensores en varios principios, siendo 7 los más relevantes. Tomado de *CONTROL + por* (Altamirano, 2021)

Existe otra forma de clasificar los sensores es según el tipo de variable que miden, lo cual es la clasificación más común y útil, ya que permite determinar la aplicación específica de cada sensor en función de la variable medida.

Esta clasificación según el tipo de variable se presenta en la Figura 14.

Figura 14

Clasificación de los sensores por su medición

13dd00258e6f84c Clasificación de los sensores según la variable física a medir	De posición, velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza y deformación
	De flujo y presión
	De color, luz y visión
	De gas y pH
	Biométricos
	De corriente

Nota. En la Figura 14, se ilustran los distintos tipos de variables físicas que pueden ser medidas con un sensor y, a partir de esta información, se establece la clasificación de los sensores. Tomado de *Sensores (Electrónica/Sistemas Programables)* por (Blade, 2009)

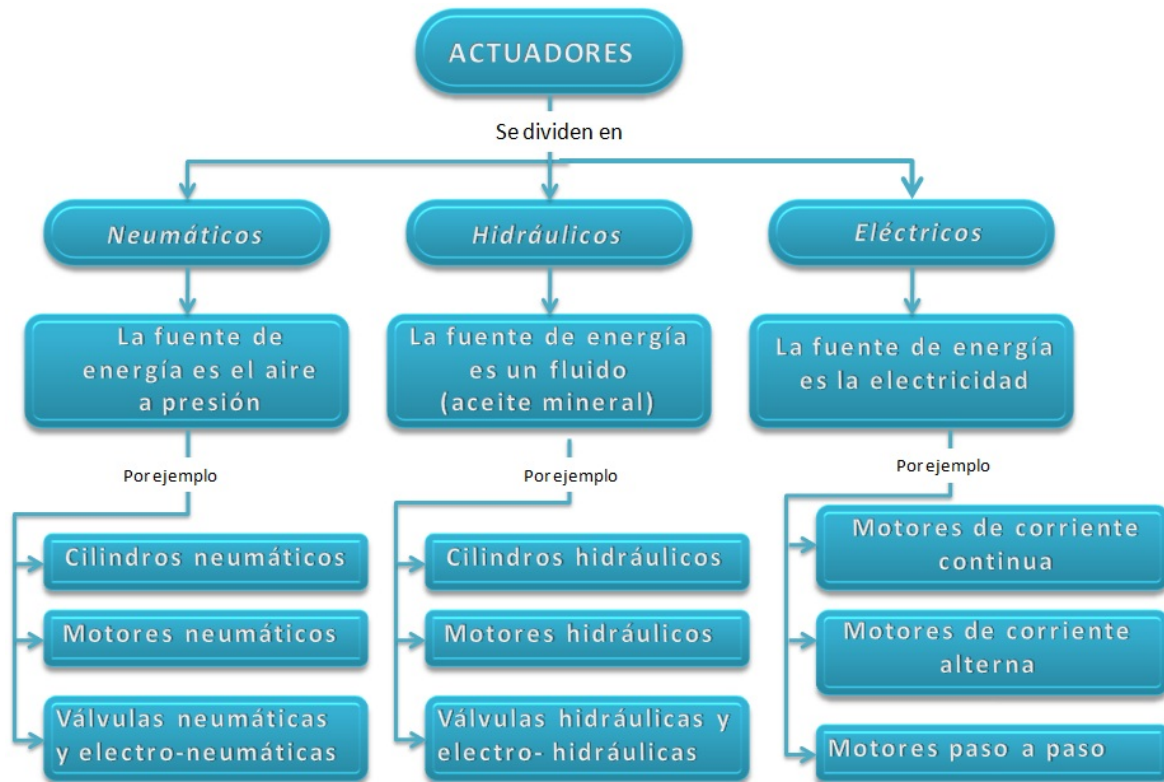
Actuadores

Un actuador, según lo mencionado por (Manuel Meneses, 2020), es un componente esencial en sistemas de control que tiene la función de activar, desactivar, abrir, cerrar, desplazar o mover algún mecanismo, tanto de manera manual como automática.

En cuanto a su clasificación, existen dos enfoques principales. En primer lugar, se puede clasificar los actuadores según el tipo de energía que utilizan para su funcionamiento. Por otro lado, también es posible clasificarlos con base en el tipo de movimiento que generan. Estos criterios de clasificación y sus ejemplos correspondientes se encuentran detallados en la Figura 15.

Figura 15

Clasificación de los actuadores



Nota. La figura 15 demuestra los tipos de actuadores que existen según el tipo de energía que se va necesitar y con lleva un ejemplo de cada uno. Tomado de *Actuadores* por (Manuel Meneses, 2020)

- **Actuadores lineales:** Son aquellos capaces de convertir el movimiento rotatorio en desplazamiento lineal, su funcionamiento se basa en que el motor actúa como elemento responsable del movimiento de rotación, convirtiéndolo en el movimiento lineal del eje correa o soporte. (Igus.es, 2015)
- **Actuadores rotativos:** Son aquellos cuyo movimiento final es circular y se utilizan en máquinas que requieren una fuerza de giro. Al igual que los actuadores lineales, los actuadores rotativos son dispositivos cuyo propósito es aumentar y disminuir la velocidad, la aceleración o el par. (CLR, 2018)
- **Actuadores eléctricos:** Un actuador eléctrico es un dispositivo que hace que un aparato realice un determinado movimiento o acción por medio de un motor y un reductor, es decir, son los elementos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica para lograr el movimiento deseado. (SDI, 2020)

Motores paso a paso

Se trata de un motor eléctrico que opera con tecnología de corriente continua (CD) y se caracteriza por ser sin escobillas, lo que significa que no utiliza componentes mecánicos para realizar el conmutado de la corriente. En su lugar, emplea imanes permanentes o el principio de reluctancia variable para generar el campo magnético necesario para su funcionamiento.

Este motor es capaz de proporcionar un rendimiento giratorio en ambas direcciones, permitiendo un movimiento suave y preciso en pasos angulares definidos. Además, posee la capacidad de mantener un par constante incluso cuando se encuentra en estado de velocidad cero, lo que resulta útil en diversas aplicaciones.

Su control es realizado a través de circuitos digitales, permitiendo una gestión eficiente y precisa de su funcionamiento. Esta tecnología de motor, descrita por (MecatronicaLATAM, 2021), es ampliamente utilizada en una variedad de aplicaciones industriales y de automatización debido a sus ventajas en términos de rendimiento y control.

Tipos de motores paso a paso

Existen gran cantidad de motores, dentro de la clasificación encontramos motores con mayor tamaño, torque y precio, tanto de forma bipolar como unipolar, como se muestra a continuación.

Figura 16

Clasificación de los motores paso a paso

Bipolares	Unipolares
Presenta un mayor torque.	Presenta un menor torque.
Es de menor tamaño.	Es de mayor tamaño.
Es más económico.	Es menos económico.
Su control es más complicado, requiere una tarjeta con etapas de control en potencia y de giro.	Su control es más simple al requerir únicamente un circuito de alimentación.
Mayor anclaje debido a los embobinados.	Menor anclaje.

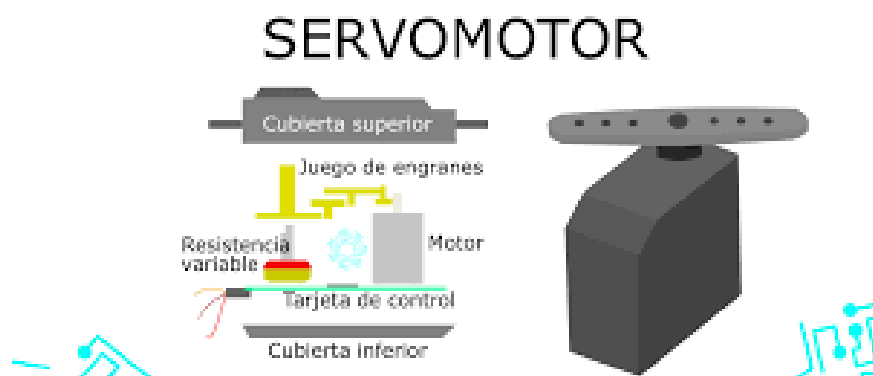
Nota. La Figura 16 demuestra los tipos de motores paso a paso que existe y sus características. Tomado de *Motores paso a paso* por (MecatronicaLATAM, 2021)

Servomotores

Los servomotores son servomecanismo de bucle cerrado que utiliza la retroalimentación de posición para controlar su velocidad de rotación y posición. Está diseñado para controlar el movimiento de su eje en cuanto a velocidad, aceleración, torque posición. Está conformado por un motor eléctrico, juego de engranes y tarjeta de control.

Figura 17

Servomotor



Nota. En la Figura 17 se aprecia los elementos que constituyen un servomotor, como son los juegos de engranes. Tomado de *Servomotores* por (MecatronicaLATAM, 2021)

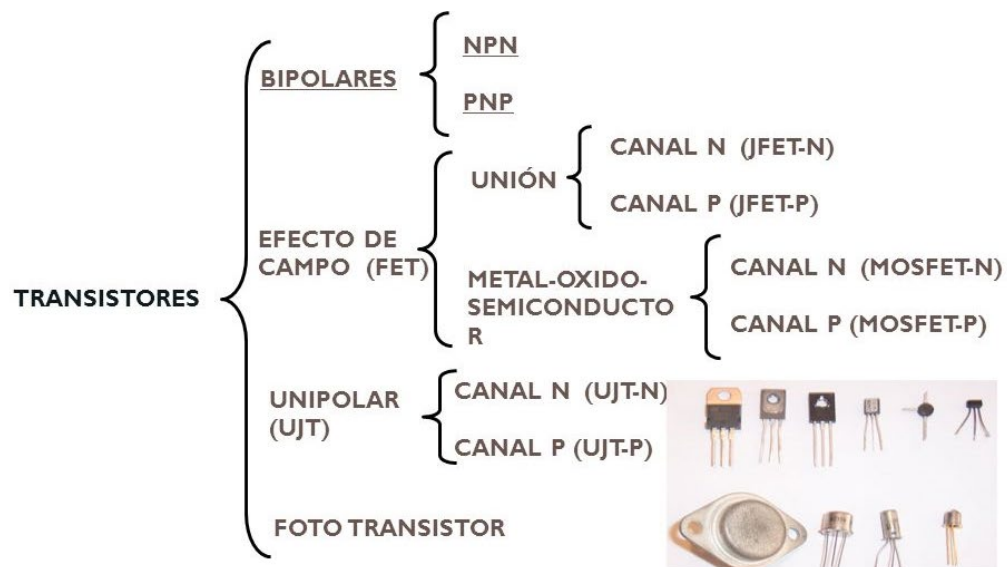
Transistores

El transistor es un semiconductor que puede utilizarse para conducir y aislar corriente eléctrica o voltaje. Así mismo un transistor actúa básicamente como interruptor o amplificador de estas señales electrónicas.

Los materiales en el transistor están dopados o tratados con impurezas para formar una estructura llamada unión p-n. En este caso "p" es positivo y "n" es negativo. Estos símbolos se refieren a los tipos de material semiconductor unidos al material semiconductor. (Electrónica, 2022)

Figura 18

Clasificación de los transistores



Nota. La Figura 18, indica la clasificación de los transistores según su funcionamiento y el método de su activación. Tomado de *Transistores* por (Electrónica, 2022)

Microprocesadores y Microcontroladores

Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado digital monolítico, que contiene todos los elementos de un procesador digital secuencial síncrono programable de arquitectura Harvard o Princeton, que por lo general se le puede denominar también como un microcomputador integrado o empotrado. (Rubén Marmolejo, 2016)

Microprocesadores

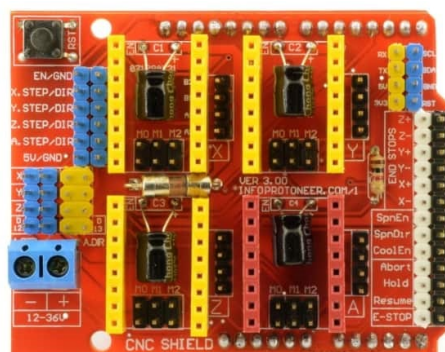
Un microprocesador se refiere a un componente electrónico integrado que retiene las instrucciones programadas destinadas al funcionamiento del sistema informático. Este chip viene a ser el corazón del PC, tiene como función ser el motor de cálculo y está conformado por millones de mecanismos electrónicos. (Christian Barroyeta, 2022)

CNC Shield V3

Es un escudo Arduino UNO o Mega que se puede conectar fácilmente a un controlador de motor paso a paso como A4988. También permite activar y gestionar los elementos necesarios para el funcionamiento de la fresadora digital (CNC), es decir, topes, ventiladores, etc. (Aranacorp, 2023)

Figura 19

CNC Shield V3



Nota. La Figura 19, indica como es físicamente nuestro escudo CNC Shield, sus puertos y configuración. Tomada de *CNC Shield* por (Aranacorp, 2023)

Capítulo III

Selección de componentes, diseño y construcción

Diseño del sistema

En este capítulo se proponen las especificaciones técnicas del sistema automatizado de verificación de medidas de patrones, basadas en las necesidades identificadas en la Planta de medición de patrones de tela de la empresa FAME S.A.

También se consideran estándares, normativas y prácticas de la industria, así como las limitaciones del entorno de trabajo. El objetivo es asegurar un diseño eficiente y funcional que cumpla con los requisitos establecidos.

Necesidades del cliente

Con el fin de recopilar las necesidades del cliente en relación con el sistema automático de verificación de medidas de patrones, se llevó a cabo una reunión estratégica con el Jefe de Gestión Empresarial y Control Interno.

Durante este encuentro, se realizó un exhaustivo análisis del proceso actual de medición y verificación de dimensiones, así como se recabaron los parámetros fundamentales a considerar en el desarrollo del sistema automático.

La finalidad de esta reunión fue garantizar que el proyecto se ajuste de manera precisa a las normativas técnicas vigentes y cumpla cabalmente con las necesidades y requerimientos del cliente en cuestión. En la Tabla 1, se presenta las necesidades del cliente.

Tabla 1*Necesidades del cliente*

Necesidades del cliente		
Núm.	Necesidad	Imp.
1	Ubicación de los sistemas	3
2	Economía	4
3	Diseño multifuncional	2
4	Adquisición de datos	5
5	Fácil mantenimiento	2
6	Bajo consumo energético	3
7	Repuestos en el mercado nacional	5
8	Monitoreo de las medidas	5
9	Facilidad de operación	3
10	Dimensiones	4
11	Adaptación de motores	2
12	Variedad de cámaras	2
13	Programación en diferentes lenguajes	3
14	Adquisición de la imagen	5
15	Diseño de la estructura	4
16	Control producto	4
17	Dúctil	3

Nota. La Tabla 1, presenta las especificaciones técnicas del sistema de verificación automática de medidas de patrones. En ella se describen las necesidades y la importancia de cada aspecto a considerar en el diseño del sistema, utilizando una escala de 1 a 5 para cuantificar su nivel de importancia, donde 1 representa la menor importancia y 5 la máxima.

Aspectos relacionados al entorno

- La máquina debe ser trazable, con método innovador y técnico.
- El diseño debe cumplir con estándares de calidad.
- El área donde se colocará la máquina cuenta aproximadamente de 6 m de largo.
- El voltaje que suministra la máquina requiere de 24 V.
- El mecanismo requiere mínimo de una cámara, de un controlador, motores y la estructura mecánica.
- La toma de medidas se debe realizar con menos de un margen de error del 2%.
- Debe detectar la forma y acto seguido las medidas de punto a punto.
- El mantenimiento requiere de menos de 1 día de estar fuera de funcionamiento.
- El sistema mecánico debe ser seguro para evitar accidentes laborales.
- Debe cumplir con los lineamientos establecidos por la empresa.
- La empresa requiere que toda máquina tenga manual de instrucciones.
- La máquina debe cumplir las normas a las que está regida la empresa.
- La elaboración de la máquina tiene que competir a nivel nacional e internacional.
- La empresa se enfoca a sectores de Seguridad y Defensa, por ende, cumple con normas ISO 45001.

Especificaciones técnicas del sistema

Las especificaciones técnicas del sistema automático de verificación de medidas de patrones fueron determinadas tras un análisis exhaustivo de los requisitos funcionales y operativos. Se consideraron aspectos como precisión, velocidad, detección de errores y compatibilidad con estándares de la industria textil.

Se establecieron especificaciones para componentes eléctricos, diseño mecánico, estructura y materiales, así como para un sistema de visión artificial eficiente. El objetivo fue desarrollar un sistema confiable y preciso, acorde a las necesidades de FAME S.A. En la Tabla 2, se presenta las especificaciones técnicas del sistema.

Tabla 2

Especificaciones técnicas del sistema

Núm.	Especificaciones técnicas
1	Adaptabilidad del sistema mecánico
2	Competencia nacional e internacional
3	Manual de operaciones
4	Manual de mantenimiento
5	Materiales resistentes
6	Bajo costo de manufactura
7	Diseños óptimos mediante CAD
8	Realización de diseños CAM
9	Sistema de verificación de medidas
10	Cumplimiento de las normas ISO
11	Registro de datos en la nube
12	Rangos de medidas
13	Suministro de corriente de 24 V
14	Calidad del producto
15	Alta calidad de resolución de imágenes
16	Análisis de dimensionamientos

Nota. Las especificaciones técnicas representan las recomendaciones proporcionadas por la empresa, como se muestra en la Tabla 2, y han sido transformadas en un lenguaje más técnico para su adecuada interpretación en el desarrollo del sistema.

Matriz (QFD)

A continuación, se realiza un análisis comparativo entre las necesidades del cliente y las especificaciones técnicas; para ello se usa la matriz QFD. (Grimas Cintas & Tort-Martorell Llabres, 1995) plantea “El QFD (Quality Function Deployment) se trata de un sistema organizado para diseñar o rediseñar productos” (Pág. 29)

La construcción de la matriz QFD se lo puede elaborar siguiendo los siguientes pasos:

- Análisis del grupo objetivo
- Análisis del cliente
- Análisis de la competencia
- Análisis del producto (IONOS, 2021)

Tabla 3

Simbología especificaciones

Tipo de relación	Símbolo	Calificación
Relación Fuerte	●	9
Relación Media	○	3
Relación Débil	△	1

Nota. La Tabla 3 presenta la medida cuantitativa que refleja la relación entre las necesidades y las especificaciones técnicas, junto con el símbolo correspondiente que representa cada una de ellas.

Tabla 4*Matriz de correlación*

Significado	Símbolo
Fuertemente positiva	++
Positiva	+
Negativa	-
Fuertemente Negativa	--
Sin correlación	

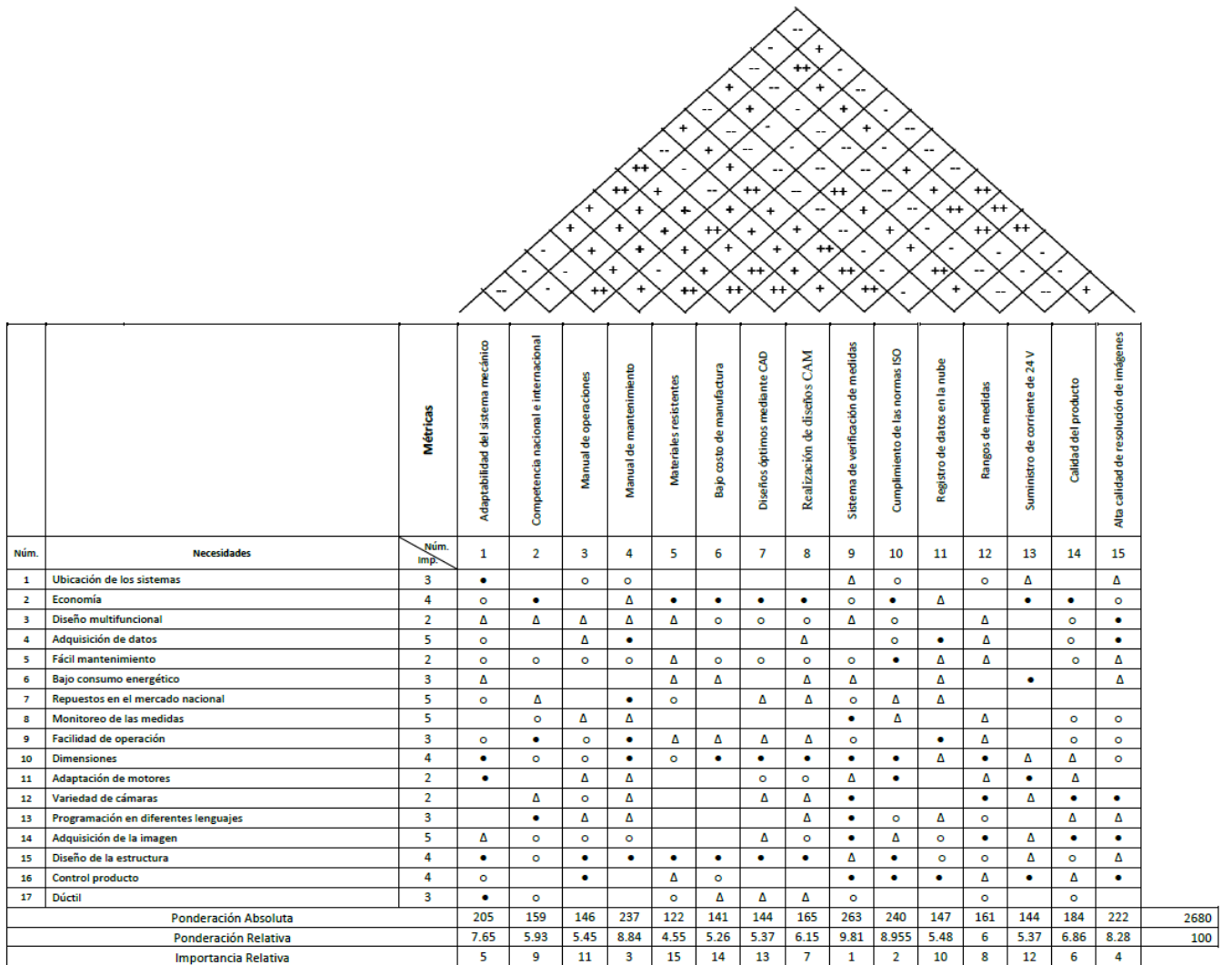
Nota. En la Tabla 4, se analiza la interacción de las especificaciones de diseño y se indican las flechas que representan el incremento o decremento necesario en cada parámetro para satisfacer la respectiva necesidad asignada.

Una vez se determinan las necesidades del cliente y las especificaciones técnicas, el siguiente paso es generar la matriz de calidad, donde se colocan en forma vertical enumerada las necesidades y de forma horizontal las especificaciones, estas tendrán una correlación entre todas, como se mencionó antes se procederá a evaluar según el tipo de relaciones y la importancia.

Realizado el anterior paso se procede a armar la matriz de correlación y como último paso se realiza una ponderación absoluta, relativa y se clasifica según la importancia relativa.

Figura 20

Matriz de calidad o QFD



Nota. La Figura 20, representa la casa de la calidad o más conocido como matriz de calidad, que permite relacionar las necesidades con los requerimientos técnicos que el cliente considera.

Análisis de la Matriz (QFD)

Las necesidades prioritarias del cliente se han categorizado en función de su peso relativo. Los resultados obtenidos en la matriz QFD, representada en la Figura 20. Indican los requisitos que deben ser cumplidos de manera satisfactoria en el diseño, de acuerdo a las demandas de la empresa, con un orden jerárquico de:

1. Sistema de verificación de medidas.
2. Cumplimiento de las normas ISO.
3. Manual de mantenimiento.
4. Alta calidad de la resolución de la imagen.
5. Adaptabilidad del sistema mecánico.

Toma de decisiones basada en Modelos

La Toma de decisiones basadas en modelos, es una etapa que se considera crucial para poder evaluar ideas en el diseño del producto. El objetivo es crear diferentes tipos de opciones y abordar como se utilizarán los modelos y análisis de datos para poder respaldar las decisiones que se van a tomar en base al diseño, para ello existen elementos como lo son: (Monleón Getino, 2005)

- Modelo de simulación: Se utilizan los modelos de simulación basados en software especializado para evaluar y predecir el rendimiento del sistema automatizado de verificación de medidas de patrones. Estos modelos permiten simular el flujo de trabajo del sistema, identificar posibles cuellos de botella y optimizar la configuración de los componentes para maximizar la eficiencia. Se realiza simulaciones para estimar los tiempos de verificación de medidas y evaluar la capacidad de procesamiento del sistema en diferentes escenarios de carga de trabajo.
- Análisis de datos históricos: Se analizan los datos históricos de la empresa FAME S.A. y otras fuentes para identificar patrones, tendencias y problemas recurrentes, y tomar decisiones informadas para mejorar el rendimiento del sistema.
- Modelos predictivos: Se desarrollan modelos predictivos utilizando técnicas estadísticas y de aprendizaje automático para estimar el impacto de diferentes escenarios y configuraciones en el rendimiento del sistema de verificación de medidas.

- **Análisis de riesgo:** Se realiza un análisis de riesgos exhaustivo para identificar y evaluar los posibles riesgos asociados al sistema automatizado, y tomar decisiones informadas sobre medidas de mitigación y contingencia.
- **Optimización de parámetros:** Se utiliza técnicas de optimización para determinar los mejores parámetros de configuración del sistema y mejorar su eficiencia y rendimiento.
- **Análisis de costos y beneficio:** Se realiza un análisis de costos y beneficios para evaluar las implicaciones económicas de las decisiones tomadas y guiar la asignación eficiente de recursos de la empresa FAME S.A.

Tomando en cuenta los criterios y requerimientos establecidos, se ha optado por utilizar modelos de simulación mediante Software CAD para el diseño y análisis de la mesa del sistema automatizado de verificación de medidas. Esta elección se basa en diversas razones. Una de la más destacada es que el Software CAD es ampliamente reconocido y utilizado en la industria para la creación de modelos virtuales y simulaciones de ingeniería, esto nos permite llevar a cabo un análisis exhaustivo de la mesa, evaluando aspectos clave como resistencia, fatiga, esfuerzos y pandeo.

Al realizar el dimensionamiento y diseño de la mesa en Software CAD, se va a tener una representación virtual precisa y detallada del sistema, lo que facilita la identificación y corrección de posibles problemas antes de la etapa de construcción. Esto permite reducir los costos y el tiempo de desarrollo, al evitar modificaciones y ajustes. El Software CAD permitirá realizar análisis de resistencia y fatiga, lo que garantiza la durabilidad y robustez de la mesa y estructura en condiciones de trabajo reales. Se evalúa en diferentes escenarios y cargas para determinar los límites de resistencia y asegurar que la estructura cumpla con los requisitos de seguridad y desempeño establecidos.

El análisis de esfuerzos de Software CAD proporciona información valiosa sobre la integridad estructural de la mesa. Ayudando a identificar zonas críticas de concentración de esfuerzos y tomar las medidas necesarias para fortalecer esas áreas y prevenir fallas o deformaciones no deseadas al momento de realizar la construcción.

Selección de Conceptos

La selección del concepto es un paso fundamental en el desarrollo de un producto innovador y exitoso. Para poder desarrollar el “Diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas de patrones en la empresa FAME S.A.”, es crucial elegir el concepto adecuado que cumpla con los requisitos y objetivos específicos que se propuso.

Según (Ulrich & Eppinger, 2013), “la selección del concepto tiene un impacto significativo en el costo final de manufactura del producto”. Por lo tanto, es esencial considerar cuidadosamente las opciones disponibles y evaluarlas de manera metodológica.

En el proceso de selección del concepto, se pueden aplicar diferentes métodos. Uno de ellos es enfocarse en las necesidades del cliente como se lo realizó para determinar el QFD anteriormente. La empresa FAME S.A. considera las necesidades específicas de la industria textil y la importancia de verificar las medidas de los patrones antes de la elaboración de las prendas.

Otro enfoque mencionado por Ulrich es el benchmarking, que implica comparar el producto con diseños existentes en el mercado, con el objetivo de igualar o superar la calidad y el rendimiento de la competencia. Este enfoque ayuda a identificar las mejores prácticas y características clave que deben considerarse en el sistema automático de verificación de medidas. Es de gran importancia realizar una evaluación interna y un análisis de los pros y contras de cada concepto. Esto implica asignar valores a las características relevantes y ponderar la efectividad final de cada idea.

Para facilitar la selección del concepto, se crea una matriz de selección que incluya todos los conceptos generados. En esta matriz, se enlista los criterios de selección basados en las necesidades específicas de la empresa.

Algunos ejemplos de criterios son:

- Rapidez en la verificación de medidas.
- Capacidad de cálculo suficiente para procesar los datos de los patrones.
- Interfaz amigable para el usuario.
- Bajo costo de implementación y mantenimiento.
- Portabilidad del sistema.
- Facilidad de manufactura de los componentes.

Para poder seleccionar qué criterio es el más óptimo se realiza tablas comparativas que permitirán mediante una evaluación de símbolos:

Tabla 5

Simbología de evaluación

Símbolo	Concepto
Suma +	“Mejor que”
Suma 0	“Igual a”
Suma -	“Peor que”

Nota. La Tabla 5. Se analiza la jerarquía de cada símbolo que se utilizará para tomar el concepto adecuado en las siguientes tablas. Tomado de *Diseño y desarrollo de productos* por (Ulrich & Eppinger, 2013).

Que permite determinar cuál es su evaluación y determinar si el concepto es el más acorde para el proceso a realizarse.

Selección del material de la estructura de la máquina

Tabla 6

Matriz de selección de conceptos para el material de la estructura de la máquina

Criterios de selección	Conceptos			
	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D
	(Hierro)	(Aluminio)	(Acero)	(Cobre)
Es de bajo costo	+	-	+	-
Es de alta resistencia	+	0	0	-
Peso	-	+	+	-
Es de alta durabilidad	-	+	+	-
Facilidad de Manufactura	0	+	-	0
Suma “+”	2	3	3	0
Suma “0”	1	1	1	1
Suma “-”	2	1	1	4
Evaluación total	0	2	2	-4
Posición	2	1	1	3

Conceptos				
	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D
Criterios de selección	(Hierro)	(Aluminio)	(Acero)	(Cobre)
¿Continuar?	No	Si	Si	No

Nota. La Tabla 6, se evaluó los criterios de selección entre los tipos de materiales, siendo los más connotativos el aluminio y acero, colocándolos en una posición igual a ambos y descartando las opciones A y D.

Luego de seleccionar las opciones más significativas se realiza en caso de tener dos o más opciones, una evaluación de conceptos con peso, permitiendo saber cuál es la más relevante entre ambas opciones.

Previamente se debe conocer cómo se evaluará los conceptos con ponderaciones, para ello se calificará según el enfoque y el criterio en una escala del 1 al 5:

Tabla 7

Simbología de calificación

Calificación	Efectividad comparativa
1	“Mucho peor que”
2	“Peor que”
3	“Igual que”
4	“Mejor que”
5	“Mucho mejor que”

Nota. La Tabla 7 se analiza la jerarquía de cada calificación siendo 1 el menos cercano a lo requerido y 5 el que es más afín el criterio con los conceptos.

Valoración de conceptos del material para la estructura de la máquina

Una vez se tiene entendido como realizar la selección de los conceptos, procedemos a evaluar la ponderación que es el valor porcentual del peso por el valor numérico de la calificación, la suma de todos los criterios de selección permitirá desarrollar, en este caso al más óptimo de los materiales para la estructura de la máquina.

Tabla 8

Valoración de conceptos del material para la estructura de la máquina

Criterios de Selección	Conceptos				
	Opción B (Aluminio)			Opción C (Acero)	
	Peso	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Es de bajo costo	25%	4	1	5	1,25
Es de alta resistencia	15%	3	0,45	3	0,45
Peso	20%	5	1	4	0,8

Es de alta durabilidad	15%	4	0,6	4	0,6
Facilidad de Manufactura	25%	5	1,25	4	1
Total, Puntos			4,3		4,1
Lugar			1		2
Resultado			Desarrollar		No

Nota. La Tabla 8, es una matriz de valoración y evaluación de los conceptos que se seleccionaron previamente, en la cual se utiliza una ponderación conjuntamente con una calificación para cada opción y escoger la que mayor puntaje tiene para realizar el desarrollo.

En el proceso de diseñar y construir una máquina eficiente y duradera, la elección del material para la estructura juega un papel crucial. Entre las diversas opciones disponibles, se ha determinado que el material más adecuado para la estructura de nuestra máquina es el Aluminio.

Selección de conceptos para el perfil de la estructura de la máquina

Tabla 9

Matriz de selección de conceptos para el perfil de la estructura de la máquina

Conceptos					
	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E
Criterios de selección	(Perfil ranura tipo V)	(Perfil Estructural tipo T)	(Perfil Ángulo L)	(Perfil tubular)	(Perfil cuadrado)
Es de bajo costo	+	-	-	+	+
Es de alta resistencia	0	+	+	0	+
Peso	+	-	-	-	+
Es de alta durabilidad	0	-	+	+	0
Facilidad de Manufactura	+	0	-	-	0
Resistencia a la corrosión	+	-	+	-	-

Conceptos					
	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E
Criterios de selección	(Perfil ranura tipo V)	(Perfil Estructural tipo T)	(Perfil Ángulo L)	(Perfil tubular)	(Perfil cuadrado)
Disponibilidad en el mercado	+	+	-	+	+
Suma “+”	5	2	3	3	4
Suma “0”	1	1	4	1	2
Suma “-”	0	4	0	3	1
Evaluación	5	-2	3	0	3
total	1	4	2	3	2
Posición	Si	No	Revisar	No	Revisar
¿Continuar?					

Nota. La Tabla 9 se evaluó los criterios de selección entre los tipos de materiales, siendo los más connotativos el perfil de ranura tipo V, seguido del perfil de ángulo L y el perfil cuadrado colocándolos en una posición igual a ambos y descartando las opciones B y D.

Valoración de conceptos para el perfil de la estructura de la máquina

En el caso de la selección del perfil encontramos que claramente la opción predominante es el perfil de ranura tipo V, pero se realiza un análisis profundo, de la misma forma que se realizó previamente.

Tabla 10*Valoración de conceptos para el perfil de la estructura de la máquina*

Criterios de Selección	Conceptos						
	Opción A (Perfil ranura tipo V)			Opción C (Perfil ángulo L)		Opción E (Perfil cuadrado)	
	Peso	Cali.	Evaluación Ponderada	Cali.	Evaluación Ponderada	Cali.	Evaluación Ponderada
Es de bajo costo	20%	5	1	3	0,6	5	1
Es de alta resistencia	10%	4	0,4	5	0,5	5	0,4
Peso	10%	5	0,5	3	0,3	5	0,5
Es de alta durabilidad	10%	4	0,4	5	0,5	4	0,4
Facilidad de Manufactura	20%	5	1	3	0,6	4	0,8

Resistencia a la corrosión	10%	5	0,5	5	0,5	3	0,3
Disponibilidad en el mercado	20%	5	1	3	0,6	5	1
Total, Puntos	100%		4,8		3,6		4,4
Lugar			1		3		2
Resultado			Desarrollar		No		No

Nota. La Tabla 10, en la matriz de valoración y evaluación se decidió que la opción A queda en primer lugar por tener mayor ponderación en los criterios de selección, quedando como resultado el desarrollo del perfil de ángulo ranura Tipo V.

Selección de conceptos para los motores de la máquina

Tabla 11

Matriz de selección de conceptos para los motores de la máquina

		Conceptos				
		Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E
Criterios de selección	de	(Motor paso a paso genérico)	(Motor de corriente continua)	(Motor Nema 23)	(Motor Servo)	(Motor Nema 17)
Es de bajo costo		-	-	0	+	0

		Conceptos				
Criterios de selección	de	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E
		(Motor paso a paso genérico)	(Motor de corriente continua)	(Motor Nema 23)	(Motor Servo)	(Motor Nema 17)
Potencia del motor		-	+	+	-	+
Menor Peso		-	-	0	-	0
Es de tamaño reducido		0	0	+	+	+
Es de fácil operación		-	+	+	+	+
Torque y fuerza de salida		-	+	+	-	+
Disponibilidad en el mercado		+	-	+	+	+
Suma “+”		1	3	5	4	5
Suma “0”		1	1	2	0	2

		Conceptos				
Criterios de selección		Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E
		(Motor paso a paso genérico)	(Motor de corriente continua)	(Motor Nema 23)	(Motor Servo)	(Motor Nema 17)
Suma “—”		5	3	0	3	0
Evaluación total		-4	0	5	1	5
Posición		4	3	1	2	1
¿Continuar?		No	No	Revisar	No	Revisar

Nota. La Tabla 11, se evaluó los criterios de selección entre los tipos de materiales, siendo los más connotativos el Motor Nema 17 y el Motor Nema 23, colocándolos en una posición igual a ambos y descartando las opciones de Motor paso a paso genérico, Motor de corriente continua y el Motor Servo.

Valoración de conceptos para los motores de la máquina

En el caso de la selección de los motores de la máquina encontramos que la opción C y E nos convendría, para ello se realiza un análisis profundo, de la misma forma que se realizó previamente.

Tabla 12

Valoración de conceptos para los motores de la máquina

Criterios de Selección	Conceptos
-------------------------------	------------------

	Opción C			Opción E	
	(Motor Nema 23)			(Motor Nema 17)	
	Evaluación				
	Peso	Cali.	n Ponderada	Cali.	Evaluación Ponderada
Es de bajo costo	25%	3	0,75	3	0,75
Potencia del motor	10%	5	0,5	5	0,5
Menor Peso	15%	3	0,45	4	0,6
Es de tamaño reducido	10%	4	0,4	4	0,4
Es de fácil operación	10%	5	0,5	5	0,5
Torque y fuerza de salida	10%	5	0,5	5	0,5
Disponibilidad en el mercado	20%	4	0,8	5	1

Total, Puntos	100 %	3,9	4,25
Lugar		2	1
Resultado		No	Desarrollar

Nota. La Tabla 12, en la matriz de valoración y evaluación se decidió que la opción E queda en primer lugar por tener mayor ponderación en los criterios de selección, quedando como resultado la opción del Nema 17 para la parte eléctrica de la máquina.

Selección de conceptos para la cámara de la máquina

Tabla 13

Matriz de selección de conceptos para la cámara de la máquina

	Conceptos				
	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E
Criterios de selección	Logitech C922 Pro HD	Raspberry Pi Camera Module	Microsoft LifeCam HD-3000	Sony Alpha a6400	GoPro HERO9 Black
Es de bajo costo	+	+	+	-	-
Menor Peso	+	+	+	0	-

Conceptos					
	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E
Criterios de selección	Logitech C922 Pro HD	Raspberry Pi Camera Module	Microsoft LifeCam HD-3000	Sony Alpha a6400	GoPro HERO9 Black
Es de tamaño reducido	+	+	+	-	-
Ángulo Focal >60°	0	-	-	0	0
Resolución gráfica	+	0	0	+	+
Disponibilidad en el mercado	+	+	-	+	-
Suma “+”	5	4	3	2	1
Suma “0”	1	1	1	2	1
Suma “-”	0	1	2	2	4
Evaluación total	5	3	1	0	-3
	1	2	3	4	5

Conceptos					
	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E
Criterios de selección	Logitech C922 Pro HD	Raspberry Pi Camera Module	Microsoft LifeCam HD-3000	Sony Alpha a6400	GoPro HERO9 Black
Posición	Revisar	Revisar	No	No	No
¿Continuar?					

Nota. La Tabla 13, se evaluó los criterios de selección entre los tipos de cámaras, siendo los más connotativos el Logitech C922 Pro HD y la Raspberry Pi Camera Module, colocándolos en una posición de valoración a ambos y descartando las opciones de Microsoft LifeCam HD-3000, el Sony Alpha a6400 y la GoPro HERO9 BlackMotor.

Valoración de conceptos para la cámara de la máquina

En el caso de la selección de la cámara de la máquina encontramos que la opción A y B nos convendría, para ello se realiza un análisis profundo, de la misma forma que se realizó previamente.

Tabla 14

Valoración de conceptos para la cámara de la máquina

Conceptos		
Criterios de Selección	Opción A	Opción B
	Raspberry Pi Camera Module	

Logitech C922						
Pro HD						
	Peso	Calificación	Evaluación Ponderada	Cali.	Evaluación Ponderada	
Es de bajo costo	25%	5	1,25	5	1,25	
Menor Peso	10%	5	0,5	5	0,5	
Es de tamaño reducido	10%	5	0,5	5	0,5	
Ángulo Focal >60°	15%	4	0,6	5	0,75	
Resolución gráfica	20%	5	1	3	0,6	
Disponibilidad en el mercado	20%	4	0,8	3	0,6	
Total, Puntos	100%		4,65		4,2	
Lugar			1		2	

Resultado	Desarroll ar	No
-----------	-----------------	----

Nota. La Tabla 14, en la matriz de valoración se decidió que la opción A queda en primer lugar por tener mayor ponderación en los criterios de selección, quedando como resultado la opción de la cámara Logitech C922 Pro HD para la parte de visión artificial de la máquina.

Como se lo ha mencionado con anterioridad es importante tomar en cuenta los criterios de selección, al tener en cuenta el tipo de cámara a seleccionar, se puede comprender que hay más aspectos que se debe tomar en cuenta en una cámara, como lo son los FPS y la generación.

Selección de conceptos para el controlador de la máquina

Para poder seleccionar correctamente el controlador de la máquina se toma previamente en cuenta que necesitamos que se comuniquen con los motores, finales de carrera y la cámara, entonces debemos tomar en cuenta los puertos y la compatibilidad del controlador.

Tabla 15

Matriz de selección de conceptos para el controlador de la máquina

Conceptos						
	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E	
Criterios de selección	Arduino Uno + Shield CNC	Raspberry Pi 4 Model B	Arduino Mega 2560	ESP32	STM32 Nucleo-64	
Es de bajo costo	+	+	0	+	0	
Capacidad de procesamiento	+	+	+	0	-	
Entradas y Salidas	+	-	+	-	+	
Compatibilidad	+	+	-	+	0	
Facilidad de uso	+	+	+	+	-	
Disponibilidad en el mercado	+	+	+	+	-	

Conceptos						
	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E	
Criterios de selección	Arduino Uno + Shield CNC	Raspberry Pi 4 Model B	Arduino Mega 2560	ESP32	STM32 Nucleo-64	
Suma “+”	6	5	4	4	1	
Suma “0”	0	0	1	1	2	
Suma “-”	0	1	1	1	3	
Evaluación total	6	4	3	3	-2	
Posición	Revisar	Revisar	No	No	No	
¿Continuar?						

Nota. En la Tabla 15, sobre el Análisis Comparativo de Controladores, se sometieron a evaluación rigurosa los diversos criterios de selección aplicables a estos dispositivos. Entre los más destacados se encuentran el prestigioso Arduino Uno + Shield CNC y el versátil Raspberry Pi 4 Model B, ambos ubicados en una posición de alta valoración. Por otro lado, se optó por descartar las alternativas de Arduino Mega 2560, ESP32 y STM32 Nucleo-64 debido a diversos factores que no se alineaban con los requerimientos específicos de la aplicación.

Valoración de conceptos para el controlador de la máquina

Al abordar la elección del controlador para la máquina, identificamos que tanto la opción A como la opción B resultan favorables en este contexto. Para llegar a esta conclusión, llevamos a cabo un exhaustivo análisis, similar al realizado previamente, que nos permitió evaluar detalladamente ambas alternativas.

Tabla 16

Valoración de conceptos para el controlador de la máquina

Criterios de Selección	Conceptos				
	Opción A			Opción B	
	Arduino Uno + Shield CNC			Raspberry Pi 4 Model B	
	Peso	Cali.	Evaluación Ponderada	Cali.	Evaluación Ponderada
Es de bajo costo	25%	5	1,25	5	1,25
Capacidad de procesamiento	10%	5	0,5	5	0,5
Entradas y Salidas	5%	4	0,2	3	0,15
Compatibilidad	15%	5	0,75	5	0,75

Facilidad de uso	20%	4	0,8	5	1
Disponibilidad en el mercado	25%	5	1,25	4	1
Total, Puntos	100%		4,75		4,65
Lugar			1		2
Resultado			Desarrollar		No

Nota. La Tabla 16, después de realizar la matriz de valoración, se determinó que la opción A ocupa el primer lugar debido a su mayor ponderación en los criterios de selección. Como resultado, la opción del Arduino Uno + Shield CNC para la parte de controlador de la máquina.

Arquitectura de Producto

La presente investigación, aborda la relevante generalidad de arquitectura del producto, la cual se define como “la asignación de los elementos funcionales de un producto a sus componentes físicos de construcción” (Ulrich & Eppinger, 2013). Este enfoque permite establecer la disposición general de cada componente físico del producto y su relación con las funcionalidades eléctricas y de automatización que serán incorporadas a la máquina.

Esta metodología posibilita clasificar de manera individual los procedimientos a llevar a cabo en la manufactura, fomentando la ejecución simultánea por varios equipos, lo que se traduce en un desarrollo conjunto y más eficiente en menor tiempo. En relación con la arquitectura específica que va a adoptar la máquina, se ha optado por un diseño estructural

en forma de CNC. Cada una de sus partes se integrará directamente a la máquina, como es el caso de los motores, la cámara para visión artificial y el controlador Arduino Uno + Shield Arduino CNC, la interfaz es controlada mediante una computadora donde el usuario puede manejar de manera manual o automática la máquina.

Este proceso nos permite tener un enfoque sistemático y ordenado para estructurar el proceso de toma de decisiones, permitiendo así un diseño coherente y funcional del sistema automático de verificación de medidas de patrones. Con esta base, el presente estudio se propone contribuir al avance de la tecnología en la industria textil y optimizar los procesos de producción.

Esquema del producto

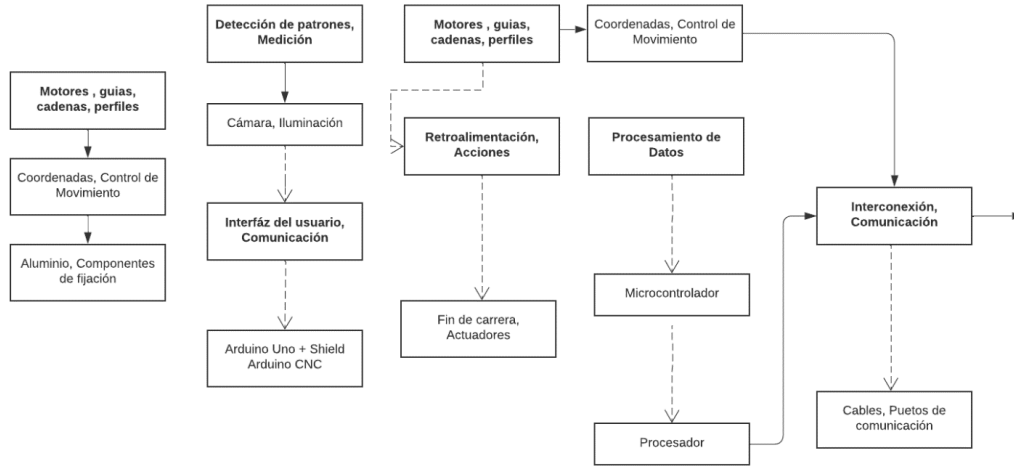
En consonancia con los principios establecidos por (Ulrich & Eppinger, 2013), se presenta a continuación un diagrama sumamente detallado que detalla la sólida estructura del proyecto en cuestión. Este esquema minucioso hace hincapié en cada uno de los sistemas que componen el dispositivo y resalta con precisión la interconexión y sinergia existente entre ellos, otorgándoles una cohesión funcional.

El diagrama despliega una representación gráfica de la arquitectura del producto, tomando en consideración la asignación de los elementos del mismo a sus respectivos componentes físicos. Cada subsistema es identificado y su disposición geométrica es diseñada con exactitud, lo cual permite visualizar la estructura integral del proyecto.

Asimismo, se destacan las interacciones fundamentales que se producen entre los distintos sistemas, marcando la relevancia de cada relación y su impacto en el funcionamiento global de la máquina. De esta manera, el diagrama proporciona una comprensión exhaustiva de la compleja interrelación que es sujeta entre los componentes, nivelando el camino para un desarrollo sistemático en la parte mecánica, eléctrica – electrónica y de control.

Figura 21

Estructura del sistema de control de la máquina



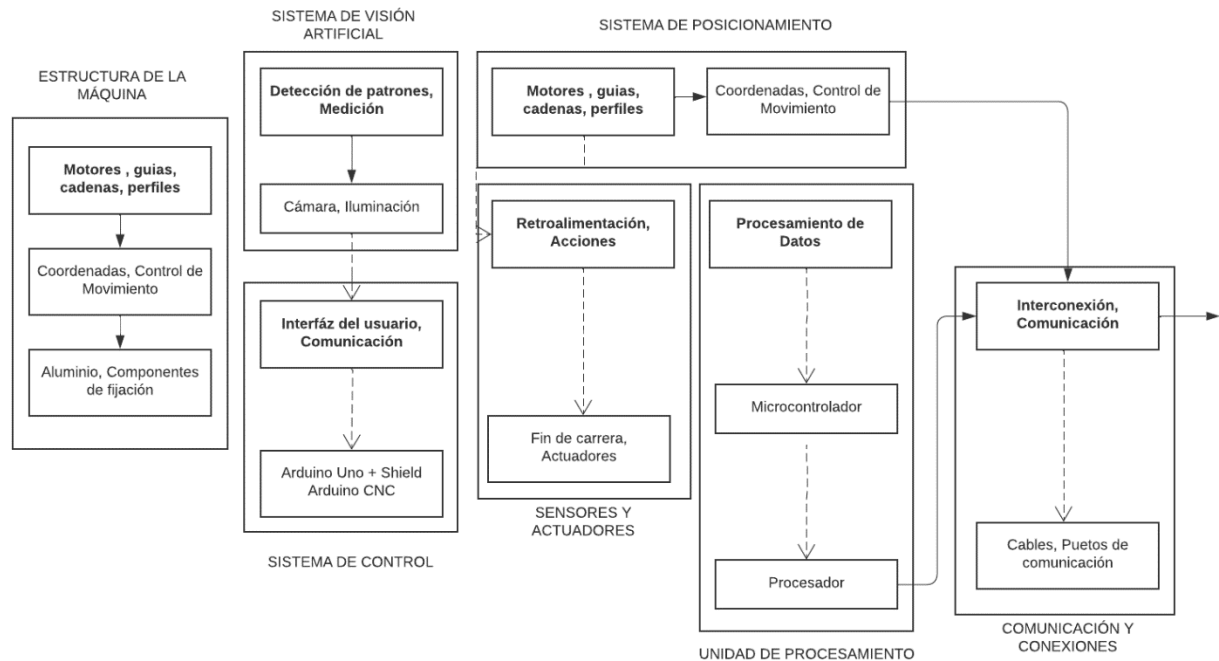
Nota. En la Figura 21, sobre la Estructura del sistema de control de la máquina, es útil para crear la estructura necesaria, la idea principal es organizar los elementos para que sea más claro cómo interactúan y contribuyen al funcionamiento del sistema.

Agrupar los elementos del esquema

Una vez realizado el proceso de desglose y separación de los sistemas que integran la máquina, procedemos a la agrupación de sus elementos con el propósito de visualizar de manera clara y concisa la interrelación existente entre los componentes funcionales y físicos en cada uno de los trozos identificados.

Figura 22

Agrupación de los elementos del sistema de control de la máquina.



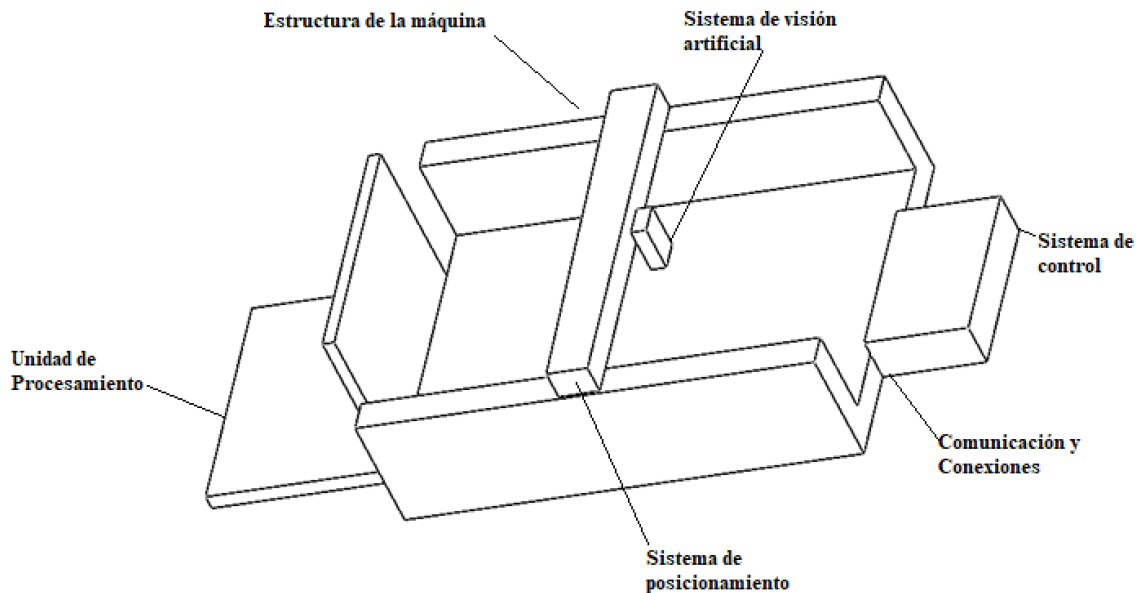
Nota. En la Figura 22, se ve separado de manera gráfica en 7 trozos el sistema de control de la máquina, donde según su función y naturaleza se agruparon para que exista una concordancia y relación entre todos los trozos.

Disposición geométrica aproximada

Una vez definidos los módulos o trozos de la máquina, procedemos a llevar a cabo la disposición física de cada uno de ellos. Esta etapa facilita el análisis de las dimensiones de los elementos y permite considerar todas las posibles interfaces geométricas que existen entre los distintos componentes, hay que tomar en cuenta que esta disposición no es definitiva ni un boceto de la máquina real, únicamente hacemos uso de esta geometría básica para identificar los sistemas a implementar al momento de realizar la estructura del sistema.

Figura 23

Disposición geométrica aproximada de la máquina.



Nota. En la Figura 23, se realiza un boceto cercano a lo pensado, ayudándonos de los trozos, podemos saber que partes de la máquina son indispensables, los sistemas y componentes, a la par de la unidad de procesamiento y control.

Diseño y dimensionamiento de la estructura

Para el diseño y dimensionamiento de la estructura, es fundamental tener en cuenta los requisitos y cambios de diseño que se han presentado.

Inicialmente la máquina tendría un dimensionamiento de 3 metros de largo por 2 metros de ancho, siendo este permisible a los rollos de tela que son de 1.8 m de ancho por 200 metros de largo, luego de consideraciones se optó por un rediseño.

Comenzaremos con el diseño basado en el nuevo tamaño de la estructura, que es de 75 cm x 75 cm. Utilizaremos aluminio como material principal, dada las propiedades mecánicas del material, mostrada en la tabla 17.

Tabla 17

Propiedades mecánicas del Aluminio

Material	Límite Elástico (MPa)	Resistencia Última (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)
Aluminio	276	310	69

Nota. En la Tabla 17, se observa las características del aluminio, que utilizaremos para la parte de diseño y la de construcción.

Y perfiles de aluminio V-Slot 2040 para los ejes X e Y, junto con dos varillas roscadas de 12 mm de diámetro por 750 mm de longitud para el soporte de los extremos del eje Y.

Dimensiones de la estructura

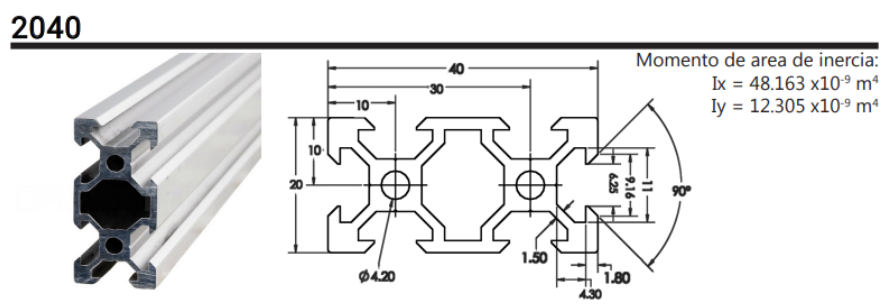
- Longitud del eje X: 75 cm.
- Longitud del eje Y: 75 cm.

Altura de la estructura: Se determinará según los requerimientos de la aplicación y los cálculos que se realizarán posteriormente.

Selección de los Materiales:

- Perfiles de aluminio V-Slot 2040 para los ejes X e Y.

Figura 24

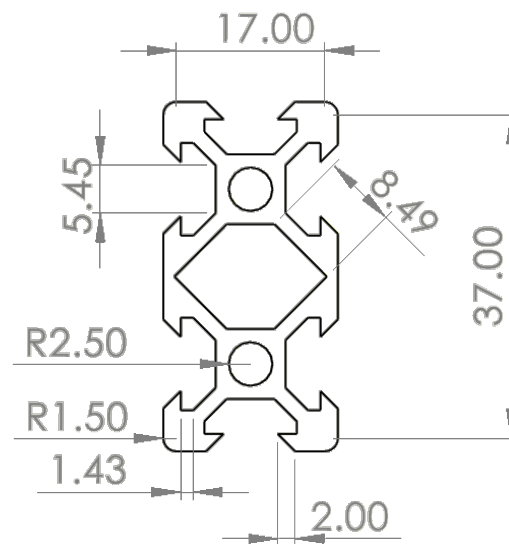
Dimensiones del perfil de aluminio V-Slot 2040

Nota. En la Figura 24, se observa el valor de las medidas nominales del perfil V-Slot 2040, conjuntamente con sus momentos de área de inercia en “X” y “Y”. Tomado de *Perfil de aluminio V-SLOT* por (NAYLAMP, 2020)

Una vez se conoce los datos, se procede a realizar el diseño del perfil seleccionado, tomando en consideración sus dimensionamientos.

Figura 25

Diseño del perfil Tipo V-Slot 2040.



Nota. En la Figura 25, se toma en consideración las medidas, los radios y las tolerancias, para un diseño realístico, que, al momento de la construcción, no exista ningún inconveniente.

Tabla 18

Características del perfil V-Slot 2040

Perfil	Área Transversal (mm^2)	Momento de Inercia (mm^4)	Módulo de Sección (mm^3)
V-Slot 2040	4200	2100000	10000

Nota. En la Tabla 18, se encuentra las dimensiones del área, los momentos de inercia, que se requerirán al momento de diseñar y calcular.

Varillas roscadas de 12 mm de diámetro: Estas varillas se utilizarán para soportar los extremos del eje “Y” y proporcionar estabilidad adicional a la estructura, según las normas DIN 976, estas varillas son de 1 metro.

Tabla 19

Par de rotura mínimo

Rosca	Par de rotura mínima Nm		
	Clases de calidad		
	50	70	80
M 1,6	0.15	0.2	0.24
M 2	0.3	0.4	0.48
M 3	1.1	1.6	1.8
M 6	9.3	13	15
M 10	46	65	74
M 12	80	110	130

Nota. En la Tabla 19, se observa el valor del par de ruptura mínimo para varillas roscadas desde el M1,6 hasta el M12. Tomado de *Características mecánicas de los elementos de fijación fabricados de acero inoxidable* por (Chavesbao, 2009)

Diseño de la estructura del eje “Y”

Para la base de la estructura, se utilizarán dos perfiles de aluminio V-Slot 2040 de 75 cm de longitud dispuestos en paralelo para formar el eje X. Para el eje Y, se utilizarán otros dos perfiles de aluminio V-Slot 2040 de 75 cm de longitud dispuestos perpendicularmente a

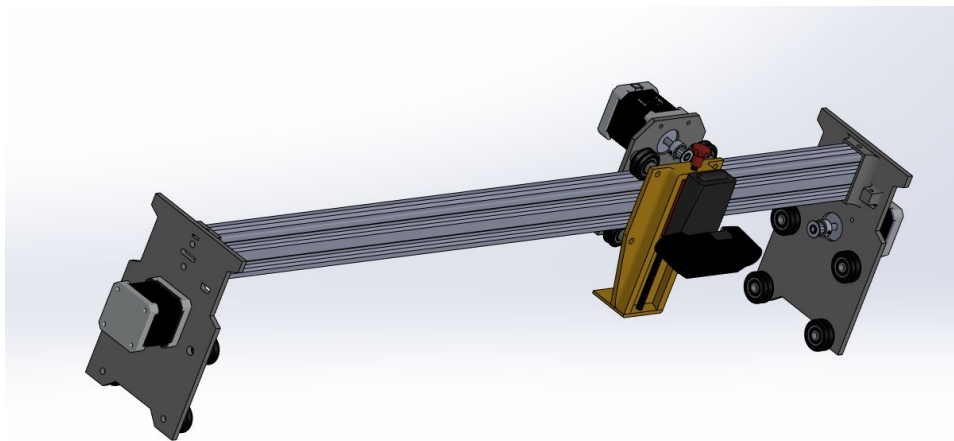
los perfiles del eje X. En los extremos del eje Y, se colocarán las varillas roscadas de 12 mm utilizando soportes adecuados para asegurar su estabilidad y fijación. Para la unión de los perfiles de aluminio y las varillas roscadas, se utilizarán conectores de esquina y tuercas apropiadas para garantizar una construcción sólida.

Análisis de Cargas

Para el análisis de cargas de la estructura se necesita previamente realizar cálculos en el eje "Y", siendo el motivo de que es el eje crítico, representado por la Figura 19, se destaca por ser el responsable de soportar la mayor magnitud de peso, debido a que los otros dos ejes X y Z se apoyan sobre él.

Figura 26

Eje de transmisión en "Y"

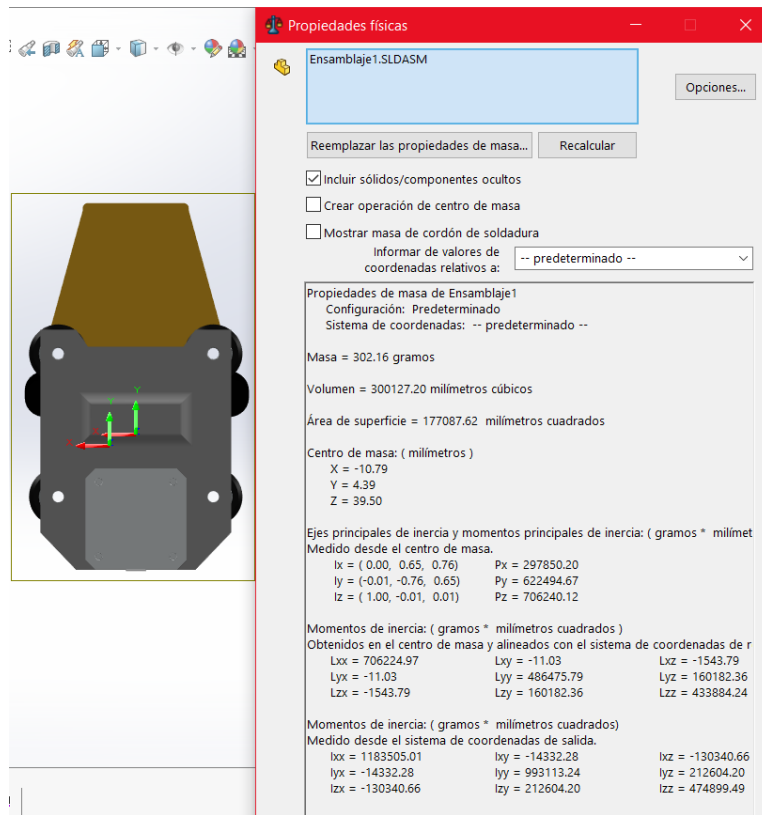


Nota. En la Figura 26, se observa el eje de transmisión en "Y", de nuestro sistema, el cual es el eje crítico al tener cargas existentes en el sistema.

Como se realiza una mención previa, existe en la estructura del eje "Y" un mecanismo en la mitad del eje. Siendo una carga en el eje "Z", céntrico en la viga del eje mencionado, este tiene propiedades físicas que nos brinda el Software SolidWorks y que se presentan a continuación.

Figura 27

Propiedades físicas en el eje “Z”



Nota. En la Figura 27, se observa las propiedades físicas en el eje “X”, de nuestro sistema, el cual deja denotar la inercia y momentos principales de inercia.

A su vez las propiedades físicas de nuestro ensamblaje dan una masa y volumen aproximados, la masa es de 302 gramos, a este valor se le adiciona el resultado del peso de la cámara que es de 162, dándonos un valor próximo de 464 gramos en el eje Z.

$$W_z = masa_{eje} * gravedad \tag{11)}$$

$$W_z = 0.464 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W_z = 4.551 \text{ N}$$

Dentro de este apartado es importante denotar las características del eje, para desarrollar los cálculos para un correcto análisis de cargas que actúan en el sistema de nuestra estructura.

Tabla 20

Datos del eje crítico "Y"

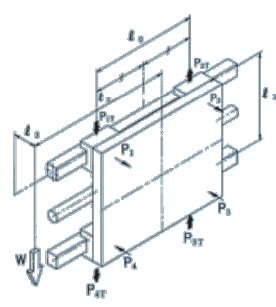
Variables	Valor	Unidades
Longitud del perfil	750	mm
V-Slot 2040		
Masa de la cámara	162	g
Logitech C922 Pro		
HD		
Masa de la base	60	g
Masa del motor	290	g
nema 17		
Masa Total	0.512	Kg
Gravedad	9.81	m/s^2
Fuerza(W)	5.002	N

Nota. En la Tabla 20, se debe tomar en cuenta que la fuerza puede variar directamente por el cambio de motor, el peso de los cables que van conectados al motor Nema 17 y a la cámara Logitech C922 Pro HD.

Para analizar la distribución de cargas nos basamos en el libro de resistencias de materiales y artículos científicos sobre diseño de CNC, para el cálculo de cargas que se encuentran en nuestra estructura, tomando en consideración la distribución de cargas.

Figura 28

Movimiento en el eje "Y" con cargas verticales

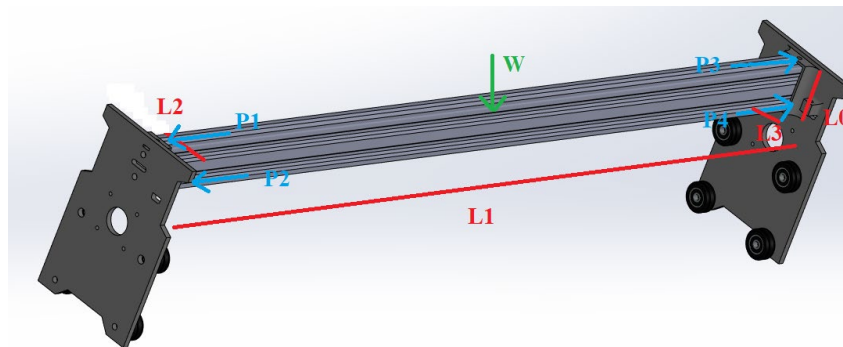


Nota. En la Figura 28, se puede observar cómo se ven distribuidas las cargas a diferentes distancias, esta orientación permite que las cargas aplicadas sean directas al sistema de guías. Tomado de *Techno INC* por (Technical Information, 2008)

Cálculos de las cargas del eje "Y"

Figura 29

Diagrama de las cargas en la estructura del eje "Y"



Nota. En la Figura 29, Tomando en cuenta lo mencionado, se empieza a designar las variables a cada parte del eje Y para poder encontrar los valores de la carga, a partir de las distancias, el peso y la fuerza aplicada.

El paso siguiente es escribir las fórmulas para encontrar las fuerzas P1, P2, P3 y P4 con valores en Newton, siendo w : el valor del peso total del eje "Y" y L0, L1, L2, L3 las distancias con valores en milímetros.

$$P1 = \frac{W}{4} + \left(\frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0}\right) - \left(\frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1}\right) \quad (12)$$

$$P2 = \frac{W}{4} - \left(\frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0}\right) - \left(\frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1}\right) \quad (13)$$

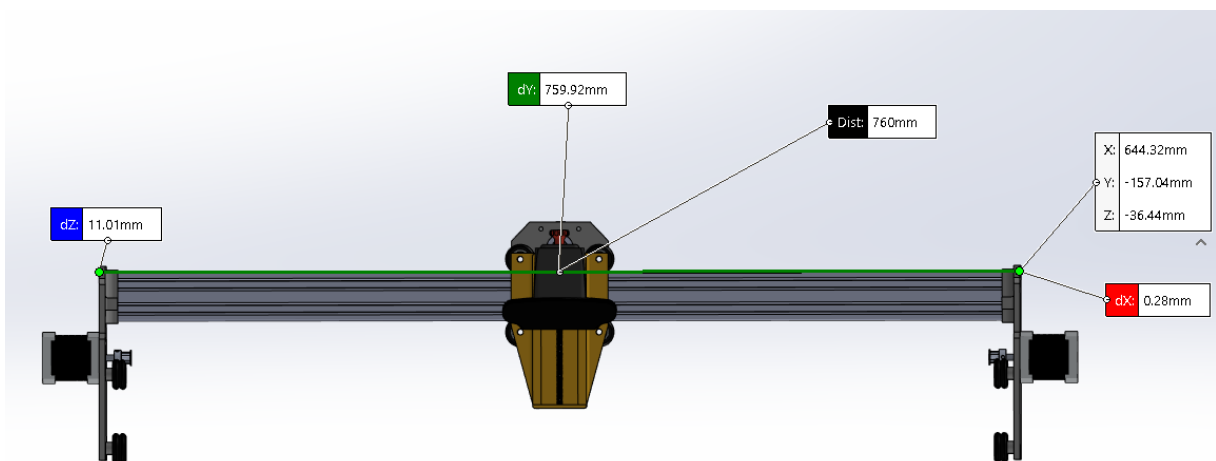
$$P3 = \frac{W}{4} - \left(\frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0}\right) + \left(\frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1}\right) \quad (14)$$

$$P4 = \frac{W}{4} + \left(\frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0}\right) + \left(\frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1}\right) \quad (15)$$

Los valores que tenemos para sustituir dentro de las ecuaciones son los tomados como referencia en el diseño de la estructura.

Figura 30

Distancias del eje "Y"



Nota. En la Figura 30, es importante identificar las variables de distancia con respecto a W que se encuentra en el eje "Z" y consta de la estructura del soporte de la cámara, la cámara y el motor.

Tabla 21*Datos de las variables*

Variable	Valor	Unidades
L0	44	mm
L1	750	mm
L2	10	mm
L3	24	mm
Fuerza (W)	5.002	N

Nota. En la Tabla 21, se encuentran los valores de las variables y la fuerza, conjuntamente con sus unidades, que se usarán para el cálculo de fuerzas en el eje.

Reemplazamos los valores de W, L1, L2, L3 y L4 en las ecuaciones P1, P2, P3 y P4 para determinar las fuerzas en el eje. (Philpot, 2008)

$$P1 = \frac{5.002}{4} + \left(\frac{5.002}{2} \times \frac{10}{44} \right) - \left(\frac{5.002}{2} \times \frac{24}{750} \right)$$

$$P1 = 1.7389 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{5.002}{4} - \left(\frac{5.002}{2} \times \frac{10}{44} \right) - \left(\frac{5.002}{2} \times \frac{24}{750} \right)$$

$$P2 = 0.6021 \text{ N}$$

$$P3 = \frac{5.002}{4} - \left(\frac{5.002}{2} \times \frac{10}{44} \right) + \left(\frac{5.002}{2} \times \frac{24}{750} \right)$$

$$P3 = 0.7620 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{5.002}{4} + \left(\frac{5.002}{2} \times \frac{10}{44} \right) + \left(\frac{5.002}{2} \times \frac{24}{750} \right)$$

$$P4 = 1.8988 \text{ N}$$

Una vez hemos obtenido los valores, procedemos a seleccionar las fuerzas que tienen mayor carga en este caso P1 y P4 y se procede a realizar el cálculo utilizando una metodología similar a la empleada en el análisis de vigas, para ello nos ayudamos de las siguientes fórmulas, que nos permiten encontrar RA y RB.

$$\sum Fy = 0 \quad 16)$$

$$P1 + P4 = RA + RB$$

$$\sum M_A = 0 \quad 17)$$

$$RB = \frac{P1 N * (340 mm) + P4 N * (360 mm)}{750 mm}$$

$$RB = \frac{1.7389 N * (340 mm) + 1.8988 N * (360 mm)}{750 mm}$$

$$RB = 1.6997 N$$

$$RA = P1 + P4 - RB$$

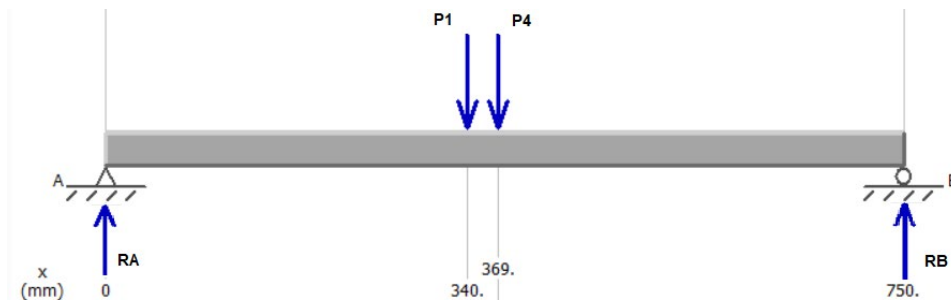
$$RA = 1.7389 N + 1.8988 N - 1.6997 N$$

$$RA = 1.938 N$$

Hecho los cálculos para conocer el valor de las incógnitas, hacemos uso del Software libre MDSolids 4.0, que permite ingresar las medidas, el peso y las cargas, dándonos el diagrama de corte y el momento.

Figura 31

Diagrama de las cargas y reacciones en el eje "Y"

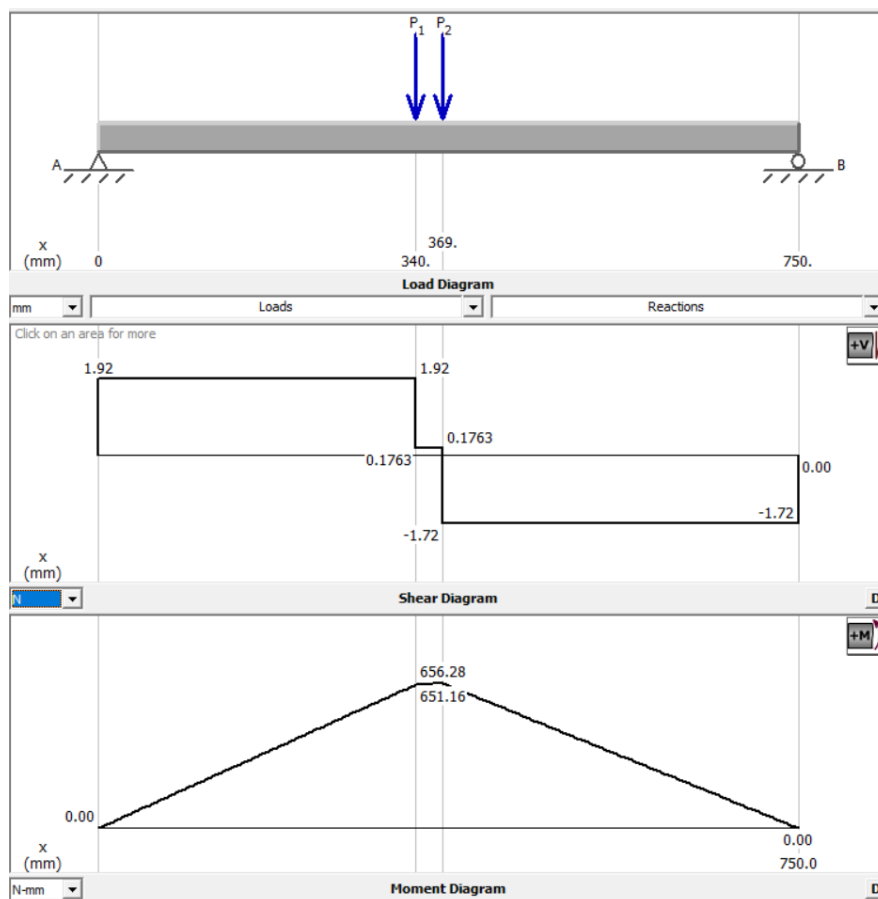


Nota. En la Figura 31, se identifica P1 y P4 a sus respectivas distancias, los dos carros son denotados como RA y RB, que fueron previamente calculados y simulados en MDSolids

El siguiente paso es encontrar el momento con respecto a las reacciones P1 y P4, tomando en cuenta las fuerzas y reacciones.

Figura 32

Diagrama del diagrama de momento y de corte



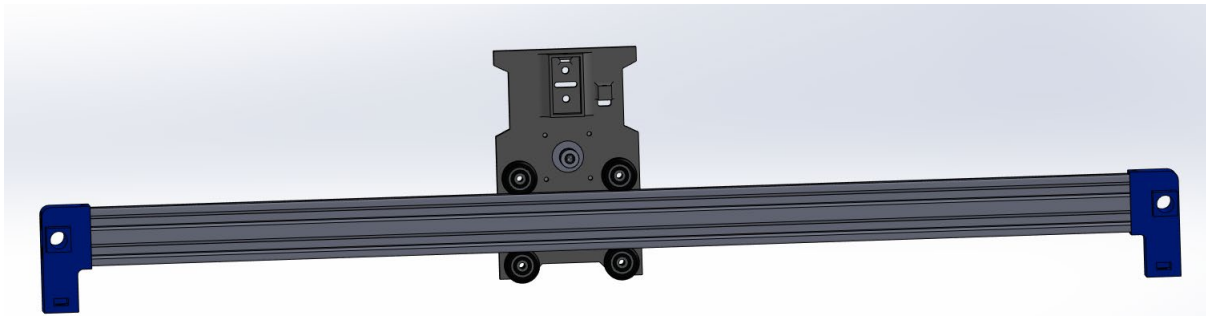
Nota. En la Figura 32, se determina los momentos que son de 656,28 N*mm y 651.16 N*mm, que servirán para calcular los perfiles con el momento máximo.

Diseño de la estructura del eje "X"

Es necesario determinar no únicamente el eje "Y" sino, también el otro eje, en caso de ser cartesiano, para ello procedemos a visualizar el eje, conjuntamente con sus variables y sacar los datos.

Figura 33

Eje de transmisión en "X"



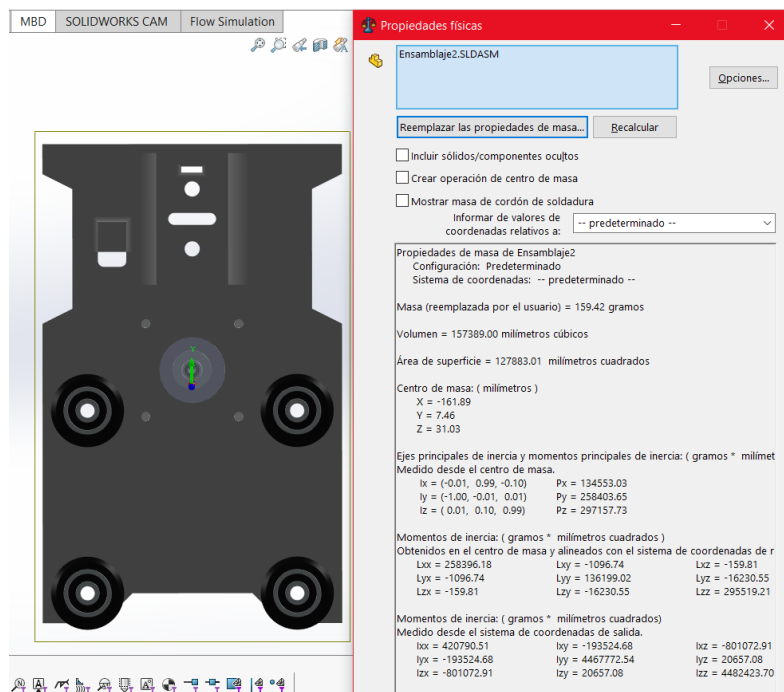
Nota. En la Figura 33, se observa el eje de transmisión en "X", de nuestro sistema, este eje se duplica dado que existen uno en el lado izquierdo y otro en el lado derecho.

Esta estructura tiene dos cargas en el eje "X", en los extremos siendo 0 y 750 mm su localización en el eje mencionado, este tiene propiedades físicas que nos brinda el Software SolidWorks y que se presentan a continuación.

Al momento de realizar el diseño del eje, se colocaron carros capaces de soportar al otro eje por los dos extremos, para que la carga sea repartida en ambos lados y el esfuerzo sea reducido a la mitad.

Figura 34

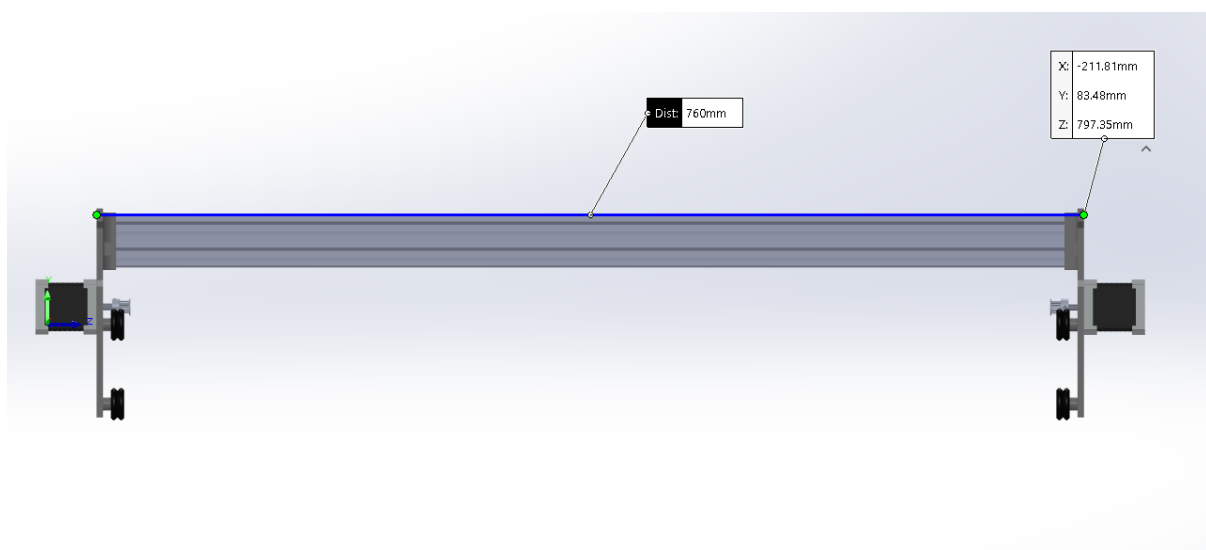
Propiedades físicas del eje "X"



Nota. En la Figura 34, se observa las propiedades físicas en "X", de nuestro sistema, como lo son momentos internos y la inercia.

Figura 35

Distancias del eje "X"



Nota. En la Figura 35, Tomar el largo del valor que se encuentra en el eje “X”, conjuntamente de los motores, los carros en ambos extremos del eje, para sus cálculos.

Es importante para los datos del eje, considerar los valores reales tanto del carro que fue impreso en 3D, como la masa del motor.

Tabla 22

Datos del eje “X”

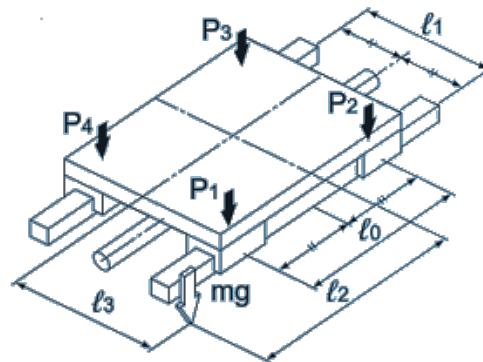
Variables	Valor	Unidades
Longitud del perfil	750	mm
V-Slot 2040		
Masa del carro	200	g
Masa del motor	290	g
nema 17		
Masa Total	0.490	Kg
Gravedad	9.81	m/s^2
Fuerza(W)	4.8069	N

Nota. En la Tabla 22, es imprescindible denotar que la masa del carro varía mucho al ser una impresión 3D, el cual es PLA, este eje cuenta con 2 motores en cada lado para el movimiento en X.

Se vuelve a realizar el mismo proceso que el anterior eje, para el cálculo de cargas que se encuentran en nuestra estructura, tomamos en consideración la distribución de cargas en el eje “X”.

Figura 36

Movimiento en el eje "X" con cargas verticales

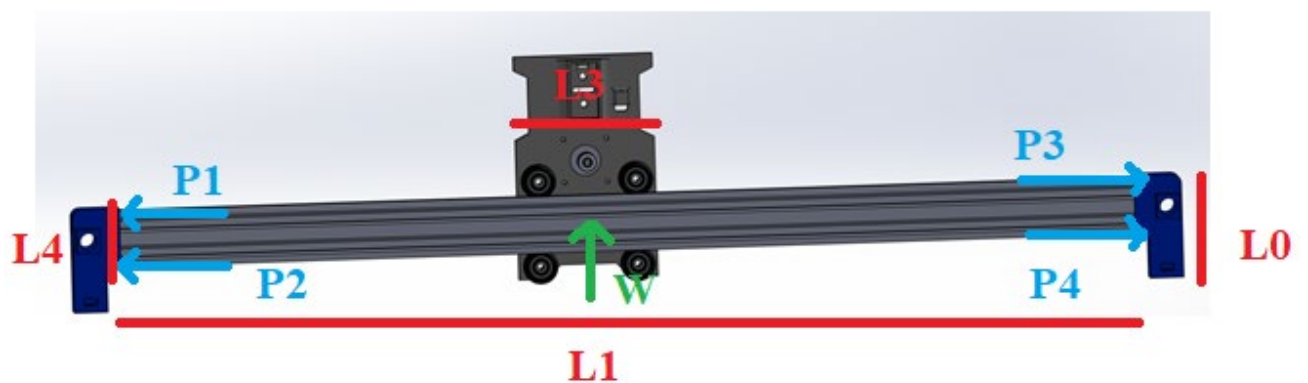


Nota. En la Figura 36, se observa el diagrama en posición horizontal con sus respectivas distancias y fuerzas, que servirán como modelo para nuestros valores. Tomado de *Techno INC* por (Technical Information, 2008)

Cálculos de la estructura del eje "X"

Figura 37

Diagrama de las cargas en la estructura del eje "X"



Nota. En la Figura 37, Se designan las variables a cada parte del eje X para poder encontrar los valores de la carga, a partir de las distancias, el peso y la fuerza aplicada.

El paso siguiente es escribir las fórmulas para encontrar las fuerzas P1, P2, P3 y P4 con valores en Newton, siendo W: el valor del peso total del eje "N" y L0, L1, L2, L3 las distancias con valores en milímetros.

$$P1 = \frac{W}{4} + \left(\frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0}\right) - \left(\frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1}\right) \quad 18)$$

$$P2 = \frac{W}{4} - \left(\frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0}\right) - \left(\frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1}\right) \quad 19)$$

$$P3 = \frac{W}{4} - \left(\frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0}\right) + \left(\frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1}\right) \quad 20)$$

$$P4 = \frac{W}{4} + \left(\frac{W}{2} \times \frac{L2}{L0}\right) + \left(\frac{W}{2} \times \frac{L3}{L1}\right) \quad 21)$$

Los valores que tenemos para sustituir dentro de las ecuaciones son los tomados como referencia en el diseño de la estructura.

Tabla 23

Datos de las variables

Variable	Valor	Unidades
L0	100	mm
L1	750	mm
L2	44	mm
L3	67.5	mm
Fuerza (W)	4.8069	N

Nota. En la Tabla 23, se encuentran los valores de las variables y la fuerza, conjuntamente con sus unidades, que se usarán para el cálculo de fuerzas en el otro eje.

Reemplazamos los valores de W, L1, L2, L3 y L4 en las ecuaciones P1, P2, P3 y P4 para determinar las fuerzas en el eje. (Philpot, 2008)

$$P1 = \frac{4.8069}{4} + \left(\frac{4.8069}{2} \times \frac{44}{100} \right) - \left(\frac{4.8069}{2} \times \frac{67.5}{750} \right)$$

$$P1 = 2.0429 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{4.8069}{4} - \left(\frac{4.8069}{2} \times \frac{44}{100} \right) - \left(\frac{4.8069}{2} \times \frac{67.5}{750} \right)$$

$$P2 = 0.7210 \text{ N}$$

$$P3 = \frac{4.8069}{4} - \left(\frac{4.8069}{2} \times \frac{44}{100} \right) + \left(\frac{4.8069}{2} \times \frac{67.5}{750} \right)$$

$$P3 = 0.3605 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{4.8069}{4} + \left(\frac{4.8069}{2} \times \frac{44}{100} \right) + \left(\frac{4.8069}{2} \times \frac{67.5}{750} \right)$$

$$P4 = 2.47555 \text{ N}$$

Una vez hemos obtenido los valores, procedemos a seleccionar las fuerzas que tienen mayor carga en este caso P1 y P4 y se procede a realizar el cálculo utilizando una metodología similar a la empleada en el análisis de vigas, para ello nos ayudamos de las siguientes fórmulas, que nos permiten encontrar RA y RB.

$$\sum Fy = 0$$

$$P1 + P4 = RA + RB$$

$$\sum M_A = 0$$

$$RB = \frac{P1 \text{ N} * (340 \text{ mm}) + P4 \text{ N} * (360 \text{ mm})}{750 \text{ mm}}$$

$$RB = \frac{2.0429 \text{ N} * (340 \text{ mm}) + 2.47555 \text{ N} * (360 \text{ mm})}{750 \text{ mm}}$$

$$RB = 2.1143 \text{ N}$$

$$RA = P1 + P4RB$$

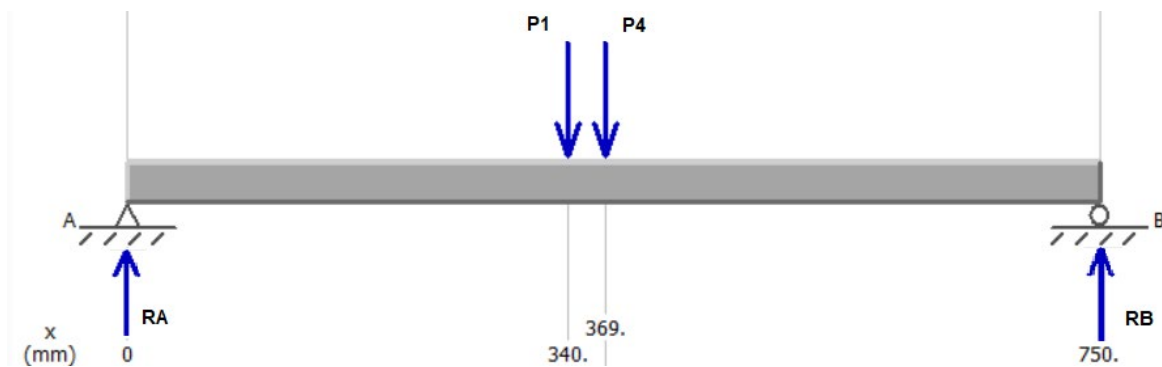
$$RA = 2.0429 N + 2.47555 N - 2.1143 N$$

$$RA = 2.40415 N$$

Hecho los cálculos para conocer el valor de las incógnitas, hacemos uso del Software libre MDSolids 4.0, que permite ingresar las medidas, el peso y las cargas, dándonos el diagrama de corte y el momento.

Figura 38

Diagrama de las cargas y reacciones en el eje "X"

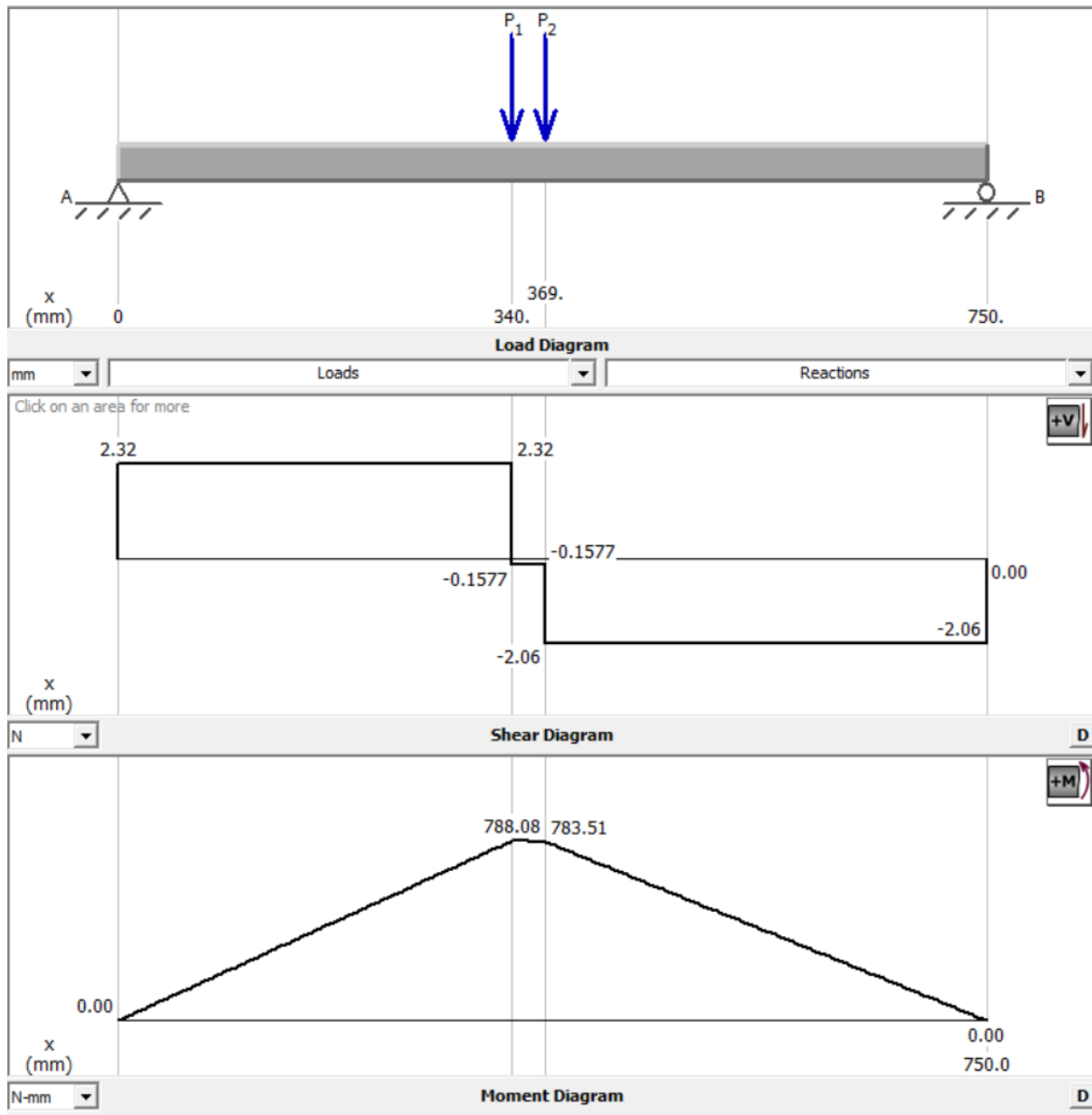


Nota. En la Figura 38, Se identifica P1 y P4 a sus respectivas distancias, los dos carros son denotados como RA y RB, que fueron previamente calculados y simulados en MDSolids

El siguiente paso es encontrar el momento con respecto a las reacciones P1 y P4, tomando en cuenta las fuerzas y reacciones, donde se debe visualizar tanto las reacciones en el diagrama de momentos como de corte.

Figura 39

Diagrama del diagrama de momento y de corte



Nota. En la Figura 39, se determina los momentos que son de 788.05 N*mm y 783.51

N*mm, que servirán para calcular los perfiles con el momento máximo.

Cálculos de los carros

La elaboración de los carros fueron de forma que se adapten los motores, sean sujetadas en la estructura, con los pernos M3 y M5, permitan el libre paso de la correa y la banda dentada, para este diseño se toma en cuenta el posicionamiento de las tuercas, que permitan el libre movimiento y sea ajustable con los rodamientos.

Figura 40

Estructura del carro vista frontal

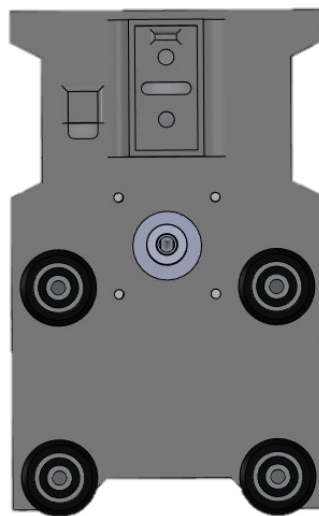
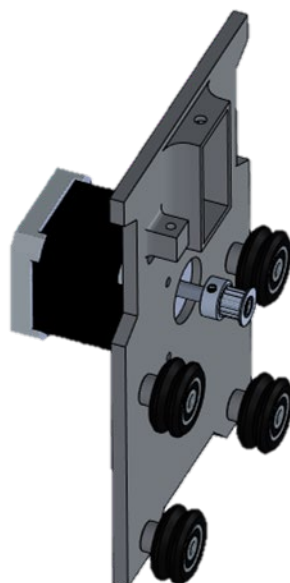


Figura 41

Estructura del carro vista lateral

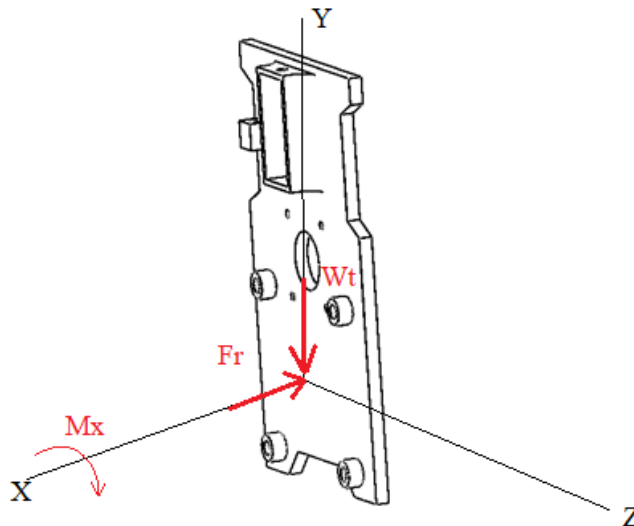


Nota. En la Figura 40 y 41, se observa como son los carros para el diseño, donde en la parte media hay un espacio para adaptar la nema 17 y hay un soporte para la banda, existen 4 huecos para que entren las tuercas y rodamientos, que permitan rigidez en la estructura.

Esta estructura del carro fue diseñada en material FDM y luego el diseño fue reforzado en PLA, el grosor es de 5 mm y según su forma, podemos dar mayor soporte al eje "Y" y al eje "X".

Figura 42

Estructura del carro vista lateral



Nota. En la Figura 42, las fuerzas se colocan en los ejes de acción situados en "X" y "Y", para poder realizar el DCL y el momento en X.

En el cual el cálculo de W_t es el peso del eje transversal "Y":

$$W_t = 5.002 \text{ N}$$

El valor de Fr que es la Fuerza de fricción que corresponde a el encaje y al rodamiento se lo debe encontrar en tablas.

Tabla 24*Características mecánicas del PLA*

PLA	
Característica	Valor
Alargamiento en la rotura (%)	35
Coefficiente de fricción	0.3
Módulo de elasticidad (GPa)	3.37
Coefficiente de Poisson	0.3
Resistencia al impacto ($kJ m^{-2}$)	3.37
Temperatura de transición vítrea	65°
Densidad ($gr cm^{-2}$)	1.25

Nota. En la Tabla 24, tenemos que tomar en cuenta que no se seleccionó únicamente por su precio sino por su resistencia a temperaturas hasta 65°, su resistencia, y sus características mecánicas.

Por lo cual:

$$F_r = W_t * \mu \quad 22)$$

Para poder calcular el coeficiente de fricción se hace uso del valor del μ de las características mecánicas del PLA.

$$F_r = 5.002 * 0.3$$

$$F_r = 1.5006 N$$

Se procede a sacar el momento M_x , producido al realizar el movimiento transnacional de W_t , hay que tomar en cuenta que esto es para el perfil V-Slot 2040.

$$Mx = 5.002 \text{ N} * 20 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$Mx = 0.10004 \text{ Nm}$$

El siguiente paso es calcular el esfuerzo que realiza el V-Slot 2040, para ello se debe conocer:

$I_x =$ Momento de Inercia en X

$Mx =$ Momento en X

$c =$ Fibra externa

$V =$ Fuerza normal

$A =$ Área de la fuerza

Para la aplicación de la fórmula de los esfuerzos:

$$\sigma_n = -\frac{V}{A} \pm \frac{M_x c}{I_x} \quad (23)$$

$$A = (20 \times 10^{-3})^2 - (18.2 \times 10^{-3})^2$$

$$A = 6.876 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$I_x = \frac{20^4}{12} - \frac{18.2^4}{12}$$

$$I_x = 4.19 \times 10^3 \text{ m}^4$$

$$\sigma_n = \frac{1.5006 \text{ N}}{6.876 \times 10^{-5} \text{ m}^2} + \frac{0.10004 \text{ Nm} * 20 \times 10^{-3} \text{ m}}{0.419 \times 10^{-8} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_n = 21.823 \text{ Kpa}$$

El cálculo del cortante se realiza mediante la consideración de la carga transversal y el efecto torsional presente, sin embargo, en este escenario particular donde no existe ningún efecto torsional, el cálculo del cortante se simplifica únicamente considerando la fuerza transversal.

$$\tau_{xy} = \frac{3 W_t}{2 A} \quad (24)$$

$$\tau_{xy} = \frac{3 \cdot 1.5006 N}{2 \cdot 4.19 \times 10^3 m^2}$$

$$\tau_{xy} = 5.3720 \times 10^{-4} Kpa$$

Se procede a sacar los esfuerzos 1 y 2 mediante la ecuación general de los esfuerzos.

$$\sigma_T = \frac{\sigma_n}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_n}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (25)$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_n}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_n}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{21.823 Kpa}{2} + \sqrt{\left(\frac{21.823 Kpa}{2}\right)^2 + 32.735 Kpa^2}$$

$$\sigma_1 = 21.823 Mpa$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_n}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_n}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{21.823 Kpa}{2} - \sqrt{\left(\frac{21.823 Kpa}{2}\right)^2 + 32.735 Kpa^2}$$

$$\sigma_2 = -2.4616 Mpa$$

El último paso es sacar el factor de seguridad con todos los cálculos que se han realizado, mediante la siguiente fórmula, tomando el valor positivo de los esfuerzos.

Para sacar el esfuerzo a la fluencia de la aleación, nos ayudamos de la tabla de propiedades mecánicas de la ficha técnica del PLA.

Figura 43

Propiedades mecánicas del PLA

<u>Propiedades mecánicas (*)</u>	<u>Moldeo por inyección</u>		<u>Impresión 3D</u>	
	Valor típico	Método de ensayo	Valor típico	Método de ensayo
Módulo de elasticidad a la tracción	-	-	2346,5 MPa	ISO 527 (1 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la deformación	-	-	49,5 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la rotura	-	-	45,6 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la deformación	-	-	3,3 %	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la rotura	-	-	5,2 %	ISO 527 (50 mm/min)
Resistencia a la flexión	-	-	103,0 MPa	ISO 178
Módulo de flexión	-	-	3150,0 MPa	ISO 178
Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C)	-	-	5,1 kJ/m ²	ISO 180
Resistencia a la prueba de impacto Charpy (a 23 °C)	-	-	-	-
Dureza	-	-	83 (Shore D)	Durómetro

Nota. En la Figura 43, se identifica que al igual que otros materiales el PLA también tiene propiedades en su esfuerzo de tracción a la deformación y a la rotura. Tomado de *Ficha de datos técnicos PLA* por (Ultimaker, 2017)

$$Nf = \frac{Sy}{\sigma} \quad 26)$$

$$Nf = \frac{49.5 \text{ Mpa}}{21.823 \text{ Mpa}} = 2.2682$$

El resultado del factor de seguridad es de 2.268 siendo mayor al valor de uno y dando paso a su diseño en el Software CAD, para su respectiva simulación de esfuerzos.

Diseño del control eléctrico

Cálculos del torque del motor

Para poder calcular que motor es el necesario, debemos tomar en cuenta varios parámetros, para ello se decidió utilizar motores nema, el torque necesario no es para la tuerca del husillo, la tuerca, el tornillo sin fin, sino para bandas dentadas. Por ello se pudo seleccionar entre estos modelos de motores paso a paso, conjuntamente con sus características.

Tabla 25

Modelos de motores y sus características

Modelo del motor	Ángulo de paso (°)	Corriente (A)	Máximo torque (Nm)	Precio (\$)
NEMA17 42STH40-1204A 1.2A 0.4Nm	1.8	1.2	0.4	15.75
NEMA17 42HD8011-01 1.5A 0.7Nm	1.8	1.5	0.7	24.99
NEMA23 57STH56-2804A 2.8A 1.26Nm	1.8	2.8	1.26	39.75
NEMA23 57HD6013-03 3A 1.8Nm	1.8	3	1.8	59.99
NEMA34 HIBRIDO 2 FASES JK86HS155-6004A 6A 12Nm	1.8	6	12	189.99

Nota. En la Tabla 25, se observa una gama amplia de Nemas, que son comerciales y abastecen el torque del sistema.

En la selección del motor, se manifestó que el torque máximo de una nema 17 que no pasaba el 1 Nm era suficiente para el movimiento en los ejes “X” y “Y”, tomando en consideración todas las características las dos opciones: NEMA17 42STH40-1204A 1.2A 0.4Nm y NEMA17 42HD8011-01 1.5A 0.7Nm, son aceptables, la consideración que se tomó para elegir el motor, fue el precio, dado que se requieren 3, dando como resultado el NEMA17 42STH40-1204A 1.2A 0.4Nm.

Tabla 26

Modelo Nema 17 42STH40-1204A 1.2A 0.4Nm

Motor Nema 17 42STH40-1204A 1.2A 0.4Nm							
Par de retención	Tensión nominal	Eje	Grado de tensión	Ángulo de paso	Longitud del motor	Corriente nominal	Inductancia
40 N*cm	4 V	Ø 5 mm	2.8 V	1.8°	40 mm	1.2 A	3.2 mH

Nota. En la Tabla 26, se toma en cuenta todos los datos del modelo, adicional hay que tomar en cuenta que la corriente nominal es muy importante para la calibración de los motores al momento de utilizarlo. Tomado de *NEMA17-13-04PD-AMT112S* por (CUID , 2020)

Para saber si el factor de seguridad cumple con nuestro proyecto, hacemos uso del **Anexo A**, donde podemos encontrar el torque que entrega el motor Nema 17, según la matriz QFD, tiene un rango permisible para que abastezca el movimiento en los ejes, siendo el torque de 40 N*cm, consumiendo 1.2 A.

Mediante la siguiente fórmula se calcula el factor de seguridad del motor, para ello se hace una relación entre el par de retención y el torque mínimo para el movimiento.

$$Nf = \frac{T_{motor\ nema\ 17}}{T_r} \quad 27)$$

$$Nf = \frac{40\ N * cm}{60\ N * cm}$$

$$Nf = 2.5$$

Como se puede apreciar, este motor Nema 17 42STH40-1204A 1.2A 0.4Nm está operando solamente al cuarenta por ciento de su capacidad nominal. Gracias a la característica de funcionamiento de este tipo de motor, es posible diseñar un control punto a punto sin requerir circuitos de realimentación u otros sensores adicionales, lo que resulta en un ahorro de energía al evitar el uso de elementos activos adicionales.

Microcontrolador del sistema

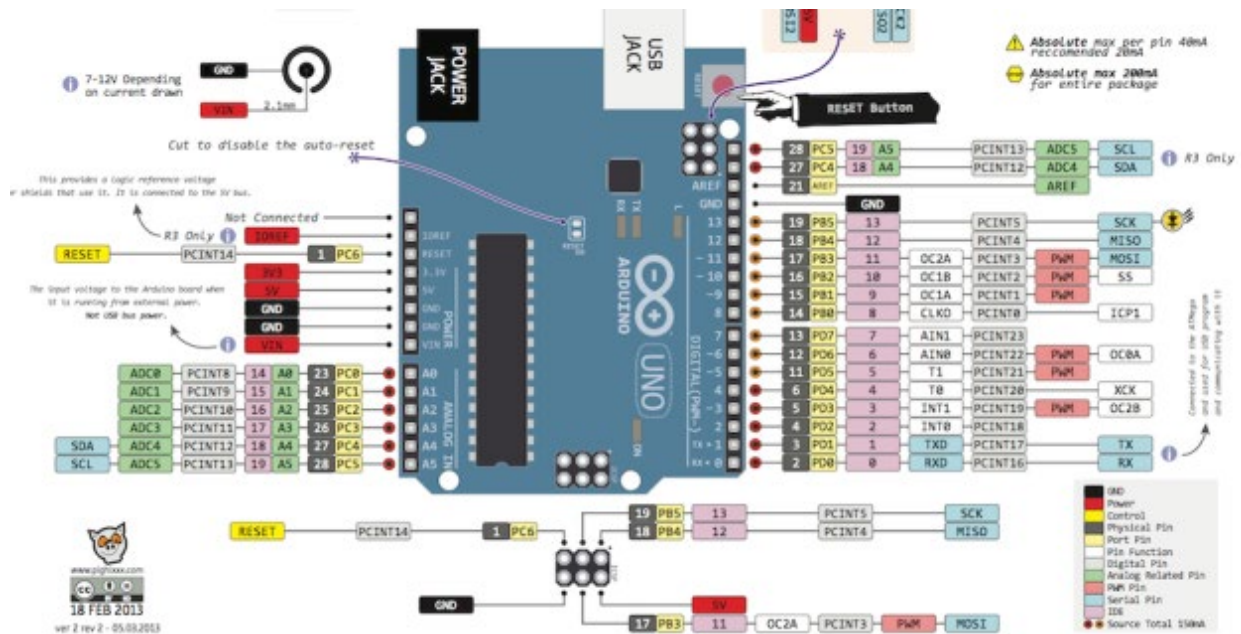
Para el control del sistema se empleó un microcontrolador Arduino Uno, y en supervisión de licencia de uso consta de las siguientes características:

- 20 pines de entradas y salidas digitales (6 de ellos con modulación por ancho de pulso - PWM).
- 6 entradas análogas.
- 1 puerto serial.
- 1 oscilador de 16 MHz.
- 1 conector USB.
- 1 conector de potencia.

El microcontrolador Arduino Uno recibe la señal de salida deseada desde el computador a través de un cable USB, utilizando comunicación serial. Una vez recibida la señal, el microcontrolador la procesa utilizando el código de control punto a punto previamente cargado en la tarjeta. Se envía la señal de control para el movimiento de los motores y se recibe la señal de los finales de carrera. Los puertos de entrada y salida son configurados en el código del software Arduino.

Figura 44

Arduino Uno



Nota. En la Figura 44, se puede observar la placa Arduino UNO, la cual se considera un microcontrolador, capaz de utilizar 14 pines digitales y 6 analógicas. Tomado de *Arduino UNO* por (Arduino, 2019)

La elección del Arduino Uno se debe a que, aunque posee menos entradas digitales que el Arduino Mega, es ampliamente utilizado y su versatilidad es suficiente para las necesidades del proyecto.

El Arduino Uno permite utilizar 2 pines para interrupciones, lo cual es esencial para implementar la rutina de Home y detener la máquina en caso de colisión con los finales físicos del sistema.

Driver Motor paso a paso DRV8826

Explicación breve: El Driver Motor paso a paso DRV8826 fue seleccionado para controlar los motores paso a paso nema 17 en el robot cartesiano debido a sus características técnicas, tales como la corriente de salida ajustable, el modo de microstepping, la protección térmica y contra sobre corriente, la compatibilidad con

microcontroladores y su eficiente disipación de calor. Estas cualidades hacen que el DRV8826 sea una opción confiable y adecuada para optimizar el rendimiento y la precisión del sistema, el diagrama se lo presenta en el Anexo A.

Tabla 27

Driver Motor paso a paso DRV8826

Características del Driver Motor paso a paso DRV8826	Razones de selección
Corriente de salida ajustable	Optimización del rendimiento del motor
Modo de microstepping	Mayor resolución y suavidad en el movimiento del motor
Protección térmica y contra sobre corriente	Prevención de daños y mayor seguridad
Compatibilidad con microcontroladores y sistemas de control	Facilidad de integración con el sistema
Disipación de calor eficiente	Mantenimiento de una temperatura de funcionamiento óptima

Nota. En la Tabla 27, se consideran las potencias, la protección, disipación y sobre todo si la corriente y voltaje son las correspondientes para el motor paso a paso. Tomado de *DRV8825/DRV8826 datasheet* por (Texas Instruments, 2011)

Sensor de finales de carrera

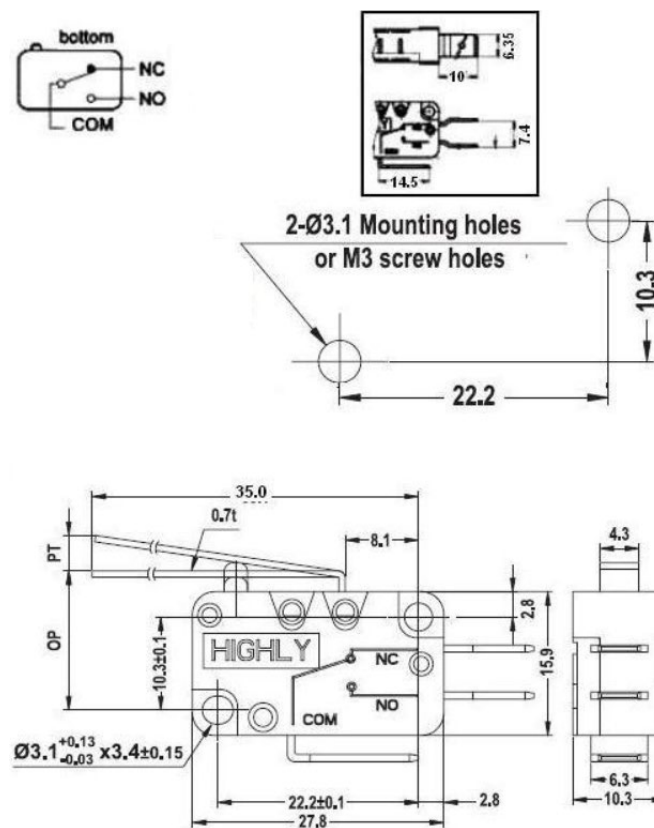
El esquema eléctrico del sensor de final de carrera se presenta para su implementación en el sistema, permitiendo establecer tanto la posición de inicio (Home) como los límites finales alcanzados por cada eje, para que no exista colisiones.

El circuito consta de sensores de final de carrera ubicados en el eje “Y” y “X”. Cada sensor está conectado a un pin digital específico del microcontrolador, a través del cual se

recibe una señal digital. Esta señal permite detectar la presencia o ausencia del objeto que activa el sensor, lo que a su vez permite determinar la posición del eje en relación con el origen y los límites de recorrido. El uso de estos sensores asegura un posicionamiento preciso y confiable del sistema en todo momento, facilitando así su operación y evitando movimientos fuera de los rangos establecidos.

Figura 45

Finales de carrera



Nota. En la Figura 45, se identifica la forma de los interruptores fin de carrera en formato switch, su dimensionamiento y su forma de conectar, que se colocarán en los extremos de los perfiles. Obtenido de *Interruptores de Final de Carrera* por (Shoptronica, 2022)

Simulación de cálculos estructurales

A continuación, se exponen los resultados derivados de la ejecución de un análisis estático realizado en el software de diseño SolidWorks utilizando la herramienta de simulación.

Se han evaluado las estructuras de los ejes en nuestro sistema con el propósito de obtener conclusiones fundamentales sobre su comportamiento en condiciones estáticas.

Perfil del eje “Y”

Para iniciar el análisis mecánico del elemento, primero es necesario definir la geometría del perfil del eje Y utilizado, que corresponde al Perfil tipo V-Slot 2040, fabricado en aluminio. En este caso, se selecciona un perfil de dimensiones nominales de 20 mm x 40 mm, con ranuras en forma de V. Para el dimensionamiento del perfil, se toman como referencias las especificaciones del perfil V-Slot 2040 y se considera el material de aluminio utilizado en su fabricación, cuyas propiedades mecánicas se presenta a continuación.

Figura 46

Propiedades del material Aluminio 6063-T5

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	6.9e+10	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.58e+10	N/m ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Límite de tracción	185000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	145000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	2.34e-05	/K
Conductividad térmica	209	W/(m·K)

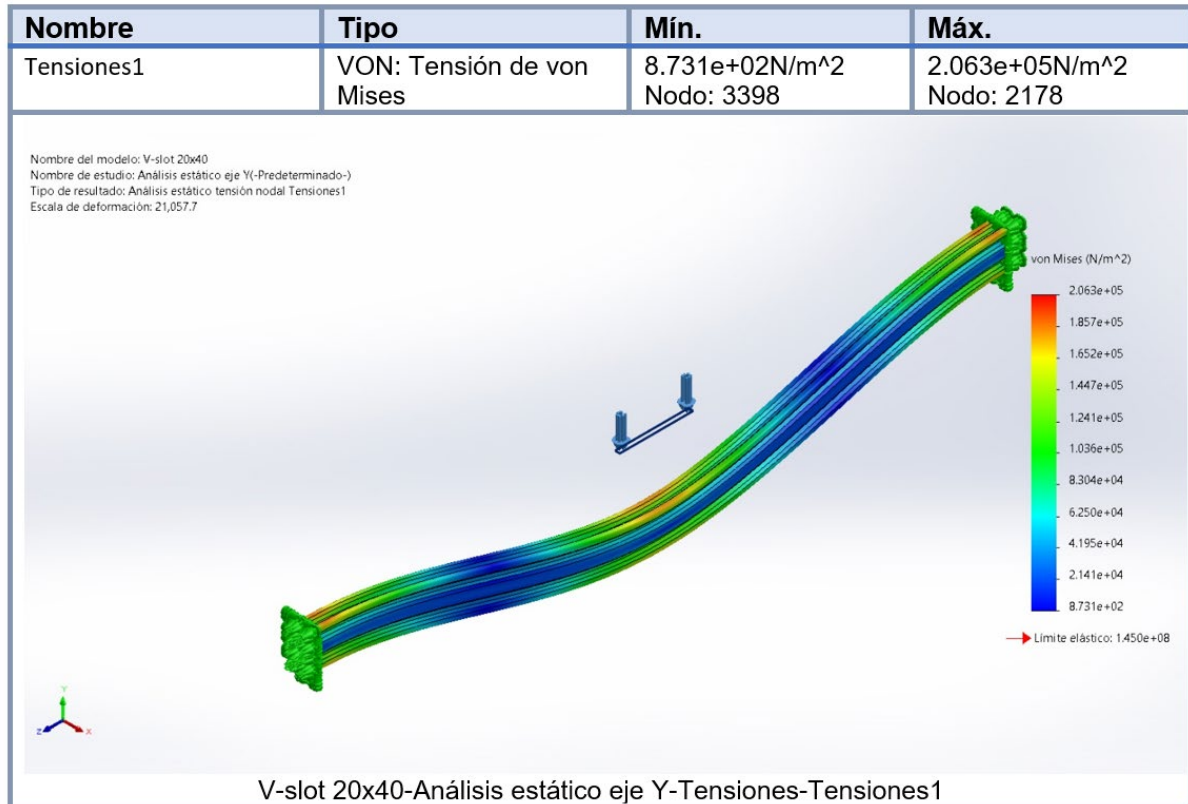
Nota. En la Figura 46, podemos encontrar el módulo cortante, elástico y límites de elasticidad y tracción que son necesarios para aplicar al perfil del eje “Y” y sirven para los cálculos.

Se necesita identificar las tensiones mínimas y máximas que nos permite obtener el límite elástico, mediante la tensión de von Mises, esto nos ayuda a identificar las

deformaciones existentes en caso de ser un valor superior a lo permisible, siendo más que factible el material para su construcción.

Figura 47

Simulación de los esfuerzos en el eje "Y"

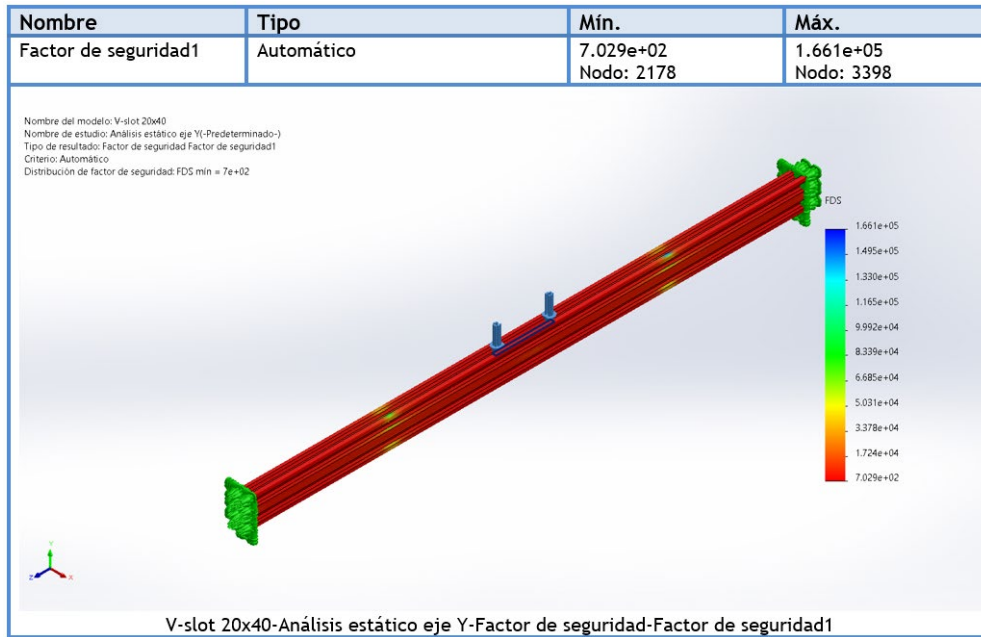


Nota. En la Figura 47, se obtiene un valor mínimo de $8.731 \times 10^2 \text{ N/m}^2$ y un valor máximo de $2.063 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.

El siguiente proceso es realizar la simulación para identificar el mínimo y máximo del factor de seguridad, al realizar dicho cálculo se concluye que el factor de seguridad para las fuerzas aplicadas, es más que suficiente el material de la estructura.

Figura 48

Simulación del factor de seguridad en el eje "Y"

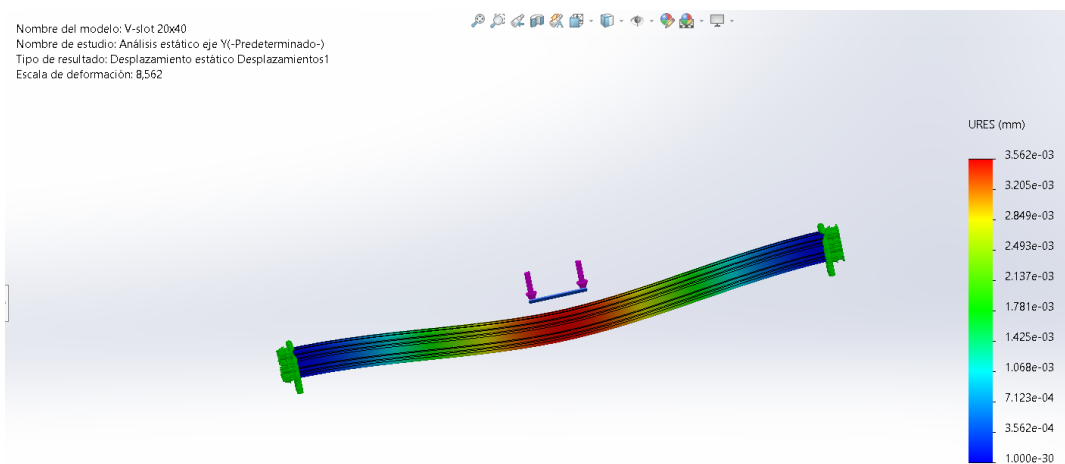


Nota. En la Figura 48, se obtiene un valor mínimo de 7.029×10^2 y un valor máximo de 1.661×10^5 .

En la deformación existente de las fuerzas, es muy pequeña imperceptible, por lo tanto, se coloca una escala de deformación alta para observar el desplazamiento, dando como resultado que el peso que soportará no afectará en su diseño ni en su vida útil.

Figura 49

Simulación del desplazamiento en el eje "Y"



Nota. En la Figura 49, se obtiene un valor mínimo de $1 \times 10^{-30} \text{ mm}$ y un valor máximo de $3.562 \times 10^{-3} \text{ mm}$.

Perfil del eje "X"

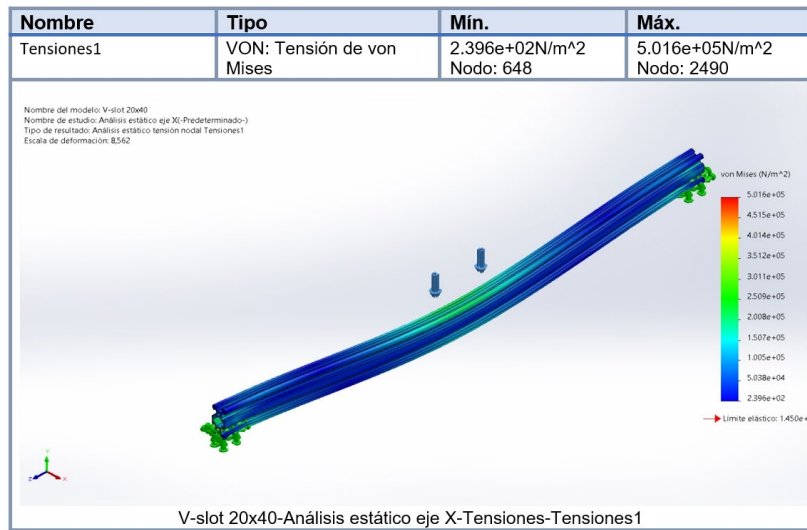
Para comenzar el análisis mecánico del eje X, es necesario definir la geometría del perfil utilizado, para el perfil del eje "X", se emplea el Perfil tipo V-Slot 2040, fabricado en aluminio, con dimensiones nominales de 20 mm x 40 mm y ranuras en forma de V. El eje X actúa como soporte para el eje "Y" y su diseño se basa en las especificaciones del perfil V-Slot 2040, considerando las propiedades mecánicas del aluminio, que se proporciona. La interacción entre el eje X y el eje Y es fundamental para garantizar la estabilidad y resistencia de la estructura en general. Las propiedades de fabricación del eje X se encuentra disponible en el Anexo B.

Es necesario establecer las tensiones extremas, tanto mínimas como máximas, que permiten alcanzar el límite elástico de un material, utilizando la teoría de la tensión de von Mises. Se emplea para evaluar el estado de deformación presente en el material y verificar si la tensión es superior a los límites permisibles. En caso de que la tensión se encuentre dentro de los límites aceptables, el material es altamente adecuado para la construcción del eje "X".

El determinar un análisis de las tensiones mínimas y máximas mediante es necesario para ello se hace uso de la teoría de la tensión de von Mises con el fin de determinar el límite elástico del material. Donde podemos evaluar las deformaciones presentes y verificar si la tensión excede los límites admisibles. Si la tensión se mantiene dentro de los márgenes permisibles, el material es altamente adecuado para su utilización en la construcción del objeto en consideración.

Figura 50

Simulación de los esfuerzos el eje "X"

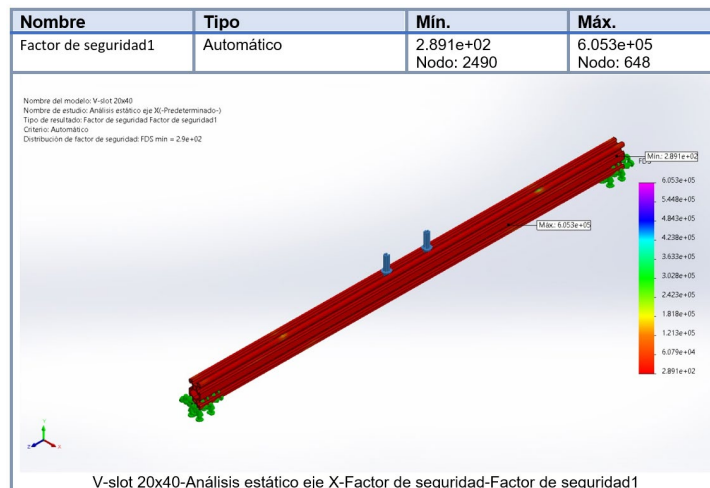


Nota. En la Figura 50, se obtiene un valor mínimo de $2.396 \times 10^2 \text{ N/m}^2$ y un valor máximo de $5.016 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.

Luego de determinar la tensión de von Mises, pasamos a realizar un análisis de simulación para determinar el factor de seguridad mínimo y máximo. Pudiendo llegar a la conclusión de que el factor de seguridad para las fuerzas aplicadas es más que adecuado para el material utilizado en la estructura.

Figura 51

Simulación del factor de seguridad en el eje "X"

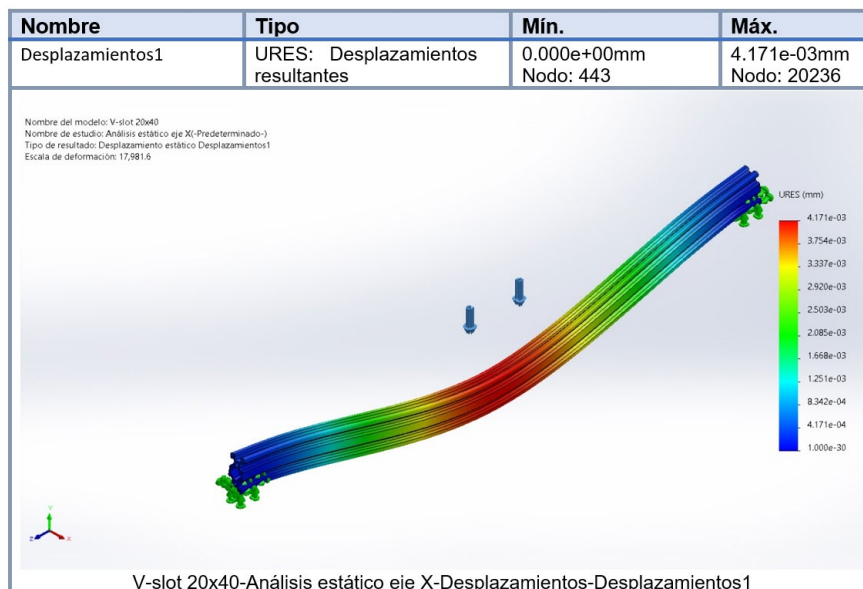


Nota. En la Figura 51, se obtiene un valor mínimo de 2.891×10^2 y un valor máximo de 6.053×10^5 .

En el análisis de deformación de las fuerzas aplicadas, se ha observado que las deformaciones existentes son muy pequeñas y prácticamente imperceptibles. Para visualizar los desplazamientos, se ha utilizado una escala de deformación alta. Los resultados indican que el peso que la estructura soportará no tendrá ningún impacto significativo en su diseño ni en su vida útil.

Figura 52

Simulación del desplazamiento en el eje "X"



Nota. En la Figura 52, se obtiene un valor mínimo de 1×10^{-30} mm y un valor máximo de 4.171×10^{-3} mm.

Varilla roscada de soporte

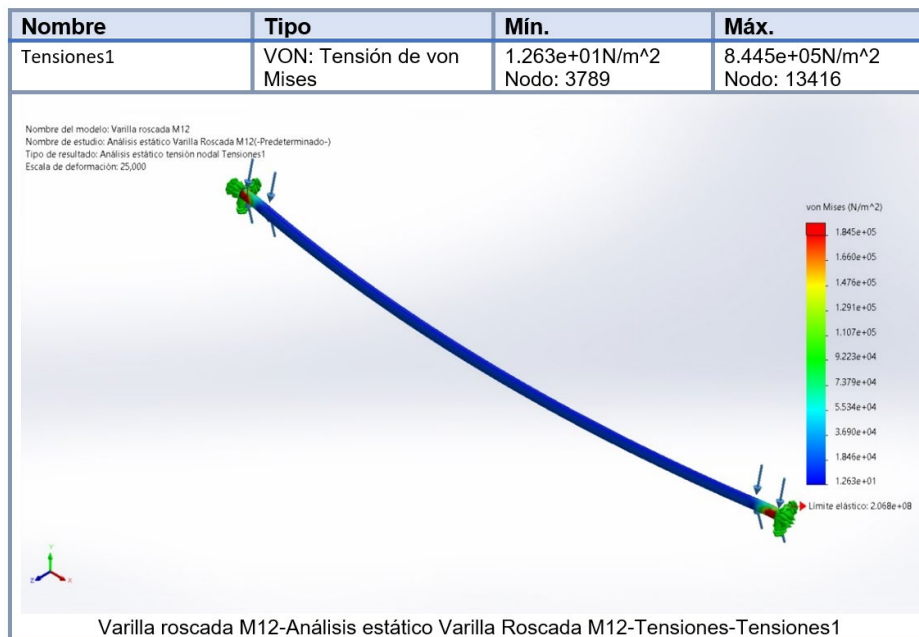
Para el análisis mecánico de las varillas roscadas inoxidables M12 que se sitúan en los extremos del eje X, con el propósito de brindar soporte y estabilidad al sistema, se consideran ciertas propiedades mecánicas del material y la geometría de la varilla.

Las varillas roscadas inoxidables M12 son elaboradas de acero inoxidable, esto permite asegurar una operación confiable y duradera del sistema, especialmente en ambientes con posibles exposiciones a la humedad o sustancias corrosivas. La geometría de la varilla M12, incluyendo su longitud y diámetro, influye en su capacidad para resistir fuerzas y momentos aplicados en los extremos del eje X. Posterior se analiza la capacidad de carga de las varillas, considerando tanto las fuerzas estáticas como las dinámicas que puedan actuar sobre ellas durante el funcionamiento del sistema, esta varilla es de acero inoxidable AISI 304, disponible en el Anexo C.

Donde se afirma la estabilidad del sistema y evitar deformaciones excesivas, se verifica que las varillas roscadas inoxidables M12 sean lo suficientemente resistentes y rígidas para soportar las cargas y momentos que se presenten. Además, se analiza la conexión y sujeción adecuada de las varillas a la estructura, asegurando que el montaje sea robusto y no presente desplazamientos indeseados. Las propiedades mecánicas del acero inoxidable M12 se encuentra disponible en el Anexo D.

Figura 53

Simulación de los esfuerzos de la varilla roscada

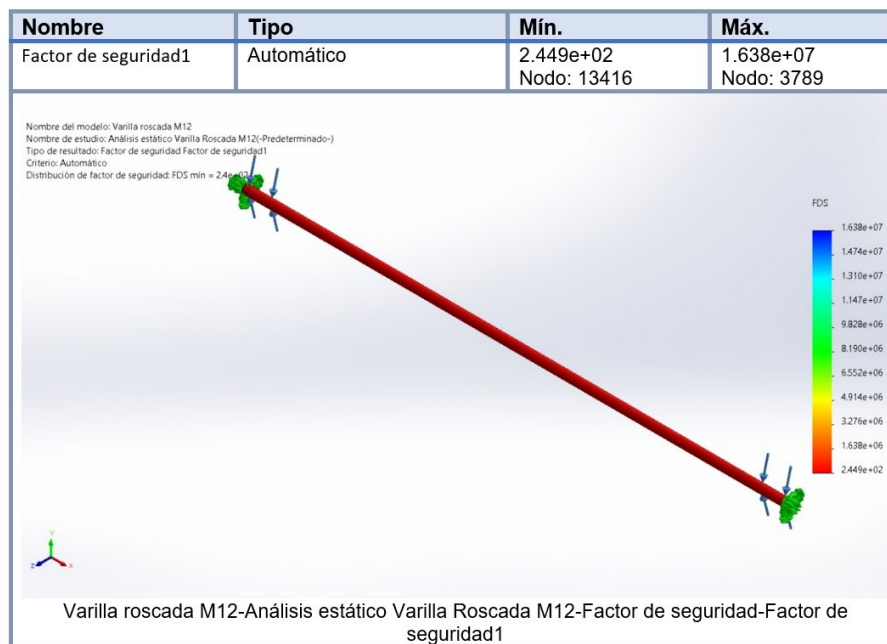


Nota. En la Figura 53, se obtiene un valor mínimo de $1.263 \times 10^2 N/m^2$ y un valor máximo de $1.845 \times 10^5 N/m^2$.

Procedemos a realizar un análisis de simulación para calcular el rango mínimo y máximo del factor de seguridad. El siguiente paso es completar esta evaluación, se ha determinado que el factor de seguridad para las fuerzas aplicadas es más que suficiente, lo que significa que el material utilizado en la estructura es adecuado para resistir las cargas previstas.

Figura 54

Simulación del factor de seguridad de la varilla roscada

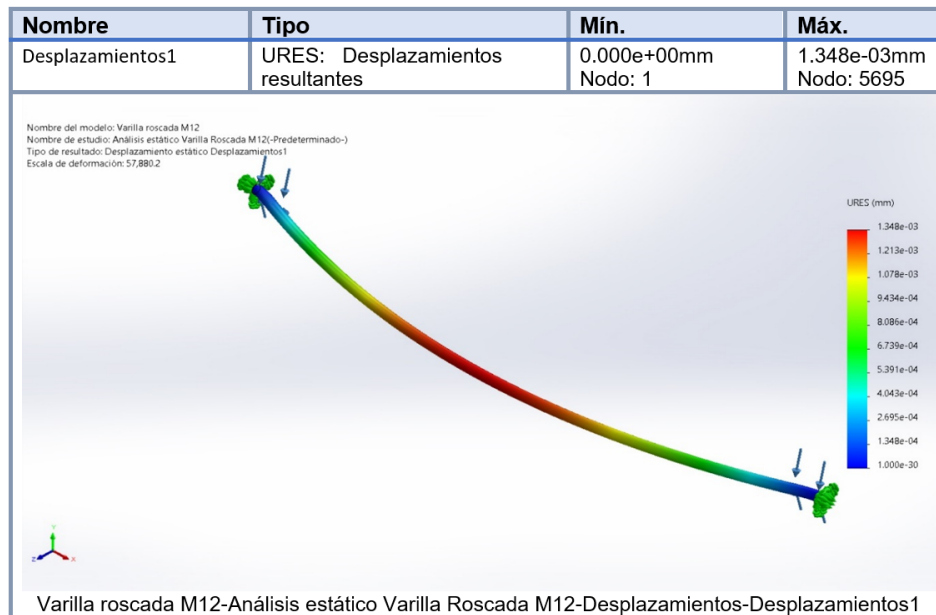


Nota. En la Figura 54, se obtiene un valor mínimo de 2.449×10^2 y un valor máximo de 1.639×10^7 .

A lo largo del análisis de deformación causada por las fuerzas aplicadas, se registraron deformaciones mínimas y apenas perceptibles. Para visualizar mejor los desplazamientos, se ha utilizado una escala de deformación alta. Según los resultados obtenidos, el peso que la estructura deberá soportar no tendrá un impacto significativo en su diseño ni afectará su vida útil de manera relevante.

Figura 55

Simulación del desplazamiento de la varilla roscada



Nota. En la Figura 55, se obtiene un valor mínimo de $1 \times 10^{-30} \text{ mm}$ y un valor máximo de $1,348 \times 10^{-3} \text{ mm}$.

Perfil del carro

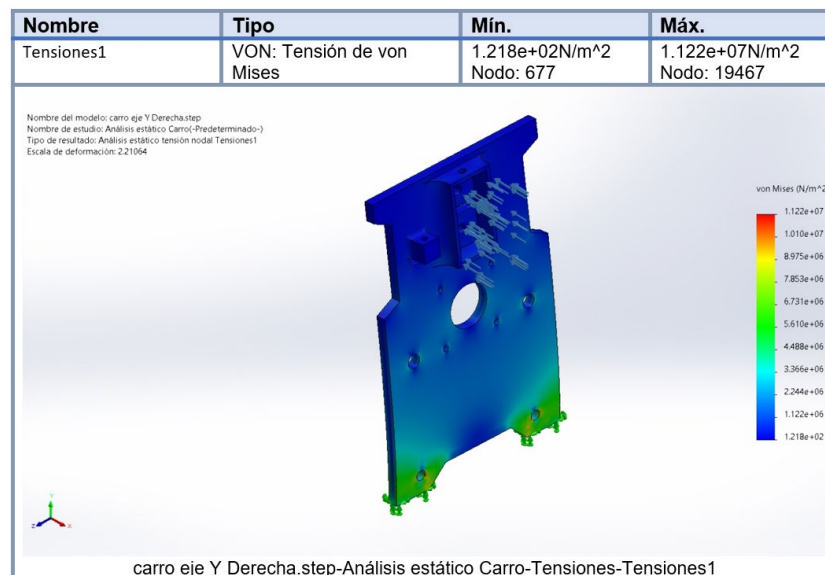
Para iniciar el análisis mecánico del perfil del carro, es necesario definir la geometría de la pieza impresa en PLA, tomando en cuenta que el diseño del carro se adapta para permitir el movimiento suave y preciso entre el eje X y el eje Y. El material implementado es de impresión 3D PLA, caracterizado por su resistencia, facilidad de impresión y baja fricción, lo que lo hace propicio para el sistema de movimiento mecánico.

El perfil del carro presenta una forma específica que se ajusta a la estructura del eje X y está diseñado para alojar los elementos que facilitan el desplazamiento a lo largo del eje Y. El PLA tiene propiedades mecánicas que se debe considerar en el análisis, como la resistencia a la tracción, la compresión y la flexión, para asegurar que el perfil del carro pueda soportar las cargas y movimientos requeridos.

El proceso de impresión 3D del perfil del carro permite una mayor flexibilidad en el diseño, lo que posibilita la integración de características y detalles específicos para una interacción óptima entre el eje X y el eje Y. El plano de fabricación del perfil del carro se encuentra disponible en el **Anexo E**. Con el uso del material PLA y un diseño adecuado, se busca asegurar un movimiento suave y confiable del sistema a lo largo del eje Y, lo que contribuye a la eficiencia y precisión del proyecto.

Figura 56

Simulación de los esfuerzos del perfil del carro

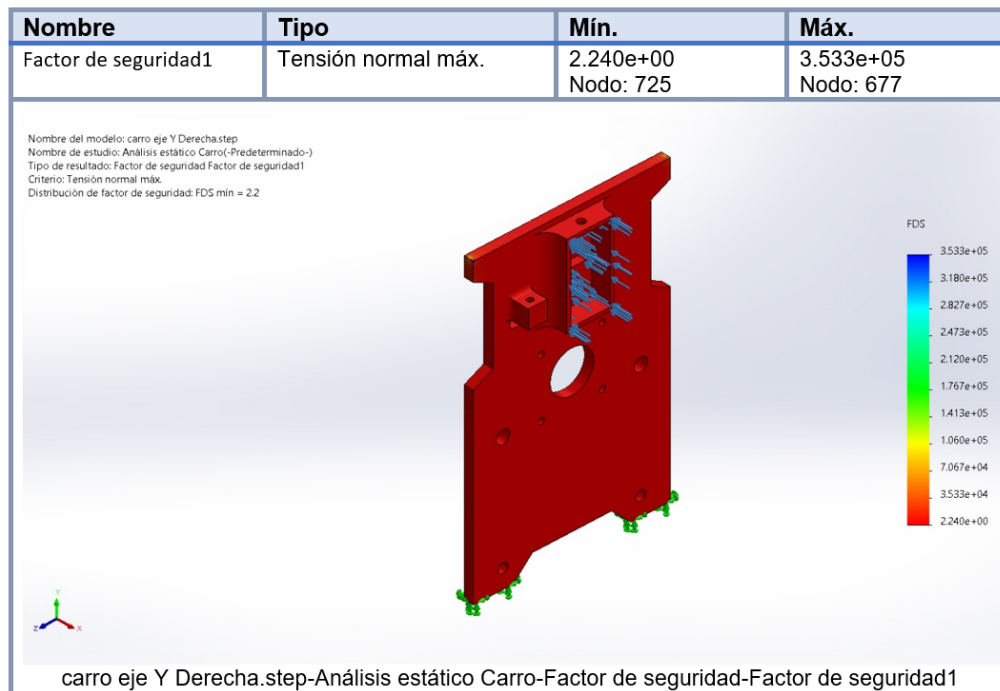


Nota. En la Figura 56, se obtiene un valor mínimo de $1.263 \times 10^2 \text{ N/m}^2$ y un valor máximo de $1.845 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.

A continuación, procederemos con la simulación para determinar el rango mínimo y máximo del factor de seguridad. Una vez que finalice esta evaluación, podremos concluir que el factor de seguridad frente a las fuerzas aplicadas es ampliamente adecuado. En consecuencia, podemos afirmar que el material utilizado en la estructura del carro es idóneo para resistir las cargas previstas con total seguridad.

Figura 57

Simulación del factor de seguridad del perfil del carro

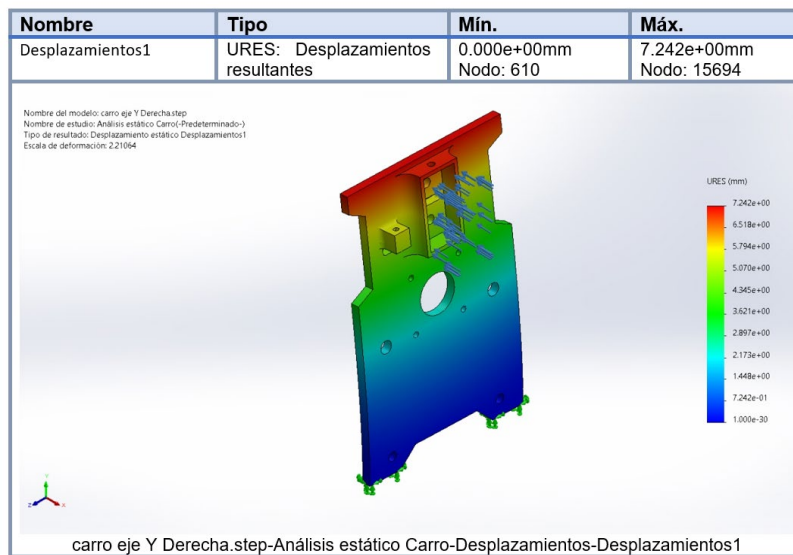


Nota. En la Figura 57, se obtiene un valor mínimo de 2.449×10^2 y un valor máximo de 1.639×10^7 .

Durante el análisis de deformación causada por las fuerzas aplicadas, se han registrado deformaciones mínimas y apenas perceptibles. Para visualizar mejor los desplazamientos, se ha utilizado una escala de deformación alta. Según los resultados obtenidos, el peso que la estructura deberá soportar no tendrá un impacto significativo en su diseño ni afectará de manera relevante su vida útil.

Figura 58

Simulación del desplazamiento del perfil del carro



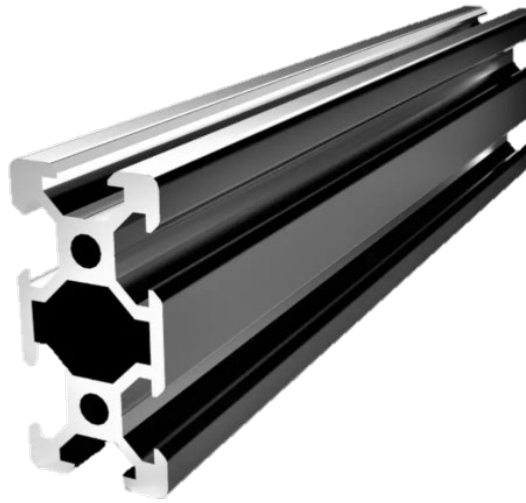
Nota. En la Figura 58, se obtiene un valor mínimo de $1 \times 10^{-30} \text{ mm}$ y un valor máximo de $1.348 \times 10^{-3} \text{ mm}$.

Construcción de la estructura

En este apartado se detalla el proceso de construcción de la estructura que albergará el sistema automático para la verificación de medidas en patrones. Se describe la transición de la idea inicial de una estructura de mayor tamaño a la estructura final, que se adaptó a las nuevas condiciones del convenio con la empresa FAME S.A. El diseño se basa en la utilización de perfiles de aluminio tipo V-Slot 2040 para los ejes X e Y, así como el uso de varillas roscadas de acero inoxidable M12 para brindar soporte y estabilidad en los extremos del eje X, el material PLA utilizado en la impresión 3D del carro, que permite el movimiento entre los ejes X e Y, así como los soportes para la cámara, tomando en cuenta también, la implementación de los sensores de final de carrera, que permiten establecer la posición de inicio (Home) del robot y los límites finales alcanzados por cada eje. Se detalla el circuito eléctrico utilizado para recibir las señales de los sensores y cómo estos contribuyen a un posicionamiento preciso y seguro del sistema, los complementos del carro y la estructura, como son:

Figura 59

Perfiles de aluminio tipo V-Slot 2040



Nota. En la Figura 59, se observa el perfil estructural serie 2040 que se utiliza normalmente en impresoras, máquinas CNC y máquinas de proceso automático. Tomado de *Perfiles de Aluminio* por (INKUBA, 2023)

Figura 60

Piezas impresas en PLA



Nota. En la Figura 60, se observa las diferentes partes de la estructura donde se hizo uso de las impresiones 3D, como lo es el carro para los ejes, la sujeción de la cámara, los soportes de las cuatro esquinas y las cajas para la fuente y Arduino Uno + Shield Arduino CNC.

Figura 61

Ruedas completas Delrin



Nota. En la Figura 61, se puede observar el kit completo de las ruedas Delrin que consta de la rueda, 2 rodillos y la arandela. Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Figura 62

Espaciador 6 mm



Nota. En la Figura 62, se identifican las piezas de montaje, para perfiles tipo V, que permite el encaje ente ambas piezas. Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Figura 63

Arandelas de precisión estampada 5.3 x 10



Nota. En la Figura 63, se contempla las piezas de montaje de alta precisión para una mejor sujeción al colocar los pernos y tuercas. Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Figura 64

Polea GT2-6mm 16 dientes D-5



Nota. En la Figura 64, se percibe la forma de la polea de aluminio para ejes de 6mm, utilizadas usualmente para impresoras 3D y permiten que el movimiento rotacional se transforme en movimiento lineal mediante las bandas. Tomado de *Imprimante 3D service* por (I3D Service, 2021)

Figura 65

Banda GT2-6mm con hilo de acero (blanca)



Nota. En la Figura 65, se examina la correa a utilizar en la parte de la polea que permitirá movilizar los ejes, se caracteriza por tener 500 dientes por metro y tener una tensión de trabajo de 27N y un punto de quiebre de 516 N. Tomado de *Banda Dentada GT2 2GT 6mm 1 Metro* por (NOVATRONIC, 2020)

Figura 66

Tuercas T insertable M4 serie 20



Nota. En la Figura 66, se observa una pieza de montaje dentro de la categoría tornillos y tuercas, que permite ajustarse en el perfil V-Slot serie 20. Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Figura 67

Pernos Allen cilíndrico M3x08, M4x08, M4x10 y M4x40 (mm)



Nota. En la Figura 67, se contempla los pernos que se usaron para ajustar los perfiles a los carros, la banda y los soportes. Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Figura 68

Pernos Allen cabeza plana M5x25, M5x15 y M5x30 (mm)



Nota. En la Figura 68, se presenta los pernos cabeza plana que al igual que los pernos cabeza cilíndrica se utilizó para ajustar los motores y los fines de carrera. Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Figura 69

Arandelas M3



Nota. En la Figura 69, se considera a las arandelas para el encaje entre perno y la pieza, con un juego mínimo. Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Figura 70

Cadena porta cable TP 10x10



Nota. En la Figura 70, se indica la morfología de la cadena que recubrirá los cables de la cámara, los cables de los motores y de los fines de carrera, permitiendo optimizar espacio.

Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Figura 71

Micro fin – carrera



Nota. En la Figura 71, se refleja los fines de carrera que se usaron, son versátiles y permiten identificar el Home y los extremos del sistema. Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Figura 72

Varilla roscada inoxidable M12



Nota. En la Figura 72, se observa la varilla roscada de 1 metro, de acero inoxidable, que permite mayor firmeza en el sistema en la parte de los 4 soportes. Tomado de *Varilla roscada acero inoxidable milímetros UNC* por (LA CASA DEL PERNO RMGR , 2023)

Figura 73

Tuercas hexagonales M12



Nota. En la Figura 73, se refleja la forma de las tuercas inoxidable métrica 12 de forma hexagonal, que permiten realizar ajustes con el tornillo, utilizándolo para los perfiles.

Tomado de *Tuerca Hexagonal Inoxidable Métrica - M12* por (Tornillos TOREC, 2023)

Figura 74

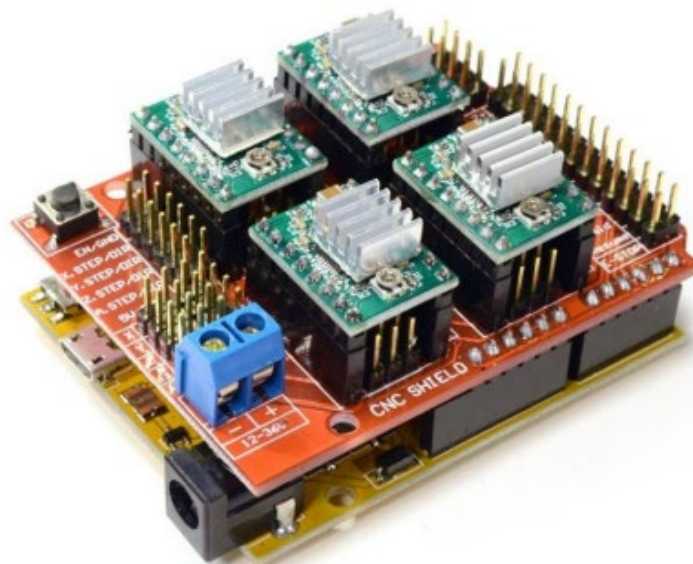
Arandelas planas M12



Nota. En la Figura 74, se ilustra las arandelas de mayor tamaño que ayudan al soporte de la estructura a que los pernos no se aflojen. Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Figura 75*Arduino Uno R3*

Nota. En la Figura 75, se observa la placa de Arduino que se utilizó en la parte de la programación del sistema y control. Tomado de *Arduino UNO* por (Arduino, 2019)

Figura 76*Placa de control CNC Shield V3*

Nota. En la Figura 76, se manifiesta la forma de la CNC Shield V3, la cual permite manejar hasta 4 drivers en los ejes "X", "Y" y "Z". Tomado de *3-Axis CNC/Stepper Motor Shield for Arduino* por (Handsontec, 2018)

Figura 77*Cámara Web Logitech C922 Pro Stream Full HD*

Nota. En la Figura 77, se visualiza la cámara que se usa para la parte de visión artificial, esta tiene una resolución de HD 1080p a 30 fps de 162 g. Tomado de C922 PRO HD Stream Webcam por (Logitech, 2020)

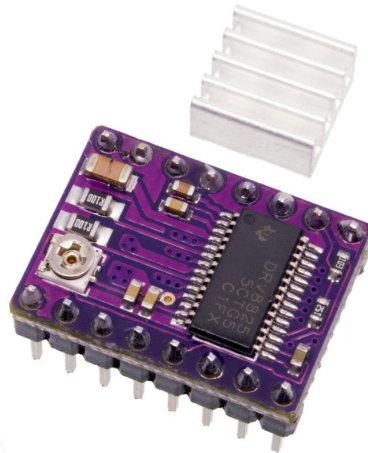
Figura 78*Cables para motor Nema 17*

Nota. En la Figura 78 se identifica los cables que se usan para extender la distancia de los motores, dado que se necesita de 1 metro para que no exista limitación al mover los ejes.

Tomado de *Cable para motor nema17 de 4 hilos* por (NOVATRONIC, 2020)

Figura 79

Driver motor paso a paso DRV8826

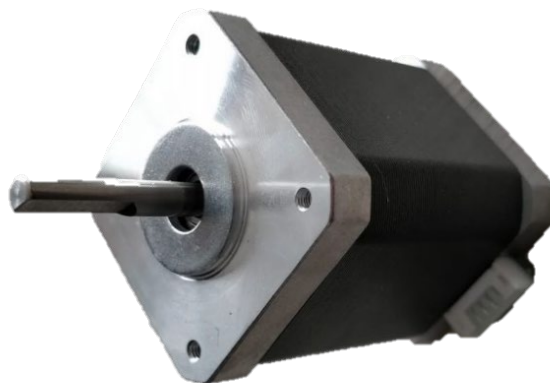


Nota. En la Figura 79, se contempla los drivers para controlar la dirección de los motores, para conocer su paso, la corriente y el voltaje, se hace la calibración de los motores.

Tomado de *Driver DRV8826* por (NOVATRONIC, 2020)

Figura 80

Motor paso a paso nema 17 42STH40 1204 1.2A 0.4Nm



Nota. En la Figura 80, se indica el modelo de motor nema que se usó, en este caso se usaron 3, 2 para él un eje y 1 para el otro. Tomado del *catálogo de compras* de (PERFILES CNC, 2022)

Una vez identificado todos los componentes, procedemos a construir nuestro sistema, como se muestra a continuación.

Figura 81

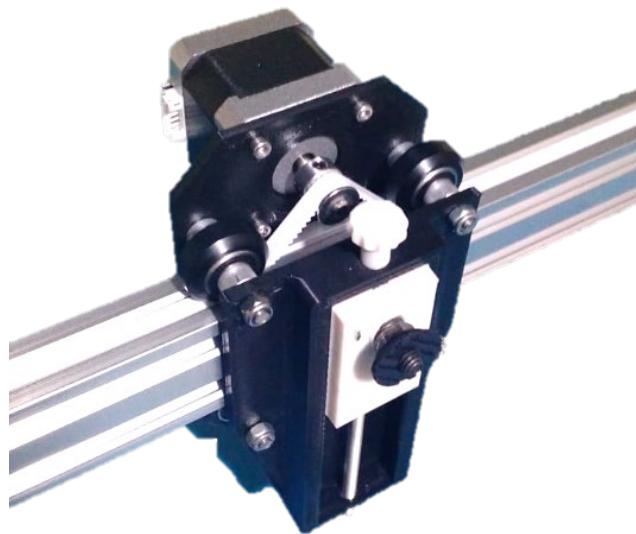
Eje "X" y "Y" unidos mediante el carro



Nota. En la Figura 81, se muestra la unión entre los ejes "X" y "Y" mediante el carro impreso en 3D. Esta pieza permite el desplazamiento del sistema en ambos ejes, lo que garantiza su movilidad y precisión durante el proceso de verificación de medidas en patrones.

Figura 82

Soporte para la cámara y carro del eje "Y"



Nota. En la Figura 82, se presenta el soporte para la cámara y el carro del eje “Y”. Este soporte es esencial para mantener la estabilidad de la cámara y asegurar que las mediciones realizadas sean precisas y consistentes.

Figura 83

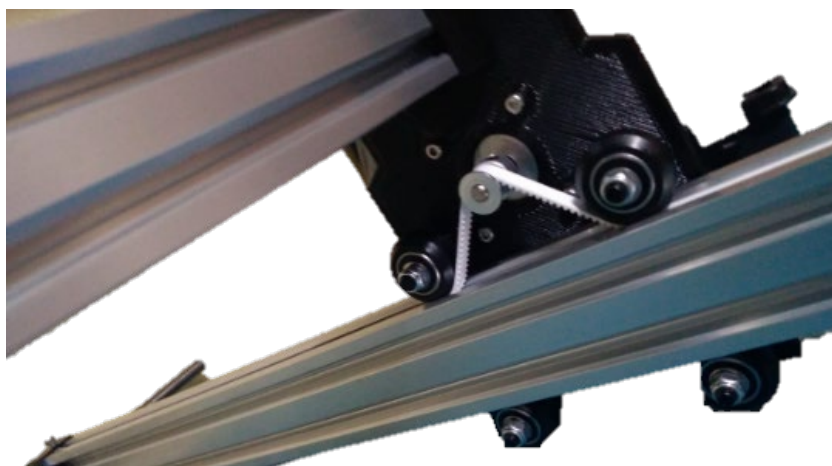
Estructura unida conjuntamente con el carro del “Y”



Nota. En la Figura 83, se observa la unión entre la estructura principal y el carro del eje “Y”. Esta conexión es importante para proporcionar soporte y guiar el movimiento del carro a lo largo del eje “Y”.

Figura 84

Colocación de las bandas en las poleas de los dos ejes



Nota. En la Figura 84, se aprecia la colocación de las bandas en las poleas de los ejes “X” y “Y”. Estas bandas transmiten el movimiento desde los motores hacia los carros de cada eje, lo que permite el desplazamiento controlado y preciso del sistema.

Figura 85

Armado de la estructura conjuntamente con los motores y la varilla roscada



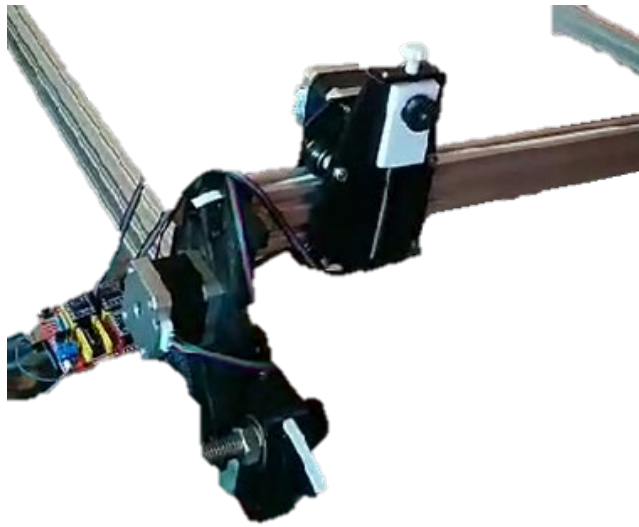
Nota. En la Figura 85, se observa el armado de la estructura, junto con la colocación de los motores paso a paso y las varillas roscadas de acero inoxidable M12, se integran para brindar estabilidad y rigidez a la estructura, garantizando su correcto funcionamiento durante el proceso.

Implementación del sistema eléctrico a la estructura

El siguiente proceso es unir la parte estructural con el sistema mecánico, que son la fuente, el Arduino Uno y la shield CNC V3, conjuntamente con los motores paso a paso y drivers de la nema 17.

Figura 86

Motor nema 17 y control mediante el driver motor paso a paso DRV8826



Nota. En la Figura 86, se muestra la conexión del motor Nema 17 al driver motor paso a paso DRV8826. Este driver permite controlar la corriente y dirección del motor, lo que asegura un movimiento preciso y controlado durante la verificación de medidas en patrones.

Figura 87

Conexión de los cables a la fuente para que pase de 110 V a 12 V



Nota. En la Figura 87, se presenta la fuente que proporciona la energía necesaria para alimentar los motores y la shield CNC, asegurando su correcto funcionamiento.

Figura 88

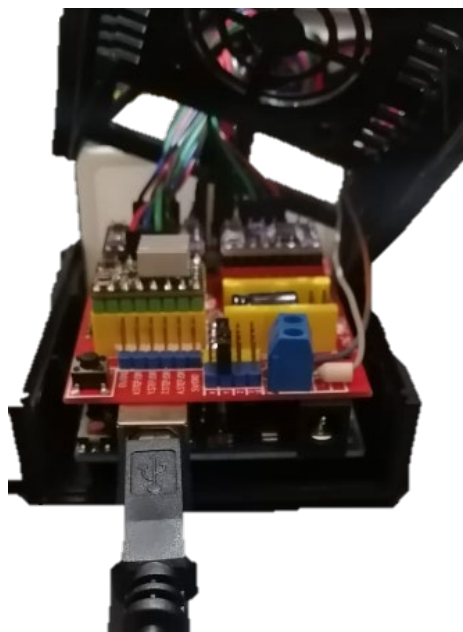
Colocación de la fuente para la alimentación de los motores y la shield CNC



Nota. En la Figura 88, se aprecia la ubicación estratégica de la fuente de alimentación, esta fuente se coloca de manera segura y accesible para proporcionar la energía necesaria a los motores y la shield CNC.

Figura 89

Armado del Arduino Uno + Shield CNC y los drivers DRV8826



Nota. En la Figura 89, muestra el armado del Arduino Uno + Shield CNC, junto con los drivers DRV8826, esenciales para el control y funcionamiento de los motores paso a paso, asegurando una coordinación precisa y eficiente entre los ejes del robot cartesiano.

Figura 90

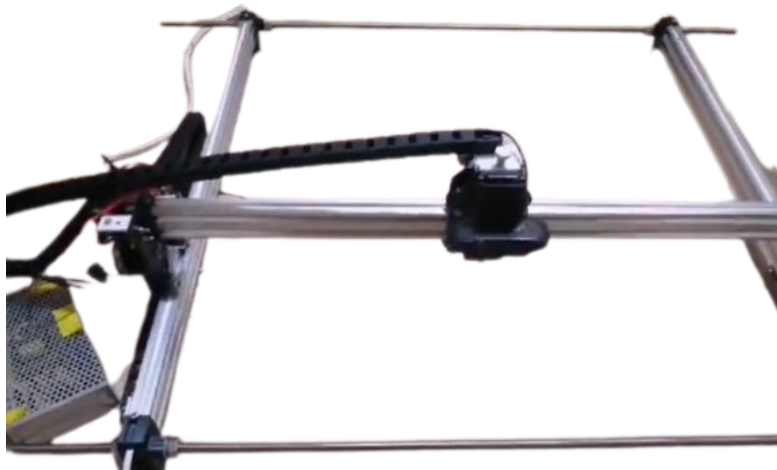
Funcionamiento de los motores con los controladores y la fuente



Nota. En la Figura 90, se puede observar el funcionamiento de los motores con los controladores DRV8826 y la fuente de alimentación, refleja la correcta interacción entre los componentes eléctricos y estructurales del sistema.

Figura 91

Sinergia de la parte eléctrico conjuntamente con la parte mecánica del sistema



Nota. En la Figura 91, representa la convergencia de la parte eléctrica y la parte mecánica del sistema automatizado, la combinación de ambas partes asegura un funcionamiento y coordinado correcto.

Implementación del sistema de visión y posicionamiento

En el capítulo se expone el proceso de desarrollo del algoritmo de visión artificial. Este algoritmo se construye haciendo uso de plataformas y lenguajes de programación de código abierto, siendo Python un ejemplo prominente. Además, se emplean diversas bibliotecas OpenCV, numpy, pil, serial, math, tkinter, customtkinter, entre otras, para facilitar el avance en la programación y permitir la comunicación de las múltiples funcionalidades que convergen hacia la obtención de un producto funcional y amigable con el usuario.

El proyecto destaca por su interfaz gráfica altamente intuitiva y de sencillo manejo, lo que contribuye a una comunicación fluida entre el usuario y la máquina.

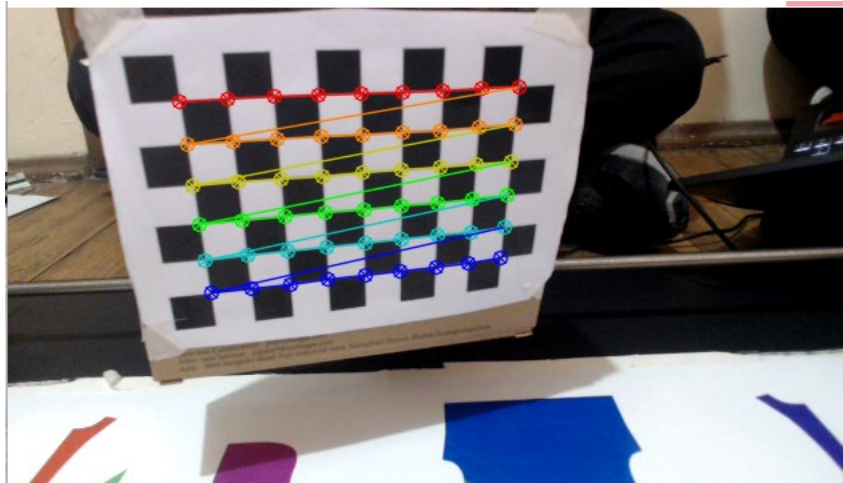
Calibración de la cámara

Para la calibración de la cámara se usa el método de Zhengyou Zhang con el objetivo de estimar los parámetros intrínsecos de la cámara y los coeficientes de distorsión de esta, la calibración se realiza para corregir distorsiones presentes en las imágenes tomadas por la cámara, el método se basa en tomar varias capturas de las esquinas internas de un tablero de ajedrez.

Se deja la cámara fija y se mueve el patrón del tablero en varias posiciones dentro del campo de visión de la cámara, una vez capturas las imágenes el algoritmo intenta buscar las esquinas internas del tablero de ajedrez las cuales son interpretadas como coordenadas como puntos 2D.

Figura 92

Obtención de la matriz de corrección de la cámara



Nota. En la Figura 92, se presenta el tablero de ajedrez usado para la calibración de la cámara.

Para la estimación de parámetros intrínsecos y la respectiva calibración de la cámara el algoritmo lo que hace es una relación de las coordenadas 2D tomadas por la cámara y las coordenadas 3D proporcionadas por el usuario entre los parámetros intrínsecos de la cámara se puede mencionar los siguientes, ancho y alto, la longitud focal de las coordenadas del punto principal

$$\text{camara matrix} = \begin{vmatrix} fx & 0 & cx \\ 0 & fy & cy \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad 28)$$

$fx, fy \rightarrow$ ancho y alto de la longitud focal

$cx, cy \rightarrow$ coordenadas del punto principal centro de la imagen

Figura 93

Parámetros proporcionados por el usuario

```
img_dir = "./pic/RGB_camera_calib_img"
shape_inner_corner = (9,6)
size_grid = 0.018
```

Nota. En la Figura 93, se presenta `img_dir` que corresponde a la ubicación de las imágenes utilizada para la calibración, `shape_inner_corner = (9,6)` corresponde al número de esquinas internas tanto en `x` como en `y`, `size_grid = 0.018` que representa el tamaño de cada cuadrícula.

Figura 94

Obtención de la matriz de corrección de la cámara

```
In [4]: runfile('C:/Users/patic/Desktop/tesis/PythonApplication1/image_example.py', wdir='C:/Users/patic/Desktop/tesis/PythonApplication1')
[[468.66162328  0.          315.15873926]
 [  0.          468.62275559 171.7253879 ]
 [  0.           0.           1.          ]]
```

Nota. En la Figura 94, se presenta la matriz de corrección de la cámara con un valor $fx = 468.6616$, $fy = 468.6227$, $cx = 315.1587$, $cy = 171.7253$.

Una vez obtenida matriz de la cámara y los coeficientes de distorsión exportamos los parámetros en forma de archivo para posteriormente usarlo en el sistema de toma de medidas.

Diseño y programación de la interfaz grafica

Para el diseño de la interfaz gráfica se establece como objetivo obtener una interfaz simple, intuitiva de fácil manejo y amigable con el usuario mediante el uso de Python junto con las bibliotecas `tkinter`, `os`, `pil` y `customtkinter`. Las bibliotecas `tkinter` y `customtkinter` bibliotecas son ampliamente utilizadas para el desarrollo de interfaces de usuario GUI, permite la implementación de una gran variedad de Widgets, ventanas, cajas de texto entre otros.

En el caso de `customtkinter` es una biblioteca personalizada que amplía las funcionalidades de `tkinter`. Por otro lado, se tiene la biblioteca `PIL`, que nos ayuda con la manipulación de imágenes, la biblioteca `os` que sirve para interactuar con el sistema operativo.

Figura 95

Bibliotecas necesarias para el desarrollo de la interfaz gráfica (I.G.)

```
import customtkinter
import os
from PIL import Image
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox
from PIL import Image, ImageTk
from tkinter import Entry
```

Nota. En la Figura 95, se presenta las bibliotecas utilizadas para el desarrollo de la interfaz gráfica.

Para comenzar con la programación de la interfaz gráfica se usa programación orientada a objetos para tener un mayor control y organización en la programación de esta, se ha creado la clase llamada App que hereda de la clase llamada CTK de la biblioteca customtkinter, esta clase inicializa la clase padre antes de realizar cualquier cosa de la clase App, El parámetro self hace referencia a la instancia de la clase que se está creado

Figura 96

Inicialización de la clase interfaz gráfica con progresión orientada a objetos

```
class App(customtkinter.CTk):
    def __init__(self):
        super().__init__()
```

Nota. En la Figura 96, se inicializa la clase App y CTK de customtkinter en el programa inicial.

Para la creación de la ventanas se utiliza el parámetro self.title en el cual se ingresa el título de la ventana, el parámetro self.geometry ajusta el tamaño de la ventana a una dimensión de 1080x720 pixels, gracias a los parámetros self.grid_rowconfigure(0, weight=1) y self.grid_columnconfigure(1, weight=1) se configura una cuadrícula de una fila por dos columnas, la línea de código image_path = os.path.join() se utiliza para cargar imágenes de una capeta seleccionada.

Figura 97

Creación de la ventana, dimensionamiento de esta y carga de imágenes

```
self.title("Aplicación verificación de medidas en patrones de tela")
self.geometry("1080x720")

# set grid layout 1x2
self.grid_rowconfigure(0, weight=1)
self.grid_columnconfigure(1, weight=1)

#App.protocol("WM_DELETE_WINDOW", on_closing)
# load images with light and dark mode image
image_path = os.path.join(os.path.dirname(os.path.realpath(__file__)), "test_images")
```

Nota. En la Figura 97, se presenta la creación de la venta de título. Aplicación verificación de medidas en patrones de tela, la venta se divide en dos columnas, las imágenes para dar la apariencia a la interfaz de carga desde la carpeta test_images.

Una vez creada la venta se carga, dimensiona y se nombra cada una de las imágenes a utilizar para dar una mejor apariencia a la interfaz gráfica.

Figura 98

Carga de las imágenes de apariencia

```
# load images with light and dark mode image
image_path = os.path.join(os.path.dirname(os.path.realpath(__file__)), "test_images")
self.logo_image = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "CustomTkinter_Logo_single.png")), size=(150, 150))
self.large_test_image = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "Large_test_image.png")), size=(750, 96))
self.image_icon_image = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "iniciar.png")), size=(30, 30))

self.image_icon_image1 = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "Longitud.png")), size=(30, 30))
self.image_icon_image2 = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "cerrar.png")), size=(30, 30))

self.image_icon_image3 = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "regreso.png")), size=(30, 30))
self.image_icon_image4 = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "refrescar.png")), size=(30, 30))
self.image_icon_image5 = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "bien.png")), size=(30, 30))

self.home = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "hogar.png")), size=(30, 30))
self.arriba = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "arriba.png")), size=(30, 30))
self.abajo = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "abajo.png")), size=(30, 30))
self.izquierda = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "derecha.png")), size=(30, 30))
self.derecha = customtkinter.CTkImage(Image.open(os.path.join(image_path, "izquierda.png")), size=(30, 30))

self.home_image = customtkinter.CTkImage(light_image=Image.open(os.path.join(image_path, "home_dark1.png")),
dark_image=Image.open(os.path.join(image_path, "home_dark1.png")), size=(30, 30))
self.chat_image = customtkinter.CTkImage(light_image=Image.open(os.path.join(image_path, "chat_dark1.png")),
dark_image=Image.open(os.path.join(image_path, "chat_dark1.png")), size=(30, 30))
self.add_user_image = customtkinter.CTkImage(light_image=Image.open(os.path.join(image_path, "add_user_dark.png")),
dark_image=Image.open(os.path.join(image_path, "add_user_light.png")), size=(20, 20))
```

Nota. En la Figura 98, se presentan las imágenes cargadas para apariencia de la interfaz gráfica.

En la primera columna creada anteriormente se procede a crear un frame para agrupar y organizar los widgets destinados a la conexión, apariencia y movimiento del sistema de posicionamiento.

Figura 99

Creación del frame de la primera columna

```
self.navigation_frame = customtkinter.CTkFrame(self, corner_radius=0)
self.navigation_frame.grid(row=0, column=0, sticky="nsew")
self.navigation_frame.grid_rowconfigure(3, weight=1) |
```

Nota. En la Figura 99, se presenta la creación y dimensionamiento del frame de nombre navigation_frame.

De que se crea el primer frame en la columna uno, se procede a crear cada uno de los widgets como son los CTkButton (Botones), CTkLabel (Cuadros de texto), CTkSwitch (Interruptor), CTkOptionMenu (Opciones de menú), Entry (Cuadro de entrada de texto), el proceso de cada uno de los elementos mencionado es totalmente igual para el resto de ellos widgets de la interfaz.

Figura 100

Ejemplo de la creación de un CTkButton

```
self.connect_button = customtkinter.CTkButton(self.navigation_frame, text="Conectar",width=20, height=20,command=toggle_connection)
self.connect_button.place(relx=0.75,relly=0.45, anchor=tk.CENTER)
```

Nota. En la Figura 100, se presenta la creación y dimensionamiento de un CTkButton de nombre connect_button destinado para la conexión con Arduino por puerto serie.

Figura 101

Ejemplo de la creación de un CTkLabel

```
self.status_label = customtkinter.CTkLabel(self.navigation_frame, text="Puerto: ")
self.status_label.place(relx=0.15,relly=0.45, anchor=tk.CENTER)
```

Nota. En la Figura 101, se presenta la creación y dimensionamiento de un CTKLabel de nombre status_label.

Figura 102

Ejemplo de la creación de un CTKSwitch

```
self.Po_manual = customtkinter.CTKSwitch(self.navigation_frame, text="Manual", command=manu, state='disabled')
self.Po_manual .place(relx=0.3, rely=0.6, anchor=tk.CENTER)
```

Nota. En la Figura 102, se muestra la creación y dimensionamiento de un CTKSwitch de nombre Po_manual destinado a la activación y desactivación del movimiento manual dentro de la interfaz gráfica.

Figura 103

Ejemplo de la creación de un CTKOptionMenu

```
self.appearance_mode_menu1 = customtkinter.CTKOptionMenu(self.navigation_frame, values=self.ports, variable= self.port_var, width=20, height=20)
self.appearance_mode_menu1.place(relx=0.45, rely=0.45, anchor=tk.CENTER)
```

Nota. En la Figura 103, se visualiza la creación y dimensionamiento de un CTKOptionMenu de nombre appearance_mode_menu1 destinado a mostrar la lista de todos los puertos COM disponibles.

Figura 104

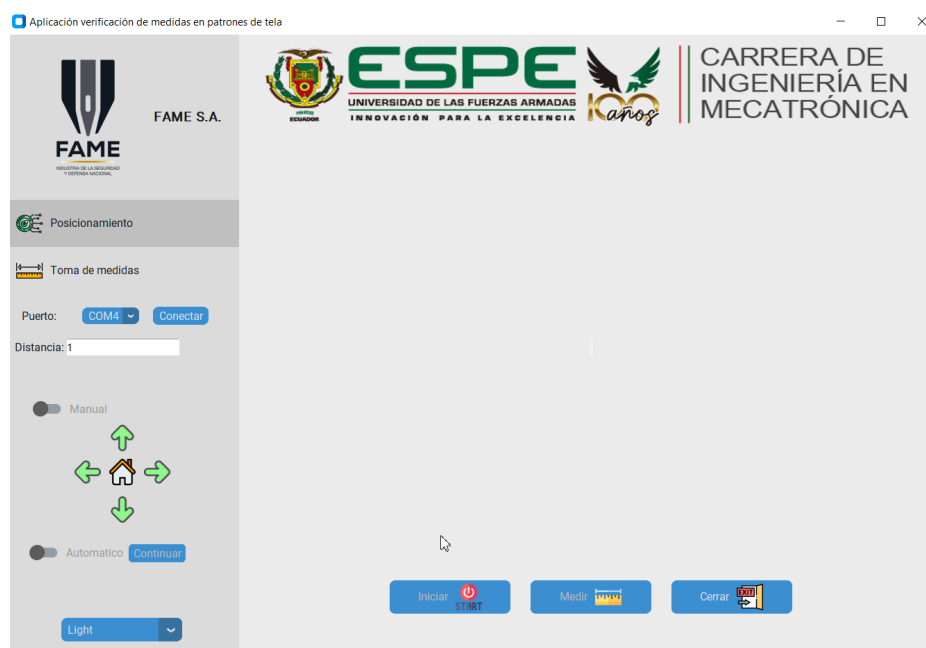
Ejemplo de la creación de un Entry

```
self.appearance_mode_menu1 = customtkinter.CTKOptionMenu(self.navigation_frame, values=self.ports, variable= self.port_var, width=20, height=20)
self.appearance_mode_menu1.place(relx=0.45, rely=0.45, anchor=tk.CENTER)
```

Nota. En la Figura 104, se demuestra la creación y dimensionamiento de un Entry destinado al ingreso un valor numérico dentro del programa.

Figura 105*Primer frame completo*

Nota. En la Figura 105, se demuestra el primer frame con todos sus widgets y funcionalidades.

Figura 106*Ventana completa*

Nota. En la Figura 106, se despliega a partir de la interfaz la ventana completa con todas sus funcionalidades.

Finalmente, después de haber creado cada uno de los frames y widgets de la ventana se procede programar la ejecución de la ventana en un solo bloque dentro del bucle principal.

Desarrollo de la programación para la toma de medidas.

Para este apartado se empieza por importar las bibliotecas openCV y numpy, así como la creación de las variables necesarias para la detección de esquinas.

Figura 107

Librerías y variables para la toma de medidas

```
#from tkinter import ttk
import cv2
#import imutils
import numpy as np

selected_corners = []
corners = []
camara_activa = False
```

Nota. En la Figura 107, se exhibe la librería de open cv, numpy y la creación de la variable necesarias para la toma de medidas.

Muchas de las funciones que posee Python solo permiten tomar medidas de geometrías conocidas, ya sea círculos, cuadrados rectángulos, triángulos limitando la toma de medidas en patrones de tela es por ello que el algoritmo de visión se basa en la detección de esquinas, el algoritmo desarrollado cuenta con la funcionalidad de seleccionar 2 esquinas dentro de la pantalla y tomar la medida entre ellas, para lo cual se implementa la siguiente definición como punto de partida del algoritmo.

Figura 108

Función para detectar esquinas

```
def detect_corners(image):
    gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    corners = cv2.goodFeaturesToTrack(gray, 0, 0.01, 10)
    corners = np.int0(corners)
    return corners
```

Nota. En la Figura 108, se visualiza la función para la detección de esquinas de una imagen capturada por la cámara web.

Con la función `gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)` se aplica un filtro a la imagen y se la convierte a escala de grises, `corners = cv2.goodFeaturesToTrack(gray, 0, 0.01, 10)` ayuda a la detección de las esquinas en escala de grises, esta función recibe varios parámetros como son **gray** (imagen convertida a escala de grises), **0** (Indica a la función que entregue todas las esquinas existente en la imagen), **0.01** (nivel de calidad de las esquinas detectadas), **10** (distancia euclidiana mínima entre esquinas) entregando las coordenadas en punto flotante por lo que es necesario realizar una conversión a entero con `corners = np.int0(corners)`.

Una vez obtenidas coordenadas de las esquinas en la imagen se realiza un barrido en la lista de esquinas detectadas y se dibujan un círculo.

Figura 109

Función para dibujar esquinas

```
def draw_corners(image, corners, color):
    for corner in corners:
        x, y = corner.ravel()
        cv2.circle(image, (x, y), 4, color, -1)
```

Nota. En la Figura 109, se muestra la función para dibujar las esquinas mediante el uso del ciclo for y desempaqueo de las coordenadas de las esquinas para su posteriormente graficarlas con cv2.circle.

Para continuar con el algoritmo y comprobar la funcionalidad de las 2 definiciones previas es preciso indicar los métodos de obtención de las imágenes a procesar para los cual se presentan las siguientes definiciones.

Figura 110

Función para activar la cámara web

```
def mostrar_camara():
    global camara_activa, cap
    if not camara_activa:
        camara_activa = True
        cap = cv2.VideoCapture(1)
        actualizar_camara()
```

Nota. En la Figura 110, se enseña la programación necesaria para activar la cámara web desde la interfaz.

Figura 111

Función usada para actualiza y mostrarla en un espacio de la interfaz gráfica

```
def actualizar_camara():
    global camara_activa, cap
    if camara_activa:
        ret, frame = cap.read()
        if ret:
            img = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
            img = Image.fromarray(img)
            imgtk = ImageTk.PhotoImage(image=img)
            self.EtiV.config(image=imgtk)
            self.EtiV.image = imgtk
            self.EtiV.after(10, actualizar_camara)
        else:
            camara_activa = False
            cap.release()
```

Nota. En la Figura 111, se presenta la programación utilizada para mostrar la cámara en el Label de nombre EtiV.

Figura 112

Función usada para la captura de imágenes por cámara web

```
def capture_image():
    global corners, corners_image
    calibracion_data = np.load("calibracion.npz")
    camera_matrix = calibracion_data['mat_intri']
    #print(camera_matrix)
    dist_coeffs = calibracion_data['coff_dis']
    #print(dist_coeffs)
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        return
    #ancho = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH))
    ##print(ancho)
    #alto = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT))
    #print(alto)
    cv2.imwrite("captura.jpg", frame)
    image = cv2.imread("captura.jpg")
    image = undistort_image(frame, camera_matrix, dist_coeffs)
    #imagen corregida
    #image = cv2.GaussianBlur(image, (5, 5), 0)
    corners = detect_corners(image)
    corners_image = np.copy(image)
    draw_corners(corners_image, corners, (255, 0, 0))
    #corners_image = cv2.GaussianBlur(corners_image, (5, 5), 0)
    update_image_label(self.esq, corners_image)
    self.select_frame_by_name("frame_2")
```

Nota. En la Figura 112, se exhibe la programación usada para la captura de imágenes con la cámara web.

El código carga los parámetros de calibración de la cámara `calibracion_data = np.load("calibracion.npz")`, extrae la matriz de la cámara y los coeficientes de distorsión con `camera_matrix = calibracion_data['mat_intri']`, `dist_coeffs = calibracion_data['coff_dis']`.

Una vez establecidos la matriz de la cámara y los coeficientes de distorsión se procede a capturar una foto con la cámara con `cv2.imwrite("captura.jpg", frame)`, luego se lee con `image = cv2.imread("captura.jpg")` y se aplica la corrección de la imagen con `image = undistort_image(frame, camera_matrix, dist_coeffs)`.

Figura 113

Función usada para aplicar la corrección de la imagen capturada

```
def undistort_image(image, camera_matrix, dist_coeffs):
    h, w = image.shape[:2]
    new_camera_matrix, _ = cv2.getOptimalNewCameraMatrix(camera_matrix, dist_coeffs, (w, h), 1, (w, h))
    undistorted_image = cv2.undistort(image, camera_matrix, dist_coeffs, None, new_camera_matrix)
    return undistorted_image
```

Nota. En la Figura 113, se exhibe la programación usada para aplicar la corrección de la imagen capturada.

Y finalmente se llama a la función `detect_corners(image)`, `draw_corners(corners_image, corners, (255, 0, 0))` y `update_image_label(self.esq, corners_image)` mismos que sirven para detectar las esquinas, dibujarlas y actualizarlas dentro de un frame.

Como se mencionó previamente el algoritmo tiene la capacidad de poder seleccionar las esquinas y sacara la distancia entre ellas para cual se ha programado eventos con el mouse.

Figura 114

Función encargada de todos los eventos del mouse

```
def mouse_callback(event):
    global selected_corners, pt1, pt2, corners_image, corners
    x, y = event.x, event.y
    for corner in corners:
        cx, cy = corner.ravel()
        if abs(x - cx) < 10 and abs(y - cy) < 10:
            selected_corners.append(corner)
            draw_corners(corners_image, [corner], (0, 255, 0))
            if len(selected_corners) == 1:
                pt1 = tuple(selected_corners[0].ravel())
            elif len(selected_corners) == 2:
                pt2 = tuple(selected_corners[1].ravel())
                cv2.line(corners_image, pt1, pt2, (0, 0, 255), 2)
                draw_corners(corners_image, [corner], (0, 255, 0))
                update_image_label(self.esq, corners_image)
            if len(selected_corners) == 2:
                #p1 = np.array(selected_corners[0])
                #p2 = np.array(selected_corners[1])
                x_dist = abs(pt2[0] - pt1[0])
                x_dist = x_dist * PIXEL_TO_CM
                #x_dist = x_dist
                print(x_dist)
                y_dist = abs(pt2[1] - pt1[1])
                y_dist = y_dist * PIXEL_TO_CM
                #y_dist = y_dist
                print(y_dist)
                dist = math.sqrt(x_dist**2 + y_dist**2)
                dist_text = f"{dist:.2f} cm"
                cv2.putText(corners_image, dist_text, ((pt1[0] + pt2[0]) // 2, (pt1[1] + pt2[1]) // 2),
                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)
                update_image_label(self.esq, corners_image)
            selected_corners = []
```

Nota. En la Figura 114, se muestra la función encargada de los clics en pantalla para seleccionar las esquinas.

Como punto de partida se indica al programa que las coordenadas x , y se debe toma de un evento con x , $y = \text{event.x}$, evento, seguidamente con el ciclo for se busca entre la lista de esquinas detectadas, con cx , $cy = \text{corner.ravel()}$ se extrae la componente x , y de la esquina seleccionada con el mouse, con la finalidad de limitar el código que solo se pueda seleccionar esquinas se ha implementado la línea `if abs(x - cx) < 10 and abs(y - cy) < 10` que crea una condición la cual compara las coordenadas del punto en el que se ha hecho clic y las coordenadas de la esquina, si la diferencia entre las dos coordenadas de estos 2 puntos es menos a 10 pixeles se asigna directamente la coordenada de la esquina con `selected_corners.append(corner)` y con `draw_corners(corners_image, [corner], (0, 255, 0))` se cambia de color la esquina.

Seguidamente dentro de esta condición se crea otra condición en la condición en la cual se analiza la cantidad de elementos seleccionados con `if len(selected_corners) == 1` en la cual si esta es igual se uno se almacena en tupla con las coordinas de la esquina en la posición 0 de la tupla `pt1 = tuple(selected_corners[0].ravel())`, con otra condición se analiza nuevamente la cantidad de elementos seleccionados y si esta es igual a 2 se almacena en la misma tupla en la posición 1 las coordenadas de la esquina 2 `pt2 = tuple(selected_corners[1].ravel())` seguidamente se dibuja una línea entre las dos esquinas seleccionadas con `cv2.line(corners_image, pt1, pt2, (0, 0, 255), 2)` y con `draw_corners(corners_image, [corner], (0, 255, 0))` se cambia de color la esquina, dentro de la última condición se realiza la medición de las 2 esquinas con respecto a x con `x_dist = abs(pt2[0] - pt1[0])` con `x_dist = x_dist * PIXEL_TO_CMX` se realiza la con versión de esta distancia de pixeles a centímetros, de igual manera sucede con la medición con respecto a y , para obtener la distancia final bastara con aplicar el teorema de Pitágoras como se realiza con el siguiente código `dist = math.sqrt(x_dist**2+y_dist**2)`.

Finalmente se realiza dibuja una línea entre las 2 esquinas con `cv2.putText(corners_image, dist_text, ((pt1[0] + pt2[0]) // 2, (pt1[1] + pt2[1]) // 2, cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)` y se coloca el valor de la medida con `dist_text = f"{dist:.2f} cm"`, cabe aclarar que para poder visualizar estos cambios dentro de la interfaz de debe realizar la una actualización del frame con `update_image_label(self.esq, corners_image)`.

Calculo del factor de conversión de pixeles a centímetros.

Para calcular los parámetros de conversión `PIXEL_TO_CMX` y `PIXEL_TO_CMY` se de posicionar la cámara en un patrón cuyas medidas sean conocidas en el cual se a tomar las tanto en x como en y.

Datos

$x = 273 \text{ px}$

$y = 6 \text{ px}$

$medida \text{ real} = 8.3 \text{ cm}$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{6}{273}\right)$$

$$\theta = 1.259$$

$$x_{med} = 8.3 \cos(1.259)$$

$$x_{med} = 8.12852$$

$$\text{PIXEL_TO_CMX} = \frac{8.12852}{273}$$

$$\text{PIXEL_TO_CMX} = 0.02977472527$$

$$y_{med} = 8.3 \sin(1.259)$$

$$y_{med} = 0.1823669$$

$$\text{PIXEL_TO_CMY} = \frac{0.1823669}{6}$$

$$\text{PIXEL_TO_CMY} = 0.03039449904$$

Figura 115

Función de actualización del frame de toma de medidas

```
def update_image_label(esq, image):
    image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    image = Image.fromarray(image)
    image = ImageTk.PhotoImage(image)
    self.esq.config(image=image)
    self.esq.image = image
    self.esq.after(10, update_image_label)
```

Nota. En la Figura 115, se muestra la función encargada de actualizar el frame de toma de medidas y así poder los valores de medida.

Desarrollo del algoritmo de posicionamiento.

Para el desarrollo del algoritmo se ha seleccionado el firmware grbl el cual basa sus movimiento en código G para lo cual empezamos cargando el firmware grbl versión 1.1 en la placa Arduino UNO, para poder realizar esto primero debemos descargar la librería y añadirla al ide de Arduino , seguidamente nos dirigimos al apartado de ejemplos y procedemos a seleccionamos grblUpload, debido a que no se va utilizar el eje z del ciclo home procedemos a desactivarlo del firmware para lo cual nos dirigimos a la carpeta donde se encuentran los documentos relacionados a las librerías de Arduino en dicha carpeta debemos buscar la carpeta grl dentro de esta carpeta se encuentra el archivo config.h lo abrimos y procedemos a modificarlo de la siguiente manera.

Figura 116

Parámetros para eliminar el eje z del ciclo home

```

//#define HOMING_CYCLE_0 (1<<Z_AXIS) // REQUIRED: First move Z to clear workspace.
//#define HOMING_CYCLE_1 ((1<<X_AXIS)|(1<<Y_AXIS)) // OPTIONAL: Then move X,Y at the same time.

#define HOMING_CYCLE_0 ((1<<X_AXIS)|(1<<Y_AXIS)) // OPTIONAL: Then move X,Y at the same time.
// #define HOMING_CYCLE_2 // OPTIONAL: Uncomment and add axes mask to enable

```

Nota. En la Figura 116, se muestra los parámetros a colocar para eliminar el eje z del ciclo home.

Una vez eliminado el eje z procedemos a seleccionar la placa y el puerto para cargar el grbl a la placa Arduino. Para poder utilizar este firmware para el posicionamiento del cámara primero debemos configurarlo para ello usamos el software G-code sender para lo cual partimos por el cálculo de los pasos/milímetro.

Datos

Pasos del motor = 200

Micropasos = 4

Separacion de dientes de correa = 2

#Dientes polea = 16

$$\frac{\text{Pasos}}{\text{mm}} = \frac{(\text{Pasos del motor})(\text{Micropasos})}{(\text{Separacion de dientes de correa})(\#\text{Dientes polea})} \quad 29)$$

$$\frac{\text{Pasos}}{\text{mm}} = \frac{(200)(4)}{(2)(16)}$$

$$\frac{\text{Pasos}}{\text{mm}} = 25$$

Este valor representa la cantidad de pasos que de dar el motor para mover un milímetro para ello ingresamos el signo \$\$ en la ventana de comando y cambiamos los parámetros como se muestra a continuación.

Figura 117

Parámetro \$100=25, \$101=25 del grbl

```
$100 = 25.000 (X-axis travel resolution, step/mm)
$101 = 25.000 (Y-axis travel resolution, step/mm)
```

Nota. En la Figura 117, se ejemplifica la resolución del eje x, y en el grbl.

Un aspecto muy importa en el desarrollo del sistema de posicionamiento es la configuración para home ya que este punto será el punto de partida al hacer el posicionamiento para ello dentro de gcode sender modificamos los siguientes parámetros con se muestra en pantalla.

Figura 118

Parámetro para la configuración de home cycle en grbl

```
$22 = 1 (Homing cycle enable, boolean)
$23 = 3 (Homing direction invert, mask)
$24 = 500.000 (Homing locate feed rate, mm/min)
$25 = 5000.000 (Homing search seek rate, mm/min)
```

Nota. En la Figura 118, se visualiza los parámetros ingresados en grbl para la configuración del ciclo home en grlb.

Donde \$22 es la activación del ciclo, \$23 es la dirección en la cual el sistema buscara el home, \$24 es la velocidad en la que se posiciona en el punto inicial, \$25 es la velocidad en la busca los finales de carrera.

Otro paramento fundamental es la configuración de la velocidad y aceleración de los motores como se muestra a continuación para lo cual se ha utilizado los siguientes parámetros.

Figura 119

Parámetro para la configuración de las velocidades de y aceleraciones de cada uno de cada uno de los ejes

```
$110 = 10000.000 (X-axis maximum rate, mm/min)
$111 = 10000.000 (Y-axis maximum rate, mm/min)

$120 = 1000.000 (X-axis acceleration, mm/sec^2)
$121 = 1000.000 (Y-axis acceleration, mm/sec^2)
```

Nota. En la Figura 119, se observa los parámetros ingresados para configuración de las velocidades y aceleraciones de cada uno de los ejes.

Donde \$110 y \$111 son las velocidades máximas de movimiento de cada uno de los ejes, \$120 y \$121 representarían las aceleraciones de estos.

Continuando de con el desarrollo del algoritmo de posicionamiento como primer paso se tiene el establecer la conexión de Python con Arduino para lo cual se ha implementado las siguientes definiciones.

Figura 120

Función para la obtención de puertos

```
def get_available_ports():
    return [port.device for port in serial.tools.list_ports.comports()]
```

Nota. En la Figura 120, se muestra función `get_avaible_port` que es la encargada de la lista de todos los puertos serie disponibles.

Figura 121

Función para la validación de entrada

```
def validate_input(text):
    if text.isdigit() or text == "":
        return True
    else:
        return False
```

Nota. En la Figura 121, se visualiza la función `validate_input` que es la encargada de la validación de los datos de entrada del puerto.

Figura 122

Función destinada a establecer la conexión con el puerto serie

```
def toggle_connection():
    global ser
    texto = self.connect_button.cget("text")
    #print(texto) # Imprime "Haz clic"
    if texto == "Conectar":
        try:
            port = self.port_var.get()
            self.ser = serial.Serial(port, 115200, timeout=1)
            self.connect_button.configure(text="Desconectar")
            #print(f"Conexión establecida con {port}")
            self.home_frame_button_1.configure(state='normal')
            self.switch.configure(state='normal')
            self.Po_manual.configure(state='normal')
            self.home_butto.configure(state='normal')
            self.home_frame_button_2.configure(state='normal')
            messagebox.showinfo("Conectado",f"Conexión establecida con {port}")
            app.protocol("WM_DELETE_WINDOW", on_closing)
        except serial.SerialException:
            #print("Error al conectar al puerto serie.")
            messagebox.showerror("Error", "Error al conectar al puerto serie.")
    else:
        if self.ser:
            self.ser.close()
            self.ser = None
            self.connect_button.configure(text="Conectar")
            self.switch.configure(state='disabled')
            self.Po_manual.configure(state='disabled')
            self.home_butto.configure(state='disabled')
            self.home_frame_button_1.configure(state='disabled')
            self.home_frame_button_2.configure(state='disabled')
            messagebox.showinfo("Desconectado", "Conexión cerrada")
def desconectar_puerto_serie():
    global ser
    if self.ser.is_open:
        self.ser.close()
        #print("Puerto serie desconectado.")
```

Nota. En la Figura 122, se visualiza la función `toggle_connection`, esta se encarga de establecer la conexión con el puerto serie a 115200 baudios, habilitar y deshabilitar botones con la finalidad que evitar errores en la ejecución del programa.

Figura 123

Función destinada a establecer la conexión con el puerto serie

```
# Función que maneja el evento de cierre de la ventana
def on_closing():
    if messagebox.askokcancel("Salir", "¿Deseas cerrar la aplicación?"):
        desconectar_puerto_serie()
        app.destroy()
```

Nota. En la Figura 123, se ingresa la función `on_closing`, esta muestra un mensaje de alarma, destruir la ventana y desconectar el puerto serie.

Como último paso para el desarrollo es la programación de la trayectoria en modo automático y manual, para ello se hace eso de código G comandos que se envían por puerto serie a la placa Arduino.

Figura 124

Funciones movimiento manual

```
def arriba():
    numero=self.entry.get()
    self.ser.write((f" $J=G21G91Y{numero}F8000\n").encode())
    #print(numero) # Imprimir los datos en la consola
    #print(data) # Imprimir los datos en la consola
    # También puedes actualizar una etiqueta en tu interfaz gráfica con los datos recibidos
    # self.data_label["text"] = data

def abajo():
    numero=self.entry.get()
    self.ser.write((f" $J=G21G91Y-{numero}F8000\n").encode())
    #print(numero) # Imprimir los datos en la consola
    #print(data) # Imprimir los datos en la consola
    # También puedes actualizar una etiqueta en tu interfaz gráfica con los datos recibidos
    # self.data_label["text"] = data

def derecha():
    numero=self.entry.get()
    self.ser.write((f" $J=G21G91X{numero}F8000\n").encode())
    #print(numero) # Imprimir los datos en la consola
    #print(data) # Imprimir los datos en la consola
    # También puedes actualizar una etiqueta en tu interfaz gráfica con los datos recibidos
    # self.data_label["text"] = data

def izquierda():
    numero=self.entry.get()
    self.ser.write((f" $J=G21G91X-{numero}F8000\n").encode())
    #print(numero) # Imprimir los datos en la consola
    #print(data) # Imprimir los datos en la consola
    # También puedes actualizar una etiqueta en tu interfaz gráfica con los datos recibidos
    # self.data_label["text"] = data
```

Nota. En la Figura 124, se observa las funciones `arriba`, `abajo`, `izquierda`, `derecha` estas hacen movimientos manuales.

Figura 125

Funcione de movimiento automático

```
def cont():
    global click_count
    click_count += 1
    if click_count == 19:
        self.ser.write(("G00 X440 Y550 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
        click_count = 0
    elif click_count == 1:
        self.ser.write(("G00 X60 Y100 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
    elif click_count == 2:
        self.ser.write(("G00 X230 Y100 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
    elif click_count == 3:
        self.ser.write(("G00 X430 Y100 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
    elif click_count == 4:
        self.ser.write(("G00 X430 Y140 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
    elif click_count == 5:
        self.ser.write(("G00 X280 Y140 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
    elif click_count == 6:
        self.ser.write(("G00 X120 Y250 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
    elif click_count == 7:
        self.ser.write(("G00 X280 Y250 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
    elif click_count == 8:
        self.ser.write(("G00 X420 Y270 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
    elif click_count == 9:
        self.ser.write(("G00 X500 Y320 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
    elif click_count == 10:
        self.ser.write(("G00 X500 Y420 \n").encode())
        print(f"Haz hecho clic {click_count} veces. Reiniciando el contador.")
    elif click_count == 11:
```

Nota. En la Figura 125, Se muestra la función cont la cual nos permite realizar movimientos automáticos.

Integración de la estructura con el sistema de visión

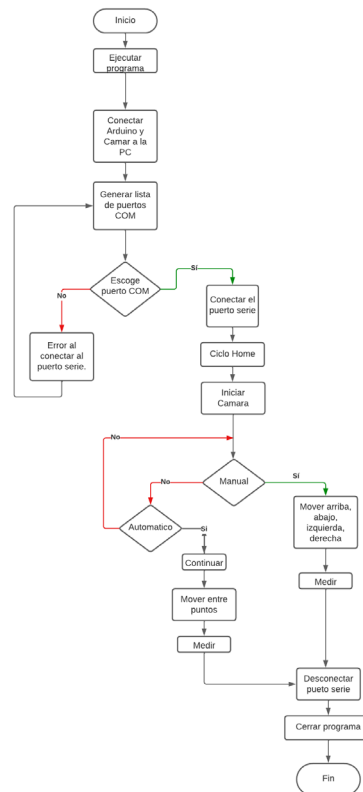
En el proceso de Integración de la estructura con el sistema de visión en el marco de la tesis, se lleva a cabo un paso crítico en el desarrollo del proyecto, donde se fusionan y sincronizan tanto el hardware como el software desarrollado previamente. Esta integración asegura una comunicación fluida y efectiva entre el sistema de visión artificial y la estructura física del sistema.

Durante esta fase, se realizan exhaustivas pruebas para verificar la capacidad del sistema de visión para detectar y medir con alta precisión las dimensiones de los patrones

presentes en la estructura, para un mejor entendimiento se presenta un diagrama de flujo para un mejor entendimiento.

Figura 126

Diagrama de funcionamiento del algoritmo de visión y posicionamiento

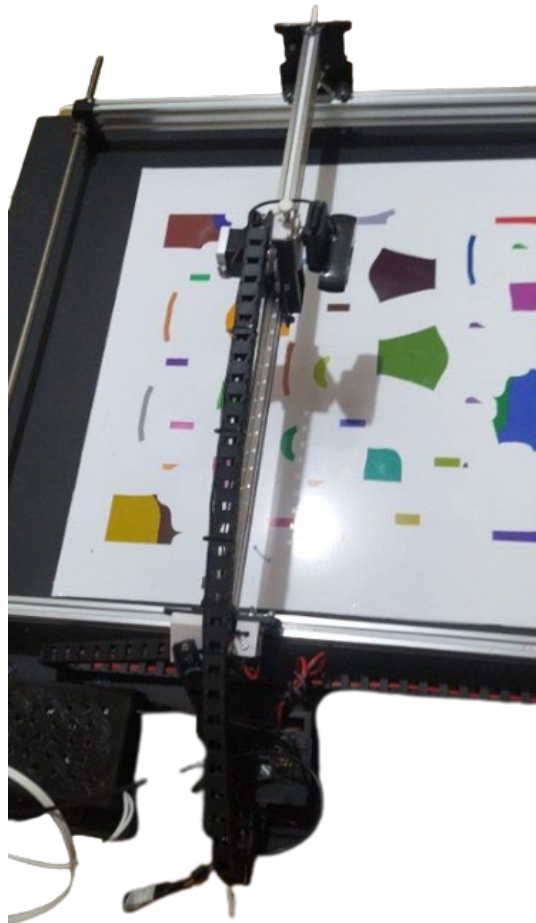


Nota. En la Figura 126, se presenta un diagrama de flujo en el que se muestra la relación entre los algoritmos de visión y posicionamiento.

Con el objetivo de alcanzar una operación completamente automatizada y eficiente del sistema completo, se implementan rutinas de movimiento y verificación de medidas. La sinergia lograda entre la parte mecánica, eléctrica y de control del sistema, tal como se muestra en la Figura 126, desempeña un papel fundamental para asegurar la correcta identificación de las medidas de los patrones de tela con movimientos libres y sin sobrecargas.

Figura 127

Sinergia de la parte mecánica, eléctrica y de control del sistema



Nota. En la Figura 127, representa la convergencia de la parte eléctrica y la parte mecánica y de control de nuestro proceso, permitiendo identificar las medidas de los patrones de tela, con un libre movimiento y sin sobrecargas.

La Figura 127 revela cómo se ha enriquecido el patrón de imágenes en la parte inferior, abarcando diferentes tamaños, colores y formas. Esta diversidad de patrones permite calibrar y configurar el sistema de visión artificial en términos de distorsión, dimensiones y mediciones, logrando una adaptabilidad óptima al entorno de trabajo. Una vez que se han realizado las modificaciones pertinentes, el sistema está preparado para el proceso de pruebas y obtención de resultados, lo que constituye un paso crucial hacia el

logro de un sistema robusto y preciso en la inspección y medición automatizada de patrones textiles.

Para el proceso de integración de la estructura con el sistema de visión, se debe preparar para enfrentar posibles errores o fallos de comunicación entre la parte eléctrica y el software. Pueden generarse debido a malas conexiones, interferencias electromagnéticas, errores de programación, incompatibilidades entre protocolos de comunicación, entre otros factores.

Es necesario realizar un proceso de depuración y verificación exhaustiva durante la fase de integración. Si se detecta errores de comunicación, se debe proceder a tener un registro y monitoreo que permita identificar la fuente del problema de manera eficiente. Al implementar los mecanismos de seguridad y redundancia se debe asegurar la integridad de la información y evitar pérdida de datos críticos.

Cuando se genera malas conexiones físicas, procedemos a revisar minuciosamente todas las conexiones y asegurarse que esté correctamente encajadas y aseguradas. Por lo general se sugiere utilizar conectores y cables de alta calidad para minimizar posibles problemas de conexión. El utilizar blindaje en cables y componentes nos ayuda a reducir las interferencias electromagnéticas que podrían afectar la transmisión de datos.

En situaciones en las que la comunicación se vea afectada por errores de programación o incompatibilidades, es necesario realizar pruebas exhaustivas y pruebas de estrés para identificar y corregir cualquier error en el software.

Capítulo IV

Pruebas y resultados

En este capítulo se presentan las pruebas y resultados obtenidos durante la implementación y funcionamiento del sistema para la verificación de medidas en patrones. Se detallan las diferentes etapas y procedimientos realizados para evaluar la eficacia y precisión, a través de pruebas.

Pruebas de funcionamiento

En esta sección, se describen las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento de los componentes del sistema, incluyendo los motores paso a paso, el controlador Arduino Uno, el driver motor DRV8826, la cámara Logitech C920 Pro HD y los sensores de final de carrera. Se registran y analizan los resultados obtenidos durante las pruebas para identificar posibles problemas o ajustes necesarios.

Para ello se empieza a tomar pruebas de medición de los patrones, para tomar las medidas y encontrar el margen de error, entre varias mediciones en el mismo patrón en diferentes horas del día. Es importante tomar en cuenta que cada prueba es tomada nuevamente las mediciones, para encontrar el valor tomado y compararlo al valor real.

Patrón 1

Figura 128

Primera prueba de la figura 1

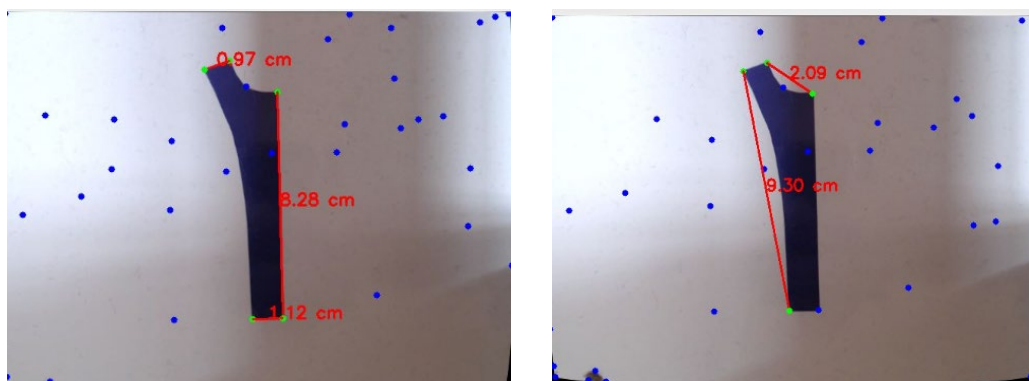
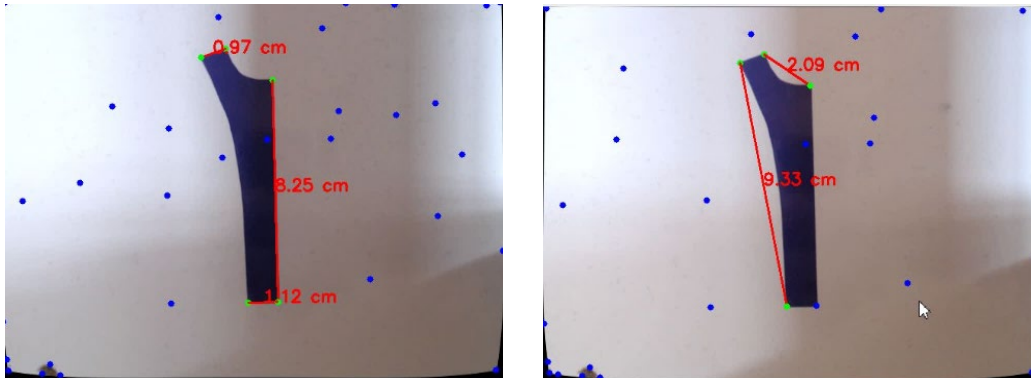
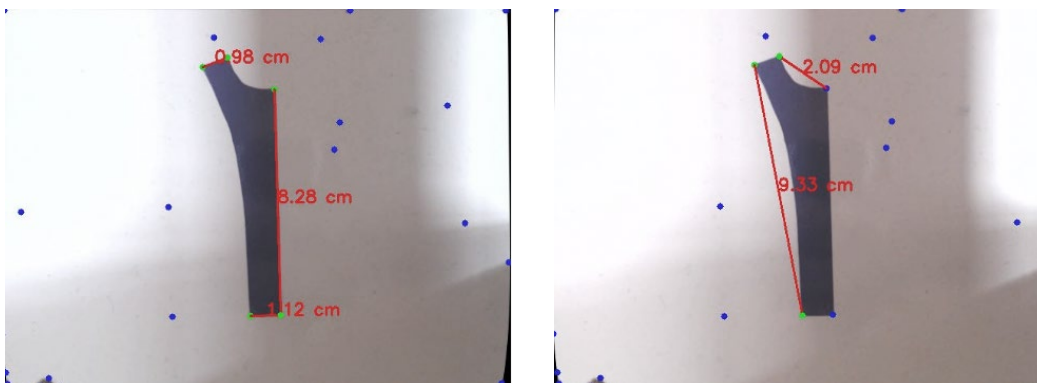


Figura 129

Segunda prueba de la figura 1

**Figura 130**

Tercera prueba de la figura 1

**Figura 131**

Cuarta prueba de la figura 1

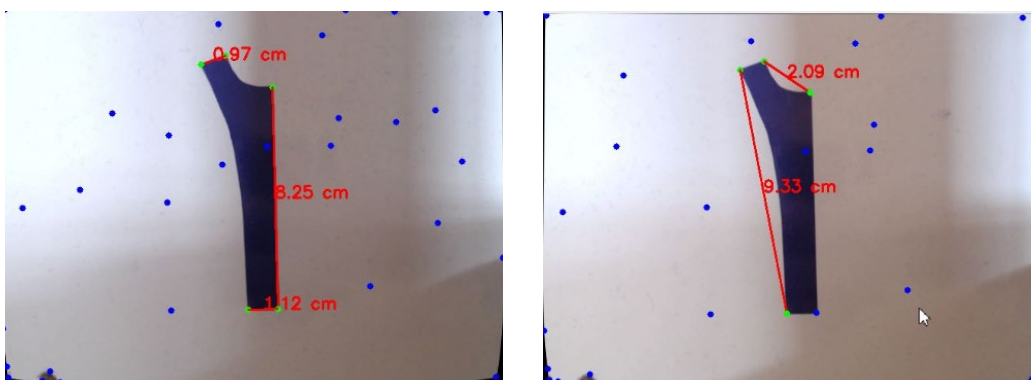
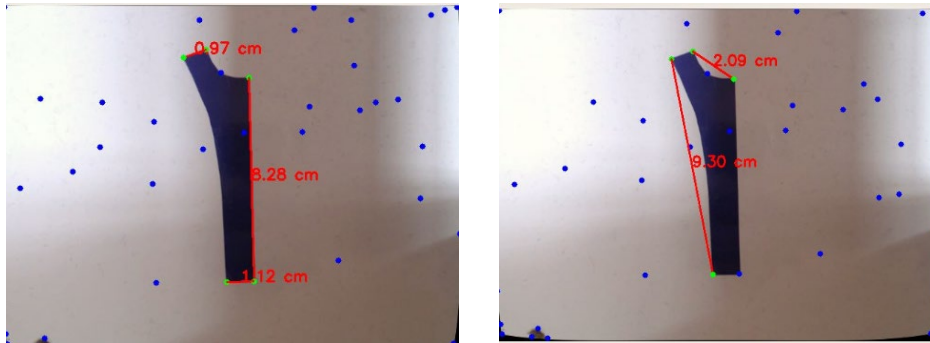


Figura 132

Quinta prueba de la figura 1



Nota. En las Figuras de la 128 a la 132, se encuentra las pruebas de medición en el transcurso del día, para determinar cuáles son las medidas arrojadas por el sistema al momento de tomar los puntos de preferencia.

Patrón 2

Figura 133

Primera prueba de la figura 2

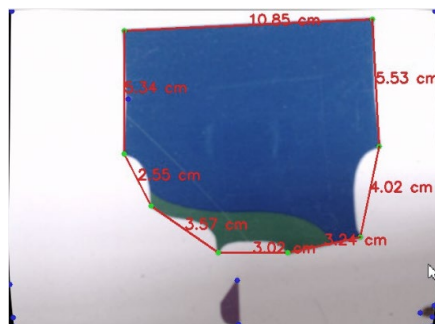


Figura 134

Segunda prueba de la figura 2

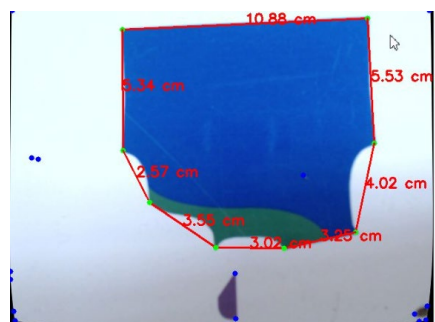
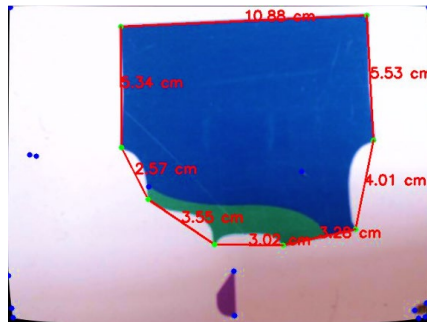
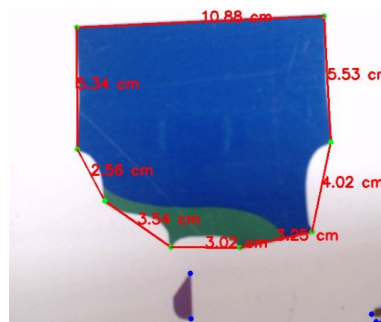
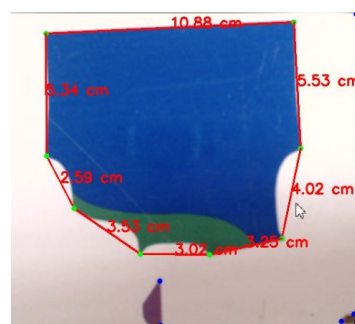
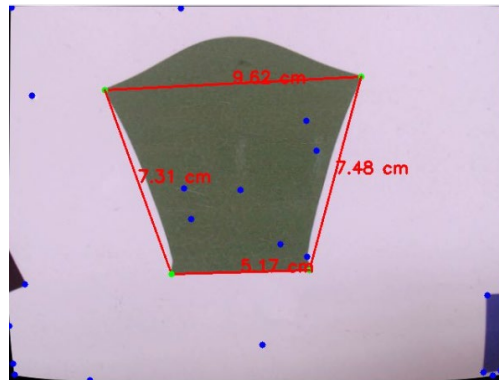


Figura 135*Tercera prueba de la figura 2***Figura 136***Cuarta prueba de la figura 2***Figura 137***Quinta prueba de la figura 2*

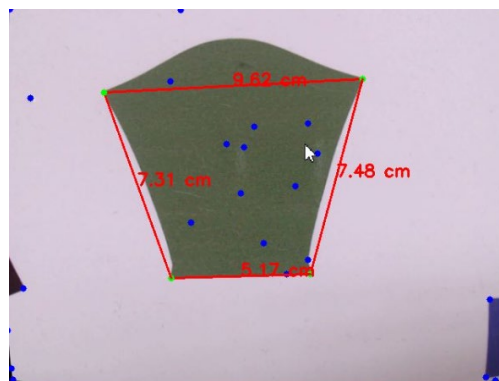
Nota. En las Figuras de la 133 a la 137, se observa las medidas que se tomaron del segundo patrón de medidas, este al tener más puntos permite visualizar un margen diferente al primer patrón.

Patrón 3**Figura 138**

Primera prueba de la figura 3

**Figura 139**

Segunda prueba de la figura 3

**Figura 140**

Tercera prueba de la figura 3

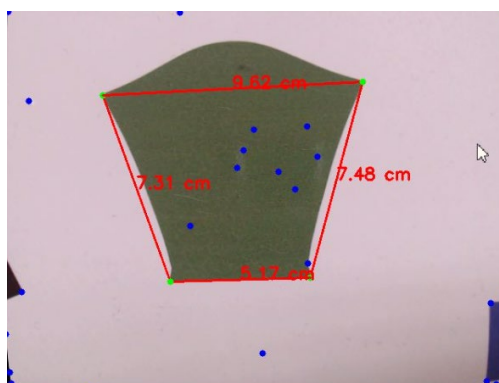
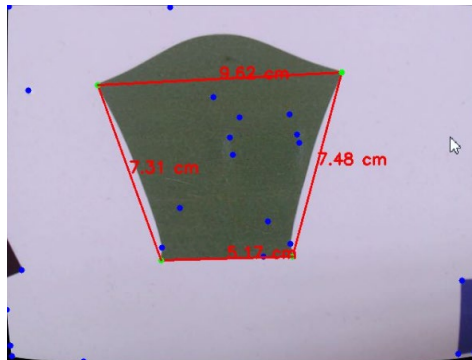
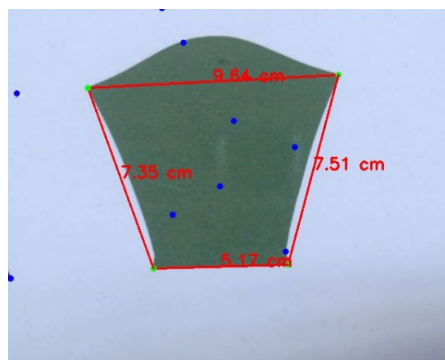


Figura 141*Cuarta prueba de la figura 3***Figura 142***Quinta prueba de la figura 3*

Nota. En las Figuras de la 138 a la 142, se presentan los valores de mediciones que arrojó el sistema de verificación de medidas, en el transcurso del día.

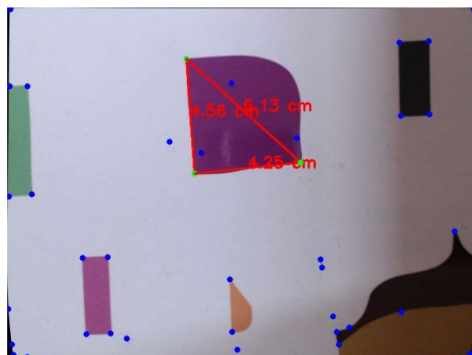
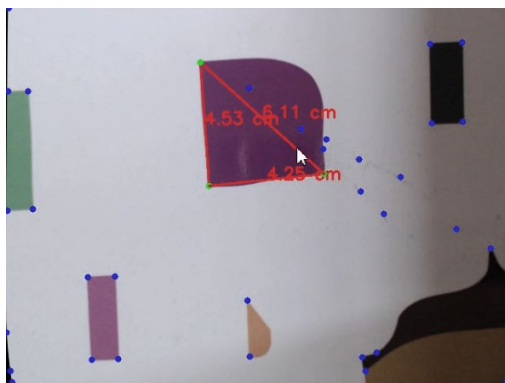
Patrón 4**Figura 143***Primera prueba de la figura 4*

Figura 144

Segunda prueba de la figura 4

**Figura 145**

Tercera prueba de la figura 4

**Figura 146**

Cuarta prueba de la figura 4

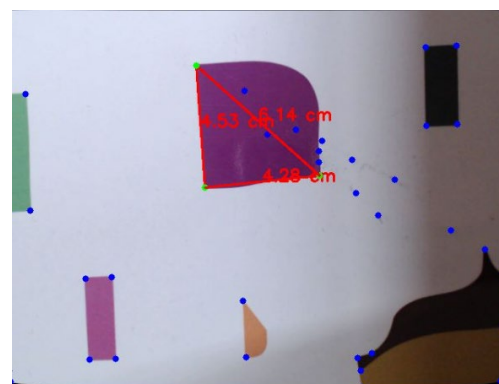
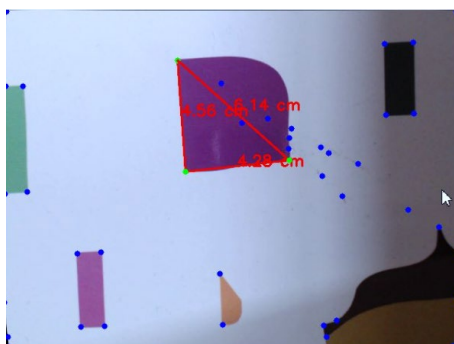


Figura 147

Quinta prueba de la figura 4



Nota. En las Figuras de la 143 a la 147, se visualiza las pruebas que se hicieron en el cuarto patrón, donde se midió 3 puntos de importancia para conocer los valores arrojados por la interfaz y la calibración de la cámara.

Recolección de datos

En esta etapa, se lleva a cabo la recolección de datos durante el funcionamiento del sistema automatizado. Se registran las mediciones obtenidas por la cámara y los sensores de final de carrera, así como las medidas obtenidas por el programa. Los datos recopilados son almacenados y organizados para su posterior análisis.

Patrón 1**Tabla 28**

Valores de la prueba 1 del patrón 1

Prueba 1		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
8.3	8.28	0.241545894
1.15	1.12	2.678571429
1	0.97	3.092783505
2	2.09	4.306220096
9.35	9.3	0.537634409

Tabla 29*Valores de la prueba 2 del patrón 1*

Prueba 2		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
8.3	8.25	0.606060606
1.15	1.12	2.678571429
1	0.97	3.092783505
2	2.09	4.306220096
9.35	9.33	0.214362272

Tabla 30*Valores de la prueba 3 del patrón 1*

Prueba 3		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
8.3	8.28	0.241545894
1.15	1.12	2.678571429
1	0.98	2.040816327
2	2.09	4.306220096
9.35	9.33	0.214362272

Tabla 31*Valores de la prueba 4 del patrón 1*

Prueba 4		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
8.3	8.25	0.606060606
1.15	1.12	2.678571429
1	0.97	3.092783505
2	2.09	4.306220096
9.35	9.33	0.214362272

Tabla 32*Valores de la prueba 5 del patrón 1*

Prueba 5		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
8.3	8.28	0.241545894
1.15	1.12	2.678571429
1	0.97	3.092783505
2	2.09	4.306220096
9.35	9.3	0.537634409

Nota. En las Tablas de la 28 a la 32, se observa tanto la medición real en cada parte que se tomó medida, como el valor de la interfaz, conjuntamente mediante la ecuación para saber el porcentaje de error, encontramos cuán lejos está del valor real.

Patrón 2**Tabla 33***Valores de la prueba 1 del patrón 2*

Prueba 1		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
10.75	10.88	1.194852941
5.5	5.53	0.542495479
4	4.02	0.497512438
3.3	3.24	1.851851852
3.05	3.02	0.993377483
3.65	3.57	2.240896359
2.6	2.55	1.960784314
5.4	5.34	1.123595506

Tabla 34*Valores de la prueba 2 del patrón 2*

Prueba 12		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
10.75	10.88	1.194852941
5.5	5.53	0.542495479
4	4.02	0.497512438
3.3	3.25	1.538461538
3.05	3.02	0.993377483
3.65	3.55	2.816901408
2.6	2.57	1.167315175
5.4	5.34	1.123595506

Tabla 35*Valores de la prueba 3 del patrón 2*

Prueba 3		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
10.75	10.88	1.194852941
5.5	5.53	0.542495479
4	4.01	0.249376559
3.3	3.28	0.609756098
3.05	3.02	0.993377483
3.65	3.55	2.816901408
2.6	2.57	1.167315175
5.4	5.34	1.123595506

Tabla 36*Valores de la prueba 4 del patrón 2*

Prueba 4		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
10.75	10.88	1.194852941
5.5	5.53	0.542495479
4	4.01	0.249376559
3.3	3.28	0.609756098
3.05	3.02	0.993377483
3.65	3.53	3.399433428
2.6	2.59	0.386100386
5.4	5.34	1.123595506

Tabla 37*Valores de la prueba 5 del patrón 2*

Prueba 5		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
10.75	10.88	1.194852941
5.5	5.53	0.542495479
4	4.02	0.497512438
3.3	3.25	1.538461538
3.05	3.02	0.993377483
3.65	3.59	1.671309192
2.6	2.56	1.5625
5.4	5.34	1.123595506

Nota. En las Tablas de la 33 a la 37, se detallan los valores de los 8 pares de puntos, para obtener el error porcentual.

Patrón 3**Tabla 38***Valores de la prueba 1 del patrón 3*

Prueba 1		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
9.6	9.62	0.207900208
5.25	5.17	1.547388781
7.4	7.48	1.069518717
7.3	7.31	0.136798906

Tabla 39*Valores de la prueba 2 del patrón 3*

Prueba 2		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
9.6	9.62	0.207900208
5.25	5.17	1.547388781
7.4	7.48	1.069518717
7.3	7.31	0.136798906

Tabla 40*Valores de la prueba 3 del patrón 3*

Prueba 3		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
9.6	9.62	0.207900208
5.25	5.17	1.547388781
7.4	7.48	1.069518717
7.3	7.31	0.136798906

Tabla 41*Valores de la prueba 4 del patrón 3*

Prueba 4		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
9.6	9.62	0.207900208
5.25	5.17	1.547388781
7.4	7.48	1.069518717
7.3	7.31	0.136798906

Tabla 42*Valores de la prueba 5 del patrón 3*

Prueba 5		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
9.6	9.64	0.414937759
5.25	5.17	1.547388781
7.4	7.51	1.464713715
7.3	7.35	0.680272109

Nota. En las Tablas de la 38 a la 32, se visualiza los 3 lados que se tomaron para obtener las medidas del patrón 3, siendo el valor más alto el 1.54% de error.

Patrón 4**Tabla 43***Valores de la prueba 1 del patrón 4*

Prueba 1		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
4.6	4.56	0.877193
4.3	4.25	1.1764706
6.2	6.13	1.141925

Tabla 44*Valores de la prueba 2 del patrón 4*

Prueba 2		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
4.6	4.56	0.877193
4.3	4.25	1.1764706
6.2	6.13	1.141925

Tabla 45*Valores de la prueba 3 del patrón 4*

Prueba 3		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
4.6	4.53	1.5452539
4.3	4.25	1.1764706
6.2	6.11	1.4729951

Tabla 46*Valores de la prueba 4 del patrón 4*

Prueba 4		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
4.6	4.53	1.5452539
4.3	4.28	0.4672897
6.2	6.14	0.9771987

Tabla 47*Valores de la prueba 5 del patrón 4*

Prueba 5		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
4.6	4.56	0.877193
4.3	4.28	0.4672897
6.2	6.14	0.9771987

Nota. En las Tablas de la 43 a la 47, se detallan los valores que midió la interfaz, por 5 ocasiones, permitiendo obtener un margen de error del 1.176% como su mayor porcentaje en las pruebas.

Tiempo de recorrido automático**Tabla 48***Pruebas de tiempo del modo automático*

Pruebas	
N°	Tiempo (minutos)
1	5.18
2	5.27
3	5.12
4	5.30
5	5.21
6	5.08
7	5.25
8	5.15
9	5.35
10	5.20
11	5.10
12	5.28
13	5.23
14	5.18
15	5.32

Nota. En la Tabla 48, se muestra los tiempos estimados en recorrer todos los patrones, realizando 15 muestras para poder realizar un análisis más preciso.

Análisis de datos

Una vez ya obtenido los valores, se realiza un estudio detallado de los datos compilados durante las pruebas. Se manipulan herramientas y técnicas de análisis estadístico para evaluar la precisión y exactitud del sistema en la verificación de medidas en

patrones. Se comparan los datos obtenidos con las medidas reales para determinar la fiabilidad del sistema.

Para analizar los datos recopilados y determinar la validez del proyecto, se realizó un exhaustivo análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de medición de los patrones. A continuación, se presentan las tablas que resumen los valores de medición real, medición verdadera y el porcentaje de error para cada uno de los patrones.

Como observamos en el apartado de obtención de datos, se registran valores de mediciones reales y verdaderas de las pruebas realizadas en los 4 patrones, mediante la ecuación para el cálculo del porcentaje de error, podemos determinar el margen de error.

$$Error\ absoluto\% = \left| \frac{Medición\ Real - Medición\ Verdadera}{Medición\ Verdadera} \right| \times 100\% \quad 30)$$

Para poder determinar si el valor del error absoluto está dentro de un rango aceptable (menor o igual a 5%), se compara con el límite superior del rango y se obtiene una columna adicional en las tablas para indicar si la medición es válida o no.

Para calcular el promedio del error absoluto de cada patrón y obtener un porcentaje de error promedio, así como la desviación estándar, puedes utilizar las siguientes fórmulas:

Error Promedio Absoluto (MAE)

Sirve para calcular el error absoluto promedio para cada prueba del patrón y luego se promedia estos errores para cada patrón. Ayudando a entender cuán lejos, en promedio, están las mediciones tomadas de las mediciones verdaderas. Cuanto menor sea el MAE, mejor, ya que indica una menor diferencia en las mediciones.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Medición\ Real_i - Medición\ Verdadera_i| \quad 31)$$

Error Cuadrático Medio (MSE)

El MSE calcula el promedio de los errores al cuadrado entre las mediciones reales y las estimadas. Un MSE más bajo indica una menor dispersión de errores en los patrones.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Medición Real_i - Medición Verdadera_i)^2 \quad 32)$$

Error Porcentual Promedio (MAPE)

El MAPE calcula el error absoluto promedio como un porcentaje de las mediciones verdaderas. Es útil para entender cómo de grande es el error en relación con el tamaño de las mediciones verdaderas.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Medición Real_i - Medición Verdadera_i|}{Medición verdadera_i} \times 100 \quad 33)$$

Desviación Estándar del Error

Mide la dispersión de los errores alrededor del promedio. Un valor más bajo indica una menor variabilidad en los errores. Una desviación estándar alta indica que los errores tienden a estar más dispersos alrededor del promedio, mientras que una desviación estándar baja sugiere que los errores están más agrupados y consistentes. (Mauricio Arias , 2007)

$$Desviación Estándar = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Medición Real_i - Medición Verdadera_i)^2} \quad 34)$$

Valores de los patrones**Tabla 49***Valores del patrón 1*

Patrón 1			
MAE	MSE	MAPE	Desviación Estándar
1.029	2.688	2.712%	1.347

Tabla 50*Valores del patrón 2*

Patrón 2			
MAE	MSE	MAPE	Desviación Estándar
0.673	0.771	1.123%	0.483

Tabla 51*Valores del patrón 3*

Patrón 3			
MAE	MSE	MAPE	Desviación Estándar
0.427	0.2353	1.057%	0.485

Tabla 52*Valores del patrón 4*

Patrón 4			
MAE	MSE	MAPE	Desviación Estándar
0.516	0.2913	1.100%	0.540

Nota. En las Tablas 49 a la 52, se encuentran los valores obtenidos por cada patrón, donde se promedió, se sacó media, promedio porcentual y desviación estándar del error de medición.

Mediante las tablas observamos que los valores proporcionados de los promedios entre las mediciones reales y estimadas, para todos los patrones, están dentro de un rango aceptable, lo que da por hecho que la precisión es razonable a lo medido.

Tiempo de recorrido automático

Se procede a realizar el promedio de los tiempos en la superficie de la máquina, mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{N} \quad 34)$$

Donde:

- N es el número de muestras
- X es el valor de cada muestra
- \bar{x} es el promedio del tiempo

Procedemos a reemplazar los valores de los tiempos en la ecuación, sobre N que es la suma de las pruebas realizadas.

$$\bar{x} = \frac{5.18 + 5.27 + 5.12 + 5.30 + 5.21 + 5.08 + 5.25 + 5.15 + \dots (min)}{15}$$

$$\bar{x} = 5.20 \text{ min}$$

Para calcular el tiempo que se estima que recorrerá las dimensiones de 2 metros^2 , hacemos uso de una regla proporcional, la cual relaciona la superficie por la altura sobre las dimensiones que buscamos.

2: 0.75

Simplificando:

1: 0.375

El valor estimado se da mediante el tiempo actual multiplicado por la relación, para obtener de manera aproximada el tiempo que se tardaría en tamaño real.

$$Tiempo\ estimado = \frac{1}{0.375} \times 5.20\ min$$

$$Tiempo\ estimado \cong 14\ min$$

Se redondea aproximadamente de 14 minutos para un dimensionamiento de 2 metros x 2 metros, basándonos en las reglas de proporción, siendo una estimación dado que pueden variar las condiciones y el comportamiento del sistema en diferente dimensionamiento.

Estos resultados indicaron que se mantiene en niveles manejables y no excesivos, indicando que el sistema de visión artificial para verificar las medidas de los patrones ha logrado un buen nivel de precisión y el de posicionamiento optimiza el tiempo de llegada.

Validación de hipótesis

La hipótesis que se planteo es:

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas en patrones, previo a la elaboración de prenda, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial permitirá reducir los tiempos en la estación de verificación de medidas en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui?

Se puede separar en dos aspectos fundamentales:

- La reducción de tiempos en la estación de verificación.
- La correcta medición de los patrones.

Basándonos en los datos proporcionados en el análisis de datos, tomando en consideración el sistema de verificación de medidas implementado el cual es capaz de llevar a cabo verificaciones precisas de medida en los patrones de prendas, la reducción de tiempos tanto en el sistema de posicionamiento que es un proceso más eficiente que de la forma tradicional, los resultados indican que el sistema mide con una gran precisión y un tiempo razonable.

Tabla 53

Validación de las mediciones de los patrones

Patrón N°	1	2	3	4
Valor obtenido	2.712 %	1.123%	1.057%	1.100%
Margen de error	5%	5%	5%	5%
¿Valido?	Si	Si	Si	Si

Nota. En la Tabla 53, se procede a realizar una diferenciación entre el valor promedio porcentual de cada patrón con respecto al margen de error, siendo válido la hipótesis en el aspecto de la correcta medición de los patrones.

Teniendo en cuenta todos los factores y resultados en el sistema de posicionamiento para la verificación de medidas en patrones, se ha logrado validar la hipótesis planteada en la investigación, dado que el valor que arroja nuestro sistema es de promedio 5.20 minutos en todo el trayecto, dando un valor aproximado de 14 minutos, a escala real. Tomando en consideración los datos obtenidos con la empresa el tiempo en cada verificación es de 30 minutos, reduciendo el tiempo de producción en menos de la mitad que normalmente se hace del método manual.

Análisis de costos

En esta etapa, se realiza un análisis de los costos asociados con la implementación del sistema automatizado. Se calculan los gastos de los componentes utilizados, la mano de obra involucrada y otros costos asociados. Se evalúa la viabilidad económica del proyecto y se comparan los costos con los beneficios obtenidos.

Costos directos

En el costo directo se analiza la parte asociada a la manufactura del diseño del sistema de posicionamiento y visión artificial, como la adquisición de los elementos mecánicos, eléctricos-electrónicos, los cuales fueron seleccionados conforme a lo mencionado en los anteriores capítulos.

Tabla 54

Costos directos de la máquina

Materiales	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Tornillo Inox. cilíndrica M2 x 10	9	0,02	0,18
Tornillo Inox. plana M5 x 10	6	0,14	0,84
Switch ON/OFF	2	0,25	0,50
Cable USB 1 m	1	1,95	1,95
Driver motor a pasos DRV8826	3	3,04	9,12

Materiales	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Placa de control CNC Shield V3	1	5	5
Fuente de poder 12 VDC 10A 120W	1	9	9
Nema 17 42STH40 1204 1.2A 0.4Nm + Cable	3	14,25	42,75
Uno R3 + Cable USB	1	18	18
Perfil de Aluminio V 20x40 serie 20 gris	2,25	14,28	32,13
Rueda completa delrin	12	2,68	32,16
Espaciador 6mm	10	0,27	2,70
Arandela de precisión estampada 5.3 x 10	32	0,09	2,88
Polea GT2+6mm 16 dientes D-5	3	1,79	5,37
Banda GT2+6mm con hilo de acero (blanca)	2,55	4,02	10,25
Tuerca T insertable M4 serie 20	8	0,18	1,44
Perno allen cilíndrico M3x08mm	12	0,08	0,96
Arandela M3	12	0,06	0,72
Tuerca hexagonal de seguridad M5	12	0,09	1,08
Perno allen cabeza plana M5x25	8	0,09	0,72
Perno allen cabeza plana M5x15	4	0,09	0,36
Perno allen cabeza plana M5x30	8	0,09	0,72
Perno allen cilíndrico M4x40 mm Inox	4	0,2	0,80
Perno allen cilíndrico M4x10 mm Inox	8	0,1	0,80

Materiales	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Perno allen cilíndrico M4x08 mm Inox	4	0,07	0,28
Cadena portacable TP 10x10	3	7,15	21,45
Varilla roscada inoxidable M5	1	5	5
Varilla roscada inoxidable M12	2	16	32
Tuerca hexagonal M12	4	0,25	1
Arandela plana M12	4	0,2	0,8
Cámara Web Logitech C922 Pro Stream FullHD	1	95	95
Cable para motor Nema 17 de 1m	3	2,50	7,5
Pintura acrílica negra	2	1,40	2,80
MDF 1x1	1	9	9
SUB TOTAL			\$ 355,26
12 % IVA			\$ 42,63
TOTAL			\$ 397,89

Nota. En la Tabla 54 podemos encontrar todas las compras que se realizaron en diferentes empresas, para poder construir el sistema, desde las partes mecánicas hasta las partes eléctricas.

Costos indirectos

El siguiente valor agregado al costo total es el que de manera indirecta se gastó, como se muestra a continuación, siendo importante para saber el valor gastado lo más preciso posible.

Tabla 55*Costos indirectos de la máquina.*

Descripción	Actividad	Costo \$
Desplazamiento interprovincial y provincial	Transporte	25,00
Reproducción gráfica y documental	Impresiones	15,00
TOTAL		\$ 40,0

Nota. En la Tabla 55, se observa los costos que se generó en el proyecto, tanto al momento de la compra de los implementos, como al momento de realizar el escrito.

Costo total

Al tener los valores del costo directo e indirecto, procedemos a realizar una suma para conocer el valor real que se gastó en la construcción de la tesis, siendo un valor dentro del margen de accesibilidad.

Tabla 56*Presupuesto total de fabricación.*

Detalle	Descripción	Costo \$
Costos Directos	Material	397,89
Costos Indirectos	Logística	40
TOTAL		\$ 437,89

Nota. En la tabla 56, se realiza una suma entre los costos, para obtener un valor de \$ 437,89, entre ambos integrantes de la tesis, siendo un valor por persona de \$ 218,95.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- El sistema desarrollado ha demostrado ser altamente eficaz y preciso en la verificación de medidas en patrones, los resultados de las pruebas muestran una correspondencia cercana entre las medidas obtenidas por el sistema y las medidas reales, lo que garantiza una alta calidad.
- La implementación del sistema ha permitido optimizar el uso de recursos, reduciendo el tiempo requerido para el proceso de verificación de medidas. Esto se traduce en una mayor eficiencia y rentabilidad para la empresa.
- La automatización del proceso de verificación de medidas ha eliminado la dependencia de varios operadores humanos, reduciendo la posibilidad de errores y mejorando la precisión en la toma de medidas. Esto ha contribuido a la mejora de la calidad del producto final.
- El diseño de la estructura y la integración de tecnologías como la visión artificial y el posicionamiento han brindado al sistema una mayor adaptabilidad y flexibilidad para su uso en diferentes tipos de patrones y prendas de vestir. Esto permite una mayor versatilidad en la producción y facilita futuras expansiones y mejoras.
- El análisis de costos ha demostrado que la inversión realizada en la implementación del sistema automatizado es altamente viable desde el punto de vista económico. Los beneficios obtenidos en términos de reducción de costos

de producción, mejora de la calidad y optimización de recursos, hacen que el proyecto sea financieramente sostenible y rentable para la empresa.

Recomendaciones

- A pesar de los resultados positivos obtenidos, se sugiere seguir buscando oportunidades de optimización y mejora del sistema, puede incluir la exploración de nuevos algoritmos de visión artificial, la incorporación de sensores adicionales para mejorar la precisión y la implementación de técnicas de control avanzadas.
- Para garantizar el óptimo funcionamiento y mantenimiento del sistema, se recomienda brindar capacitación y formación adecuada al personal encargado de operar y mantener el sistema automatizado.
- La investigación y desarrollo en el campo de la visión artificial, la automatización y la robótica continúan avanzando rápidamente. Se sugiere seguir manteniéndose actualizado con los avances tecnológicos y considerar la posibilidad de incorporar futuras mejoras y actualizaciones en el sistema.
- Antes de implementar el sistema en una escala más amplia, se recomienda realizar una evaluación cuidadosa de su escalabilidad. Esto incluye considerar la capacidad del sistema para manejar un mayor volumen de producción, así como la posibilidad de integrarlo con otros procesos de la empresa.
- Una vez que el sistema se encuentre plenamente operativo, se sugiere establecer un sistema de monitoreo y seguimiento continuo para evaluar su desempeño y detectar posibles problemas o áreas de mejora. Esto asegurará que el sistema funcione de manera óptima y cumpla con los objetivos establecidos.

Bibliografía

Alexander Vasco . (02 de 02 de 2016). *Visión Artificial - Revista de Investigación Eam*.

Recuperado el 21 de 07 de 2023, de Revista de Investigación Eam:

<https://app.eam.edu.co/ojs/index.php/ingeam/article/view/32/178>

Altamirano, S. (13 de Julio de 2021). *CONTROL +*. Obtenido de

<https://suileraltamirano.com/>

Aranacorp. (14 de 02 de 2023). *CNC Shield - Aranacorp*. Recuperado el 24 de 07 de 2023,

de <https://www.aranacorp.com/es/uso-de-un-arduino-cnc-shield-v3/>

Arduino. (14 de Enero de 2019). *Arduino UNO*. Obtenido de <https://arduino.cl/arduino-uno/>

Aula21. (17 de Mayo de 2023). *cursosaula21*. Obtenido de Visión Artificial: todo lo que

necesitas saber: <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-vision-artificial/>

Blade, B. (08 de Septiembre de 2009). *StudentPlace*. Obtenido de Sensores

(Electrónica/Sistemas Programables):

<https://studentplace98.blogspot.com/2019/09/Sensores.html>

BZMETAL. (29 de Julio de 2022). *301, 304, 304L, 316, 316L, 309S, 310 Acero inoxidable*.

Obtenido de

<http://www.bzmetals.com/?m=home&c=View&a=index&aid=432&gclid=CjwKCAjwzo>

[2mBhAUEiwAf7wjKq3ilqUGdSVn4H3fzfNzNtl7lgDb7cJst6GL-](http://www.bzmetals.com/?m=home&c=View&a=index&aid=432&gclid=CjwKCAjwzo)

[eVE6Oaml4jryH2zMhoC_kEQAvD_BwE](http://www.bzmetals.com/?m=home&c=View&a=index&aid=432&gclid=CjwKCAjwzo)

Chavesbao. (15 de Noviembre de 2009). *Características mecánicas de los elementos de*

fijación fabricados de acero inoxidable. Obtenido de

https://www.chavesbao.com/img/Ficha%20Tecnica/FC-CH-009_ES.pdf

Christian Barroyeta. (01 de 11 de 2022). *Microprocesador - Christian Barroyeta*. Recuperado

el 24 de 07 de 2023, de Newesc - Christian Barroyeta:

<https://newesc.com/microprocesador-que-es-y-cuales-son-sus-funciones/>

- CLR. (30 de 08 de 2018). *Actuadore Rotativos - Compañía Livantina de Reductores*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de <https://clr.es/blog/es/actuadores-lineales-rotativos/>
- CUDEVICES. (08 de Agosto de 2022). *Nema 17 Datasheet*. Obtenido de <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1562021/CUID/NEMA17-13-04PD-AMT112S.html>
- CUID . (08 de Mayo de 2020). *NEMA17-13-04PD-AMT112S*. Obtenido de <https://www.cuidevices.com/>
- Electrónica. (21 de 07 de 2022). *Transistores - Electrónica*. Obtenido de Electrónica Online: <https://electronicaonline.net/componentes-electronicos/transistor/>
- Endrijaitis, L., & Tertūnte, J. (17 de Diciembre de 2022). Obtenido de Libro blanco. Sistemas de manipulación cartesiana_comparación técnica con robots clásicos: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/301263/White_Paper%20_Kartesische_Handling_Systeme_ES.pdf
- ETIDUDELA. (16 de Abril de 2010). *VISIÓN ARTIFICIAL*. Obtenido de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>
- Euroinnova. (2013). *Open CV - Euroinnova*. Recuperado el 21 de 07 de 2023, de Euroinnova Nuevas Tecnologías : <https://www.euroinnova.ec/nuevas-tecnologias/articulos/que-es-open-cv>
- Grimas Cintas, P., & Tort-Martorell Llabres, J. (1995). Técnicas para la gestión de la calidad. En P. Grimas Cintas, & J. Tort-Martorell Llabres, *Técnicas para la gestión de la calidad* (pág. 29). Madrid: Diaz Santos.
- Handsontec. (17 de Abril de 2018). *Handson Technology*. Obtenido de 3-Axis CNC/Stepper Motor Shield for Arduino: <https://www.handsontec.com/dataspecs/cnc-3axis-shield.pdf>

I3D Service. (30 de Julio de 2021). *Imprimante 3D service*. Obtenido de <https://imprimante-3d-service.com/es/40-gt2-polea-de-16-dientes-para-eje-de-5-mm.html>

Igus.es. (2015). *Actuadores Lineales - Igus.es*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de <https://www.igus.es/info/actuadores-lineales>

INKUBA. (2023). *Perfiles de Aluminio*. Obtenido de <https://perfilesdealuminio.net/producto/perfil-de-aluminio-2040-v-slot/671>

IONOS. (16 de Septiembre de 2021). *QFD: ¿qué significa Quality Function Deployment?* Obtenido de <https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/analisis-web/qfd-quality-function-deployment/>

Jakobson, R. (1981). *Lingüística y poética*. España: Cátedra.

LA CASA DEL PERNO RMGR . (12 de Abril de 2023). *LA CASA DEL PERNO*. Obtenido de VARILLA ROSCADA ACERO INOXIDABLE MILIMETROS UNC: <https://www.casadelperno.com/en/anclajes/12108-varilla-roscada-acero-inoxidable-milimetros-unc.html>

Larraioz. (18 de Febrero de 2021). *Robots cartesianos de sobremesa - Larraioz Elektronika*. Obtenido de Larraioz Elektronika: <https://larraioz.com/iai/productos/robots-cartesianos-sobremesa#:~:text=Los%20robots%20cartesianos%20de%20sobremesa%20son%20ampliamente%20utilizados%20en%20cadenas,aplicando%20una%20cámara%20de%20visión>

Logitech. (07 de Octubre de 2020). *C922 PRO HD STREAM WEBCAM*. Obtenido de Complete Setup Guide: <https://www.logitech.com/assets/64889/c922-pro-stream-webcam.pdf>

Manuel Meneses. (2020). *Actuadores - Quora*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de Quora - Manuel Meneses: <https://es.quora.com/Qu%C3%A9-es-un-actuador-en-mecatr%C3%B3nica>

MathWorks. (2018). *Filtro de paso Alto - MathWorks*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de MathWorks: <https://la.mathworks.com/discovery/high-pass-filter.html>

Mauricio Arias , J. (2007). *Introducción al Análisis de Series Temporales*. Madrid, España: Compañía Española de Reprografía y Servicios. doi:ISBN: 978-84-96854-01-7

MecatronicaLATAM. (21 de 04 de 2021). *Motores paso a paso - MecatronicaLATAM*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de MecatronicaLATAM: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de-corriente-continua/motor-paso-a-paso/#:~:text=Un%20motor%20a%20pasos%20es,y%20controlarse%20con%20circuitos%20digitales.>

MecatronicaLATAM. (04 de 05 de 2021). *Sensores - Mecatronica*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de MecatronicaLATAM: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/sensores/>

MecatronicaLATAM. (24 de 04 de 2021). *Servomotres - MecatronicaLATAM*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de MecatronicaLATAM: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de-corriente-continua/servomotor/>

Meza Castro, M. (2018). *El recurso de información y comunicación visual: imagen. Apuntes en torno a las Ciencias de la Información y Bibliotecología*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

MITUTOYO. (2018). *MITUTOYO*. Obtenido de https://www.mitutoyo.es/es_es/downloads/informacion-de-producto/sistemas-de-medicion-por-vision

Monleón Getino, T. (21 de Octubre de 2005). *Optimización de los ensayos clínicos de farmacos mediante simulación de eventos discretos, su modelización, validación,*

verificación y la mejora de la calidad de sus datos. Obtenido de

<http://hdl.handle.net/10803/1557>

Muñoz, D. (23 de Marzo de 2023). *plastico*. Obtenido de Robots cartesianos: qué son y cómo funcionan: <https://www.plastico.com/es/noticias/robots-cartesianos-que-son-y-como-funcionan>

Musso, C. (2023). *Blog del fotógrafo*. Obtenido de <https://www.blogdelfotografo.com/ojo-de-pep/>

NAYLAMP. (Enero de 2020). *Perfil de aluminio V-SLOT*. Obtenido de https://naylampmechatronics.com/img/cms/catalogo_v-slot.pdf

NOVATRONIC. (Septiembre de 2020). *Banda Dentada GT2 2GT 6mm 1 Metro*. Obtenido de <https://novatronicec.com/index.php/product/banda-dentada-gt2-2gt-6mm-1-metro/>

NOVATRONIC. (2020). *NOVATRONIC*. Obtenido de Cable para motor nema17 de 4 hilos: <https://novatronicec.com/index.php/product/cable-para-motor-nema17-de-4-hilos/>

Pazmiño, J. (02 de 04 de 2015). *Universidad Politécnica Salesiana - Juan Pablo Pazmiño*. Obtenido de Mecatronica - Visión: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8492/1/La%20mecatronica%20sistemas%20de%20automatizacion%20en%20serie.pdf>

Pérez, P., & Valente., M. (2018). *famaf*. Obtenido de Fundamentos básicos del procesamiento de imágenes: <https://www.famaf.unc.edu.ar/~pperez1/manuales/cim/cap2.html#filtros>

PERFILES CNC. (29 de Marzo de 2022). *PERFILES CNC*. Obtenido de Estructuras, máquinas y accesorios para CNC: <https://perfilesnc.com>

Philpot, T. (2008). *Mechanics of materials*. New Orleans: WILEY.

- PINKER. (03 de Enero de 2022). *Global Data: los 10 mejores países confeccionistas en 2022*. Obtenido de <https://pinkermoda.com/paises-confeccionistas-mas-prometedores-para-2022/>
- Programacionpython. (23 de Mayo de 2023). *programacionpython80889555*. Obtenido de OpenCV: <https://programacionpython80889555.wordpress.com/category/opencv/>
- RS PRO. (05 de Enero de 2021). *Varilla roscada de acero inoxidable simple RS Pro, M12, 1m*. Obtenido de <https://docs.rs-online.com/ec0c/A700000007264057.pdf>
- Rubén Marmolejo. (31 de 08 de 2016). *Microcontrolador - HETPRO*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de HETPRO - Rubén Marmolejo: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>
- SDI. (2020). *Actuadores Eléctricos - SDI*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de <https://sdiindustrial.com.mx/blog/introduccion-a-los-actuadores-electricos-motores-electricos/>
- Shoptronica. (2022). *Interruptores de Final de Carrera* . Obtenido de <https://www.shoptronica.com/interruptores-palanca-y-dip-switch/2269-interruptores-de-final-de-carrera-16a-8944748428226.html>
- Technical Information. (2008). *Techno INC*. Obtenido de <https://www.techno-isel.com/H834/H834Cat.htm>
- Teknika4. (2000). *Teknika4*. Obtenido de <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6063>
- Texas Instruments. (2011). *DRV8825/DRV8826 datasheet*. Obtenido de <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf>
- Tornillos TOREC. (2023). *TORNILLOS TOREC*. Obtenido de Tuerca Hexagonal Inoxidable Metrica - M12: <https://www.torec.mx/products/tcamin12>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F.: McGRAW-HILL.

Ultimaker. (14 de Junio de 2017). *Ficha de datos técnicos PLA*. Obtenido de <https://docs.rs-online.com/7ade/0900766b81698006.pdf>

Unicrom. (30 de 05 de 2023). *Filtro paso bajo - Unicrom*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de Unicrom: <https://unicrom.com/filtro-rl-paso-bajo/>

Xeridia. (06 de Mayo de 2019). *Xeridia*. Obtenido de La Visión Artificial y el procesamiento de imágenes: <https://www.xeridia.com/blog/la-vision-artificial-y-el-procesamiento-de-imagenes>

Yamaha Motor . (2013). *YAMAHA*. Obtenido de Robots cartesianos XY-X: https://global.yamaha-motor.com/business/robot_es/xyx/

Anexos