



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
ESCANER 3D PARA EL MODELAMIENTO DE OBJETOS EN
TRES DIMENSIONES**

AUTOR: VILLAMAR FLORES, XAVIER ALEJANDRO

DIRECTOR: ING. ECHEVERRIA, LUIS

SANGOLQUÍ

2016



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESCANER 3D PARA EL MODELAMIENTO DE OBJETOS EN TRES DIMENSIONES**” realizado por el señor **Xavier Alejandro Villamar Flores**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **Xavier Alejandro Villamar Flores** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 9 de Septiembre del 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Echeverria', is written over a horizontal dashed line.

Ing. Luis Echeverria
DIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Xavier Alejandro Villamar Flores** con cédula de identidad N° 1720730892, declaro que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESCANER 3D PARA EL MODELAMIENTO DE OBJETOS EN TRES DIMENSIONES**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 9 de Septiembre del 2016

Xavier Alejandro Villamar Flores



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Xavier Alejandro Villamar Flores**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESCANER 3D PARA EL MODELAMIENTO DE OBJETOS EN TRES DIMENSIONES**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 9 de Septiembre del 2016

Una firma manuscrita en tinta azul que corresponde al nombre del autor.

Xavier Alejandro Villamar Flores

C.C 1720730892

DEDICATORIA

Para mis padres, mis hermanos y mis sobrinos.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por ser la fuente principal de ejemplo, aliento, constancia y cariño.

A mis hermanos por su paciencia y cuidados.

A mis sobrinos por ser la alegría, la ternura durante este tiempo.

A mis compañeros y ahora amigos por su amistad sincera y apoyo.

A la institución en la cual me forjé como profesional y a los docentes que con su ejemplo se los puede llamar maestros.

Agradezco al aire que respiro, al sol que me abriga y al camino por transitar.
Es un agradecimiento a la vida, a la experiencia adquirida, a las personas que me rodean y el conocimiento que he obtenido de ellas.

INDICE

CERTIFICADO.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
INDICE.....	vii
RESUMEN	xx
1. CAPITULO 1	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Alcance del proyecto.....	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 General	3
1.4.2 Específicos.....	3
1.5 Metodología del proyecto.....	4
2. CAPÍTULO 2	5
2.1 Descripción	5
2.1.1 Visión general de las técnicas de imagen 3D	6
2.1.2 Técnicas de imagen en 3D	7
2.1.3 Cámaras de profundidad	11
2.1.4 Creación de imágenes 3D	12
2.1.5 Reconstrucción 3D.....	13
2.2 Características	14
2.2.1 Método de despliegue de la función de calidad (QFD)	15

2.2.2	Especificaciones del PEG-1	18
2.2.2.4.1	Identificación de la función principal del sistema	24
2.2.2.4.2	Identificación de funciones secundarias	24
3.	CAPITULO 3	26
3.1	Caracterización del sistema principal	26
3.2	Procedimiento de diseño	26
3.3	Caracterización del elemento principal.....	26
3.3.1	Alternativas de tren de engranes	27
3.3.2	Alternativa seleccionada	27
3.4	Sistemas que conforman el PEG-1.....	28
3.4.1	Sistema múltiples ángulos.	28
3.4.1.1	Caracterización	28
3.4.1.2	Elementos	29
3.4.2	Sistema de medición, control y alimentación.....	30
3.4.2.1	Caracterización	30
3.4.2.2	Elementos	31
3.4.3	Sistema de reconstrucción	31
3.4.3.1	Caracterización	31
3.4.3.2	Elementos	32
3.5	Diseño de sistemas	33
3.5.1	Diseño del sistema múltiples ángulos.....	33
3.5.1.1	Diseño mecánico.....	34
3.5.1.1.1	Tren de engranes	34
3.5.1.1.2	Estructura principal.....	35

3.5.1.1.2.1 Simulación de deformación, esfuerzos y factor de seguridad de la estructura principal	36
3.5.1.1.3 Mesa giratoria	40
3.5.1.1.3.1 Análisis de mesa giratoria y su base.....	43
3.5.1.1.4 Sujeción del motor.	47
3.5.1.1.5 Sujeción del sensor.....	47
3.5.1.2 Diseño eléctrico	48
3.5.1.2.1 Motor.....	48
3.5.1.3 Diseño electrónico	48
3.5.1.3.1 Controlador de motores	48
3.5.2 Diseño del sistema de medición, control y alimentación.....	50
3.5.2.1 Diseño electrónico	50
3.5.2.1.1 Dispositivo de visión artificial	50
3.5.2.1.2 Microcontrolador	51
3.5.2.1.3 Controlador de motores	53
3.5.2.1.4 Sensores.....	53
3.5.2.2 Diseño eléctrico	55
3.5.2.2.1 Diseño fuentes	55
3.5.2.3 Diseño mecánico	56
3.5.2.3.1 Sujeción del dispositivo de visión artificial	56
3.5.2.3.2 Protección del dispositivo de visión artificial	56
3.5.2.3.3 Sujeción del microcontrolador.....	57
3.5.2.3.4 Sujeción del controlador de motores y placa Electrónica.....	57
3.5.3 Sistema de reconstrucción.....	57

3.5.3.1	Diseño electrónico	58
3.5.3.1.1	Computador	58
3.5.3.1.2	Placa electrónica para conexión de elementos	59
3.6	Resultado	59
3.6.1	CAD del PEG-1	60
3.6.2	Especificaciones técnicas	61
4.	CAPITULO 4	62
4.1	Sensor Microsoft Kinect	63
4.1.1	Características	63
4.1.2	Especificaciones de los componentes	64
4.1.3	Espacio de coordenadas	66
4.1.3.1	Espacio de coordenadas de profundidad	66
4.1.3.1.1	Rangos del espacio de profundidad	67
4.2	Validación del sensor Kinect	68
4.2.1	Pruebas de funcionamiento	68
4.2.2	Datos obtenidos	70
4.2.3	Análisis de resultados	72
5.	CAPITULO 5	73
5.1	Cambios realizados en el diseño del prototipo	73
5.1.1	Estructura escáner 3D	73
5.1.1.1	Análisis de la estructura	76
5.1.1.1.1	Soporte mesa giratoria y Kinect	76
5.1.1.1.2	Soporte y sujeción del Kinect	79
5.1.2	Rodamiento mesa giratoria	80

5.2	Diseño del proceso de construcción	81
6.	CAPITULO 6	85
6.1	Diseño del programa.....	85
6.1.1	Análisis del problema	85
6.1.1.1	Requerimientos de funcionamiento del PEG-1	86
6.1.1.1.1	Fácil de utilizar	86
6.1.1.1.2	Distancia para captura de datos entre el objeto y el sensor de 80cm.....	87
6.1.1.1.3	Visualización de la nube de puntos.....	87
6.1.2	Arquitectura del programa.....	87
6.1.3	Estructura del programa.....	89
6.2	Desarrollo del programa para funcionamiento	91
6.2.1	Comunicación entre la placa y Arduino.....	92
6.2.2	Subprocesos del programa.....	93
6.2.2.1	Inicialización.....	94
6.2.2.2	Adquisición de datos y escaneo.....	96
6.2.2.3	Exportación de la nube de puntos generada	98
6.2.2.4	Fin	99
6.3	Reconstrucción de la superficie	99
6.3.1	Desarrollo geométrico.....	99
6.3.2	Mallado	101
7	CAPITULO 7	104
7.1	Realización de pruebas.....	104
7.1.1	Diseño de pruebas.....	105

7.1.2	Tipos de pruebas	106
7.1.3	Ejecución de pruebas	107
7.2	Resultado de las pruebas	108
7.3	Análisis de los resultados y calificación del escáner 3D	109
8.	CAPITULO 8	110
8.1	Conclusiones.....	110
8.2	Recomendaciones	111
	ANEXO A.....	128
	ANEXO B.....	128
	ANEXO C.....	128
	Bibliografía antes de anexos ver manual apa	112

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Requerimientos del objeto.	16
Tabla 2	Características técnicas	16
Tabla 3	Resultados de la matriz QFD.	18
Tabla 4	Tabla de especificaciones	23
Tabla 5	Comparación de los diversos tipos de engranes basicos	27
Tabla 6	Especificaciones de los engranes	35
Tabla 7	Tabla comparativa de materiales para la estructura.	39
Tabla 8	Caracteristicas motor a pasos	48
Tabla 9	Especificaciones Arduino NANO.....	52
Tabla 10	Selección sensores	54
Tabla 11	Especificaciones técnicas del PEG-1.....	61
Tabla 12	Especificaciones de los componentes Kinect para Windows.	65
Tabla 13	Metodología para la ejecución de la prueba de validacion de kinect.....	70
Tabla 14	Resumen media aritmetica para la posición $X = 0m$ en los tres puntos.	71
Tabla 15	Resumen de error absoluto y error relativo para la posición la $X = 0m$, en los tres puntos.	71
Tabla 16	Resumen desviación estándar para la posición en las tres puntos en $X = 0m$	71
Tabla 17	Caracteristicas del rodamiento.....	81
Tabla 18	Caracteristicas en la contruccion de las piezas.....	81
Tabla 19	Parametros comunicación arduino - computador.....	92
Tabla 20	Comandos por teclado.	98
Tabla 21	Diseño de pruebas.	105
Tabla 22	Ponderación para las pruebas de campo.....	106
Tabla 24	Metodología de las pruebas.	107

Tabla 25	Datos obtenidos de las distintas pruebas con diferentes objetos.	107
Tabla 26	Resumen de resultados de las pruebas de funcionamiento.....	108

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de técnicas de imagen 3D	7
Figura 2 Esquema de la triangulación principal.	8
Figura 3 Esquema de luz estructurada.	9
Figura 4 Esquema vision estereo.....	10
Figura 5 Nube de puntos representando una taza y un conejo.....	13
Figura 6 Mallas poligonales.	14
Figura 7 Procesos del método QFD.....	15
Figura 8 Matriz QFD.....	17
Figura 9 Calculo de la relacion del tren de engranes.....	19
Figura 10 Diagrama de cuerpo libre para el objeto en la mesa giratoria del PEG-1	42
Figura 11 Dimensiones PEG-1 (a) Vista lateral (b) Vista frotal	22
Figura 12 Caja negra de la función principal del sistema.....	24
Figura 13 Identificación de subsistemas funcionales	25
Figura 14 Diagrama de bloques del sistema múltiples ángulos.	29
Figura 15 Diagrama de bloques del sistema de medición, control y alimentación.....	30
Figura 16 Diagrama de bloques del sistema de detección.....	32
Figura 17 Estructura soporte.....	36
Figura 18 Geometrías fijas y cargas aplicadas a la estructura inferior.....	38
Figura 19 Resultado del análisis de esfuerzos de la estructura.	38
Figura 20 Resultado del análisis de desplazamientos de la estructura.....	39
Figura 21 Resultado del análisis de factor de seguridad de la estructura. ..	40
Figura 22 Base de la mesa giratoria.	40
Figura 23 Profundidades internas.	41
Figura 24 Agujeros de anclaje para el motor, sensor giratorio y estructura.	41
Figura 25 Diseño mesa giratoria.	42

Figura 26 Mesa giratoria	42
Figura 27 Base de la mesa giratoria	43
Figura 28 Geometrías fijas y fuerzas aplicadas a la base mesa giratoria ...	44
Figura 29 Resultados del análisis de esfuerzos en base mesa giratoria	44
Figura 30 Resultados del análisis de desplazamientos en base mesa giratoria	45
Figura 31 Geometrías fijas y fuerzas aplicadas a la mesa giratoria	45
Figura 32 Resultados del análisis de esfuerzos en la mesa giratoria	46
Figura 33 Resultados del análisis de desplazamientos en mesa giratoria ..	46
Figura 34 Expansión para sujetar el motor.	47
Figura 35 Soporte para sujetar el sensor giratorio.	47
Figura 36 DC controlador motor a paso doble puente H escudo junta L298N para Arduino.....	49
Figura 37 Características del adaptador de corriente de Microsoft Kinect para Windows.	51
Figura 38 Arduino NANO.	53
Figura 39 El sensor resistivo DFR0058.....	54
Figura 40 Fuente DC para el motor a pasos	55
Figura 41 Cobertor para el dispositivo Microsoft Kinect.	57
Figura 42 Placa electrónica para conexión de componentes electrónicos. .	59
Figura 43 CAD del PEG-1	60
Figura 44 Dimensiones del PEG-1.....	61
Figura 45 Representacion Del Sistema Vision Artificial	62
Figura 46 Sensor Kinect para Windows.	63
Figura 47 Componentes del sensor Kinect para Windows.....	64
Figura 48 Rango de visión horizontal del sensor Kinect.	65
Figura 49 Rango de visión vertical del sensor Kinect.	66
Figura 50 Valores de las muestras de profundidad.....	67
Figura 51 Rangos del sensor de profundidad.	67
Figura 52 Plano de pruebas.....	69

Figura 53 Soportes Mesa giratoria; a) izquierdo b) derecho.	74
Figura 54 Soporte para sujeción del Kinect	74
Figura 55 Soporte del Kinect.....	75
Figura 56 Resultado final PEG-1	75
Figura 57 Soporte mesa giratoria.....	76
Figura 58 Geometrías fijas y fuerzas aplicadas en los soportes.	77
Figura 59 Resultados del análisis de esfuerzos en los soportes.....	77
Figura 60 Resultados del análisis de desplazamientos en el soportes.	78
Figura 61 Resultados del trazado de factor de seguridad en los soportes..	79
Figura 62 Geometrías fijas y fuerzas aplicadas en el soporte y sujeción....	79
Figura 63 Resultados del análisis de esfuerzos en el soporte y sujeción. ..	80
Figura 64 Manufacturer BC Precision, acero con rodamientos de bolas radiales.	80
Figura 65 Conjuntos de piezas elaboradas.....	83
Figura 66 Armado de la caja de los componentes electrónicos	83
Figura 67 Ensamble de engranes y acomple de la mesa giratoria.	84
Figura 68 Resultado final.	84
Figura 69 Arquitectura del programa.....	88
Figura 70 Diagrama lenguaje único modelado (UML) del programa.....	90
Figura 71 Diagrama de llamadas de funciones del programa para PEG-1.	90
Figura 72 Comunicación motor/sensor - arduino - computador	92
Figura 73 Diagrama de flujo del programa del PEG-1	94
Figura 74 Diagrama de flujo del subproceso de inicialización.....	95
Figura 75 Diagrama de flujo del subproceso de Adquisición de datos y escaneo	97
Figura 76 Esquema toma de datos: (a) Punto $P(x,y,z)$, oculto. (b) Punto $P(x',y',z')$, visible.	100
Figura 77 Reconstrucción del objeto, en el programa durante el giro de la base.	101

Figura 78 Nube de puntos en Meshlab.	102
Figura 79 Mallado de una nube de puntos en Meshlab.	102
Figura 80 Esquemas Prueba 1 – 7.	106

GLOSARIO

- **Escaneo:** Operación en la que se toma la medida del objeto por cada grado de giro
- **Nube de puntos:** Conjunto de datos que albergan la información de distancia y color.
- **Mallado:** Proceso en el cual a partir de la nube de datos se construye digitalmente el objeto en tres dimensiones.
- **CAD:** Diseño Asistido por Computadora.
- **RGBD:** Cámara de Profundidad.
- **Meshlab:** es un sistema de código abierto para el procesamiento y la edición de mallas triangulares 3D.
- **NURBS:** (acrónimo inglés de non-uniform rational B-spline) es un modelo matemático muy utilizado en la computación gráfica para generar y representar curvas y superficies.
- **Driver:** Dispositivo de control electrónico.
- **PLA:** es un termoplástico cristalino de alta rigidez, usado en piezas de precisión que requieren alta rigidez, baja fricción y una excelente estabilidad dimensional.

RESUMEN

El proyecto, “Diseño y Construcción de un Prototipo de un Escáner 3D para el Modelamiento de Objetos en Tres Dimensiones”, plantea el diseño y construcción de un equipo electrónico-mecánico que permite digitalizar la figura en tres dimensiones al obtener la geometría a través de la medición de su contorno, digitaliza la figura en tres dimensiones mediante la conformación de una nube de puntos que albergan las distancias medidas. Permite la extracción en un archivo de la nube de puntos para la creación del mallado y un sólido con un software adicional. La realización de este proyecto tiene como objetivo digitalizar de objetos en tres dimensiones. Al lograr este objetivo se permite el uso por medio de un programa de diseño asistido por computadora.

Palabras clave: MECATRÓNICA, ESCÁNER, 3D, NUBE DE PUNTOS, SOLIDO 3D.

ABSTRACT

The project, "Design and construction of a prototype of a 3D scanner for modeling objects in three dimensions", proposes the design and construction of an electronic-mechanical equipment that can scan the three-dimensional figure to get the geometry through measuring its contour, digitizes the three-dimensional figure by forming a point cloud containing the measured distances. It allows file extraction point cloud for creating the mesh and solid with additional software. The realization of this project aims to digitize objects in three dimensions. By achieving this objective the use by a program of computer-aided design allowed.

Keywords: MECHATRONICS, SCANNER, 3D, POINT CLOUD, 3D SOLID.

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Actualmente los avances tecnológicos son un gran aporte para el modelado 3D en diversas áreas, entre estos avances se presenta el sistema escáner láser que se caracteriza fundamentalmente por capturar una gran cantidad de puntos con una alta precisión en un período corto de tiempo. Este tipo de tecnología es utilizada principalmente en países europeos (Sebastián, 2005); sin embargo, en el Ecuador existen escasos antecedentes sobre el uso y procesamiento de datos obtenidos por el sistema de escaneado láser.

En el manejo de datos geospaciales se ha trabajado con sistemas CAD (Diseño Asistido por Computadora), siendo estos útiles para tratar de simular ambientes virtuales principalmente en el ámbito de la construcción; posteriormente, aparecen otras plataformas dentro de los SIG (Sistema de Información Geográfica), los cuales se convierten en herramientas esenciales para modelamientos 3D.

Actualmente, la tecnología de punta en modelamientos 3D foto realísticos son los sistemas escáner láser que surgieron en Europa, tomando un repunte en Estados Unidos para la fiscalización, supervisión y control del deterioro de obras civiles, por ejemplo en Clifford's Tower, York -Reino Unido (Sebastián, 2005).

De acuerdo al documento en referencia el Ecuador no posee una documentación actualizada del patrimonio cultural, lo cual dificulta en gran medida su procesamiento de restauración (Velasquí & Guerrero, 2013).

El Laboratorio de Geografía de la Carrera de Ingeniería Geográfica y Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas, cuenta con un Scanner 3D (Creaform), del tipo patrimonial para figuras de 30cm a 3m.

Una vez que se tiene en cuenta, lo anteriormente mencionado se determina la importancia de contar con un equipo que digitalice figuras en tres dimensiones; recopilar datos, realizar la reconstrucción, tratamiento de figura, que los archivos generados tengan un formato compatible con diversos programas informáticos y respaldo técnico.

1.2 Justificación

La adquisición de un escáner 3D laser profesional, implica un alto costo, lo que genera la necesidad de un sistema más económico que realice las mismas funciones, sin bajar la calidad y facilidad de uso. Éste es el motivo principal por el cual las personas que laboran en el laboratorio de Ingeniería Geográfica de la Universidad de las Fuerzas Armadas muestran cierto interés particular en el desarrollo de un escáner 3D, que dé soporte a la actividad mencionada, a un costo muy inferior permitiendo replicar y desarrollar esta tecnología.

De esta manera el escáner 3D a pesar de no ser el primero que exista en el mundo, si será uno de los modelos que no está orientados sólo para usuarios profesionales con un vasto conocimiento en el campo de la fotometría. De hecho el diseño por su menor costo, podrá ser replicado y construido por cualquier usuario interesado en modelos 3D. Haciendo énfasis en los objetivos del Plan Nacional Del Buen Vivir 2013-2017, tenemos que revisar el décimo objetivo; “Impulsar la transformación de la matriz productiva”, donde en algunas políticas planteadas, tienen como objetivo impulsar el desarrollo de actividades ligadas al talento humano, a la tecnología y el conocimiento.

El presente trabajo de titulación aporta justamente al desarrollo del talento humano, tecnología y conocimiento, entrando en un campo de la visión por computador, lo que aporta a la práctica en sinergia entre mecánica, electrónica e informática. EL desarrollo del prototipo busca obtener figuras digitales de objetos en tres dimensiones. La idea del diseño y construcción de un prototipo de escáner 3D es que facilite el análisis, estudio, control de inventario y manipulación del patrimonio nacional digitalizando estos objetos. Para ello el escáner reconstruirá la forma del objeto con ayuda de algoritmos y software con estos fines.

1.3 Alcance del proyecto

Diseñar y construir un prototipo de escáner 3D, utilizando el dispositivo de adquisición y procesamiento de imágenes Microsoft Kinect, programando el software utilizando las librerías liberadas OpenNI/NITE basadas en java. El escáner 3D analiza un objeto tomando datos de su forma para construir modelos digitales tridimensionales; además tiene funciones de reconocimiento de presencia del objeto para iniciar y terminar el escaneo de la figura y del peso máximo permitido. La estructura puede soportar solamente una carga máxima de 2,5 kg. Debido a que es un prototipo y por lo tanto se utilizan componentes que ayuden a cumplir únicamente este propósito. El diseño físico del prototipo se lo realiza basándose en las características y alcances físicos de una figura de 15 cm a 40 cm de altura y 15 a 20 cm de ancho. Este prototipo funcionara solamente para las superficies de los objetos y no lograra ninguna reconstrucción de su interior.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Diseñar y construir un prototipo de escáner 3D para el modelamiento de objetos en tres dimensiones de hasta 2,5 kg.

1.4.2 Específicos

- Diseñar el sistema mecánico que asegure la rotación y velocidad para un movimiento preciso y fiable.
- Diseñar el sistema de control electrónico del ángulo de giro para la adecuada interpretación de datos, obtenidos del procesador de imágenes Kinect.
- Desarrollar el algoritmo por el cual se interpretarán los datos obtenidos del escaneo, para realizar el objeto sólido 3D.
- Elaborar el manual de usuario del escáner 3D.

1.5 Metodología del proyecto

El proyecto se desarrolló utilizando la metodología científica siguiendo sus respectivas etapas de análisis, diseño, implementación y evaluación.

- **Análisis:** Se investigará las diferentes tecnologías disponibles para la obtención de dato para crear un prototipo. Se analizó y calculó las características de los diferentes componentes como motores, alimentación eléctrica (basándose tanto en las especificaciones de Kinect para Windows como en los motores a utilizarse) y mecanismos para movimiento, de estos se seleccionó los más adecuados basándose en peso, tamaño y características mecánicas.

- **Diseño:** Basándose en los diferentes métodos de escaneo y consiguientes equipos y el objeto a escanear se realizará el diseño inicial de la estructura, los cuales establecerán las dimensiones del prototipo. Los datos de peso, tamaño y forma de los componentes, además de los relacionados con el movimiento del prototipo permitirán diseñar la estructura para que sea mecánicamente resistente. En cuanto al diseño electrónico, los motores y alimentación serán los elementos definitorios, para el desarrollo del diseño de la placa electrónica y de los demás componentes necesarios.

- **Implementación:** Se construirá la estructura basándose en el diseño. Se fabricará la placa electrónica respectiva. Se programará el microcontrolador como interfaz de comunicación entre el computador y los motores. Se integrarán todos estos componentes y se programará el sensor Kinect para el funcionamiento del prototipo de escáner.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEORICO DEL ESCANER

2.1 Descripción

En informática, un escáner de imágenes, es un dispositivo que escanea ópticamente imágenes, texto impreso, escritura a mano, o un objeto y la convierte en una imagen digital.

Un escáner 3D es un dispositivo que analiza un objeto o entorno real para recoger datos sobre su forma y posiblemente su aspecto, como el color. Los datos recogidos se pueden utilizar para construir modelos digitales tridimensionales.

Una clasificación establecida divide en dos tipos (Curless, From Range Scans to 3D Models, 2000): de contacto y sin contacto. Y en contacto se pueden dividir en dos categorías principales, activos y pasivos. Hay una variedad de tecnologías para adquirir digitalmente la forma de un objeto 3D.

- Los Escáneres con Contacto, escanean a través del contacto físico con el objeto obteniendo las mediciones de su contorno.
- Los Escáneres Sin Contacto Activos, emiten algún tipo de radiación o luz y detectan su reflexión que pasa a través de los objetos.
- Los Escáneres Sin Contacto Pasivos no emiten ningún tipo de radiación, sino que se basan en la detección de radiación ambiente reflejada. La mayoría de las soluciones de este tipo detectan luz visible porque es una radiación ambiental disponible.

2.1.1 Visión general de las técnicas de imagen 3D

Sensores de imagen 3D generalmente funcionan mediante la proyección (forma activa) o la adquisición (forma pasiva) de energía electromagnética de un objeto seguido por la grabación de la energía transmitida o reflejada. El ejemplo más importante de la medición de transmisión es la tomografía por ordenador industrial (CT), que utiliza de alta energía de rayos X y mide la radiación transmitida a través del objeto.

Sensores de reflexión para la recopilación de formas se pueden subdividir en detección no óptica y óptica. Detección sin óptico incluye sensores acústicos (ultrasonidos, sísmicos, electromagnéticos) (infrarrojo, ultravioleta, radar de microondas, etc.) y otros. Estas técnicas suelen medir distancias a objetos midiendo el tiempo requerido para que un pulso de sonido o energía de microondas para recuperarse de una objeto.

En la reflexión de detección óptica, la luz lleva la información de medición. Hay una notable variedad de técnicas ópticas en 3D, y su clasificación no es única. En esta sección, se mencionan los enfoques más prominentes, y los clasificamos como se muestra en la (Figura 1).

	Triangulation	Time delay	Monocular Images	Passive	Active	Direct	Indirect	Range	Surface Orientation
Laser triangulators	X				X	X		X	
Structured light	X				X	X		X	
Stereo vision	X			X		X		X	
Photogrammetry	X			X		X		X	
Time of Flight		X			X	X		X	
Interferometry		X			X	X		X	
Moiré fringe range contours			X		X		X	X	
Shape from focusing			X	X	X		X	X	
Shape from shadows			X		X		X	X	
Texture gradients			X	X			X		X
Shape from shading			X		X		X		X
Shape from photometry			X		X		X		X

Figura 1 Clasificación de técnicas de imagen 3D

Fuente: (Giovanna Sansoni *, 2009, pág. 570)

2.1.2 Técnicas de imagen en 3D

Se clasifican en métodos pasivos y activos. En los métodos pasivos, la reflectancia del objeto y la iluminación de la escena se utilizan para derivar la información de la forma: ningún dispositivo activo es necesario. En la forma activa, las fuentes de luz adecuadas se utilizan como el vector interno de la información. Una técnica también se distingue entre medidas directas e indirectas. Las técnicas directas como resultado de datos de rango, es decir, en un conjunto de distancias entre la superficie desconocida y el sensor de rango. Las mediciones indirectas se infieren a partir de imágenes monoculares y desde el conocimiento previo de las propiedades de destino (Docchio, Sansoni, & Trebeschi, 2009).

2.1.2.1 Triangulación láser

Triangulación de un solo punto o rayas láser (lente cilíndrica, que se expande el haz de luz a lo largo de una dirección). Todos ellos se basan en el principio de triangulación activa. La figura 2 muestra una configuración típica del sistema. Puntos O_p y O_c son la salida y las pupilas de entrada de una fuente de láser y de una cámara. Su distancia mutua es la línea de base d . Los ejes ópticos z_p y z_c del láser y la cámara forman un ángulo de grados.

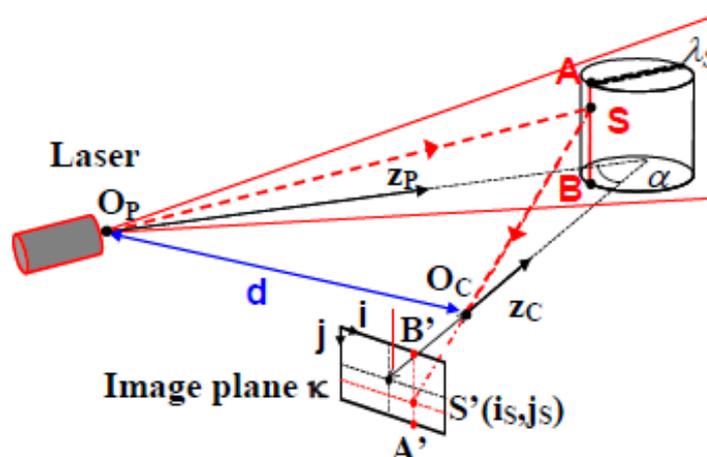


Figura 2 Esquema de la triangulación principal.

Fuente: (Giovanna Sansoni *, 2009, pág. 571)

La medición de la ubicación es decir; (i_s, j_s) de la imagen de punto S' define la línea de visión $S' O_c$, y, por medio de la geometría simple, se obtiene la posición de S . La medición de la superficie se consigue mediante exploraciones sucesivas. Una de las ventajas más significativas de triangulación láser es su precisión y su insensibilidad relativa a las condiciones de iluminación y efectos de textura de superficie.

Triangulación láser de punto único son ampliamente utilizados en el campo industrial, para la medición de distancias, diámetros, espesores, así como en aplicaciones de control de calidad de la superficie. Rayas de láser se están

volviendo muy popular para el control de calidad, ingeniería inversa y modelado del patrimonio. Ejemplos de ello son el sistema Vivid 910 (Konica Minolta, Inc.), los sensores de la serie SmartRay (SmartRay GmbH, Alemania) y los sistemas de ShapeGrabber (ShapeGrabber Inc., CA, EE.UU.). Sensores 3D están diseñados para la integración con los brazos del robot, para implementar las operaciones de "pick and place" en las estaciones de-paletizado. Un ejemplo es el sistema Ranger (Sick, Inc.).

2.1.2.2 Luz estructurada

Sensores basados luz estructurada comparten el enfoque de triangulación activo antes mencionado. Sin embargo, en lugar de la exploración de la superficie, proyectan patrones bidimensionales de luz no coherente, y ellos elaboran para obtener la información de la distancia de cada punto de vista simultáneamente. Un patrón único, así como múltiples patrones se pueden proyectar.

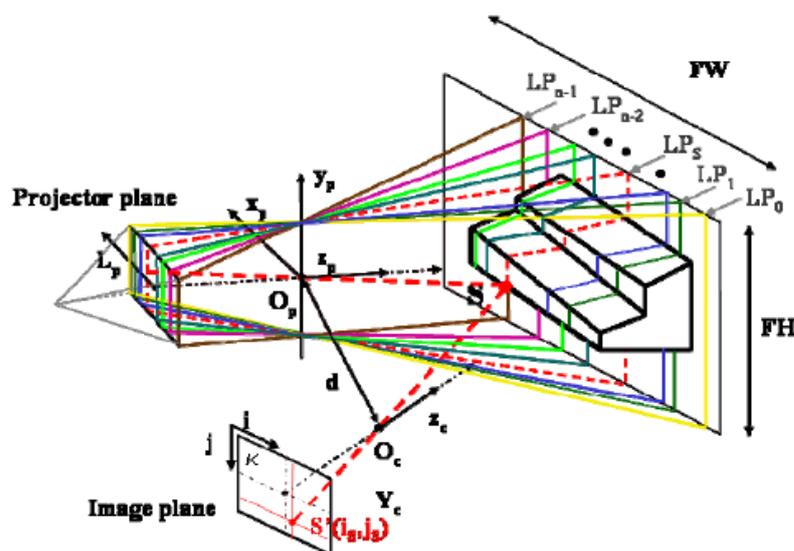


Figura 3 Esquema de luz estructurada.

Fuente: (Giovanna Sansoni *, 2009, pág. 573).

Tendencias recientes en el desarrollo de sistemas de luz estructurada se dirigen a aumentar la velocidad de proyección de múltiples patrones, a fin de permitir la adquisición en tiempo real de las superficies, especialmente para la planificación

de movimiento y adquisiciones del cuerpo humano. El sistema MobilCam 3D (Vialux GmbH, Alemania), y el escáner Broadway (Artec Group, Inc., CA, EE.UU.) pertenecen a esta categoría.

2.1.2.3 Visión estéreo

El método de la visión estéreo representa la versión pasiva de las técnicas de luz estructurada. Aquí, dos (o más) cámaras capturan simultáneamente la misma escena. En principio, la reconstrucción por enfoque estéreo utiliza la siguiente secuencia de pasos de procesamiento: adquisición de la imagen, el modelado de la cámara, extracciones de características, análisis de correspondencia y, la triangulación. No se necesitan más equipos (por ejemplo, fuentes de luz específicas) y no hay proyecciones especiales.

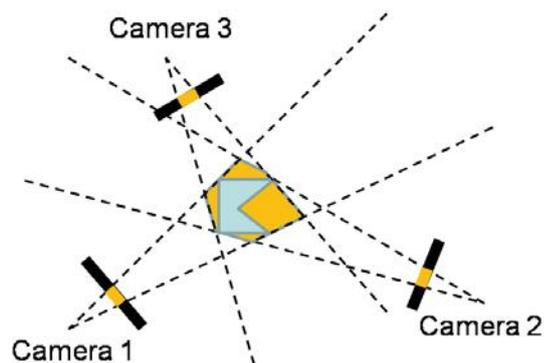


Figura 4 Esquema vision estereo.

Fuente: (Ladikos, 2011, pág. 22)

Una variante del enfoque de la visión estéreo implica el uso de múltiples imágenes de una sola cámara, que captura el objeto en una secuencia de imágenes desde diferentes puntos de vista (forma de vídeo). Un requisito básico para esta técnica es que la escena no contiene partes móviles.

Entre los dispositivos en el mercado, el sistema PrOMT.stereo (SOLVing3D GmbH, Alemania) muestra un alto rendimiento y simplicidad de uso.

2.1.2.4 Fotogrametría

La fotogrametría obtiene modelos 3D confiables por medio de fotografías. En fotogrametría digital se utilizan imágenes digitales. La elaboración consiste básicamente en los siguientes pasos: calibración de la cámara y la orientación, las mediciones del punto de imagen, la generación de nubes de puntos 3D, la generación de superficies y la asignación de texturas.

La calibración de la cámara es crucial en vista de la obtención de modelos precisos. En los últimos tiempos, las comunidades de visión fotogramétrica y de la computadora han propuesto procedimientos combinados, para aumentar tanto el rendimiento de medición y los niveles de automatización.

En el mercado, las combinaciones de proyección de luz estructurada con la fotogrametría están disponibles (escáner Atos II, Gom GmbH, Alemania) para mejorar el rendimiento de la medición.

Tomado de *State-of-The-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation* de Giovanna Sansoni *, Marco Trebeschi and Franco Docchio en la que se puede encontrar otras técnicas pasivas como activas y aplicaciones en diversas áreas.

2.1.3 Cámaras de profundidad

La cámara es el dispositivo que, utilizando un juego de lentes (objetivo) reconstruye una imagen sobre un elemento sensible (sensor) y la transmite al sistema de adquisición del computador (Endres, Jürgen, Jürgen, Cremers, & Wolfram, 2014).

2.1.3.1 Sensores RGB-D

Los sensores RGB-D combinan información de color representada en RGB con información de profundidad, por cada píxel. Esto permite obtener la textura y geometría de los objetos.

Un sensor RGB-D contiene

- Una cámara RGB que captura una imagen 2D del mundo en color.
- Una cámara de profundidad formada por un emisor infrarrojo y un sensor infrarrojo, que sirve para estimar la profundidad de los objetos del mundo.

Esta cámara de profundidad es de luz estructurada, para la estimación de los valores de profundidad, el emisor proyecta un patrón de luz infrarroja, que luego es capturado por la cámara infrarroja. A partir de la diferencia entre el patrón proyectado y el capturado, el sensor estima la distancia entre éste y el mundo. La información de profundidad luego se sincroniza con la obtenida a partir de la cámara RGB calibrada.

2.1.4 Creación de imágenes 3D

Imagen RGB-D

El resultado es un par de imágenes 2D, conformado por una imagen RGB y una imagen de profundidad, que en conjunto llamamos imagen RGB-D. Este par permite tener información más completa del mundo tridimensional que la provista con una única imagen 2D. La imagen RGB aporta la textura del mundo, mientras que la imagen de profundidad añade la geometría, que luego, gracias a los parámetros de calibración de la cámara (centro óptico más distancia focal), nos permite generar la nube de puntos 3D.

2.1.5 Reconstrucción 3D

2.1.5.1 Nubes de puntos

Una nube de puntos es una colección de puntos tridimensionales. Ésta puede ser generada de forma artificial (siendo sintética), o provenir de capturas de elementos del mundo. Ejemplos de nubes de puntos pueden observarse en la Figura 2.5, representando una porción de una taza y un modelo detallado de un conejo. Las coordenadas en (x,y,z) de cualquier punto p de la nube, están dadas con respecto a un sistema de coordenadas fijo. Si la nube representa datos del mundo, entonces el origen del sistema de coordenadas suele ser el sistema de captura utilizado. En este caso, el valor de cada punto p representa la distancia desde el origen hasta la superficie donde el punto fue capturado. Las nubes de puntos pueden incluir mucha más información que solo las posiciones 3D de los puntos, como color, intensidad, punto de vista.

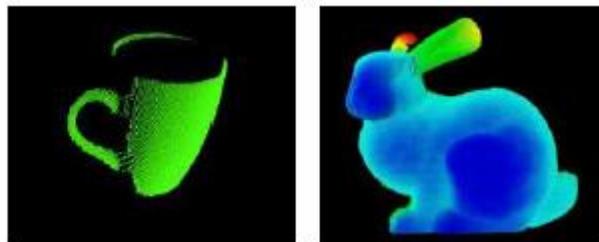


Figura 5 Nube de puntos representando una taza y un conejo.

Fuente: (Heredia Favieri, 2015, pág. 6)

2.1.5.2 Mallas poligonales

Una malla poligonal es una colección de vértices, ejes y caras que definen la forma de un objeto en 3 dimensiones. Un vértice corresponde a un punto en el espacio 3D, un eje es una conexión entre dos vértices, y una cara es un conjunto cerrado de ejes, siendo en general un triángulo o cuadrilátero. En la Figura 2.6 pueden verse dos ejemplos de mallas poligonales de distintas densidades (distancia promedio entre ejes) y polígonos representando el mismo modelo de un conejo.

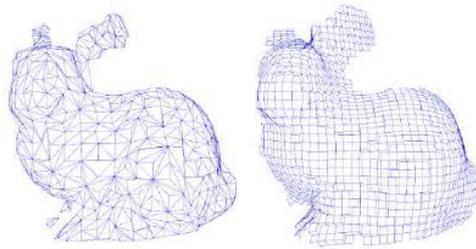


Figura 6 Mallas poligonales.

Fuente: (Heredia Favieri, 2015, pág. 5)

Tomado de *Reconocimiento de Objetos en Imágenes RGB-D*, Tesis para Licenciatura en Ciencias de la Computación de la Universidad de Buenos Aires, *Nadia Mariel Heredia Favieri*.

2.2 Características

Desde este momento en adelante al prototipo de escáner se lo llamará “PEG-1” por sus siglas en español (Prototipo Escáner Giratorio), y a cualquier figura a escanear se lo contemplara como objeto. Para determinar las características del PEG-1 es necesario comprender los requerimientos del usuario, para que estos se traduzcan en especificaciones apropiadas a las características de ingeniería. Como característica inicial indicamos que PEG-1 tomara las medidas del objeto para ser reconstruido.

2.2.1 Método de despliegue de la función de calidad (QFD)

El QFD por sus siglas en inglés (Quality Function Deployment) muestra los requerimientos del prototipo tanto en el proceso de diseño, manufactura y marketing (Yacuzzi & Martín, 2013). Este método nos permite lograr la correspondencia entre estos requerimientos con las características de ingeniería y además nos permite conocer las relaciones que pueden existir entre las diferentes características técnicas de diseño más relevantes y a partir de estas obtener las especificaciones iniciales para el diseño del PEG-1 (figura 7).



Figura 7 Procesos del método QFD

2.2.1.1 Requerimiento del usuario y características técnicas

Para obtener estos requerimientos, se preguntó a Diseñadores por Computador e usuario del modelado por impresión 3D, como desearían que fuera el producto de “Prototipo de Escáner 3D”. Analizando los requerimientos del cliente más destacados e importantes al momento de dar uso al PEG-1 (tabla 1).

Con los requerimientos del usuario, se enlistó las características técnicas a considerar para el diseño del PEG-1, tomando en cuenta que estas tienen que ser de carácter cuantitativo, para realizar el correcto análisis entre estos dos grupos.

Además de considerarlas para dar solución a los requerimientos del usuario (tabla 2).

Tabla 1
Requerimientos del usuario.

N°	Requerimientos del usuario
1.	Facilidad para colocar los objetos
2.	Obtener objetos con detalle
3.	Buen aspecto
4.	Datos confiables
5.	Bajo costo
6.	Silencioso
7.	Fácil de utilizar
8.	Rápido

Tabla 2
Características técnicas

N°	Características técnicas
1.	Dimensiones del RAD4-23
2.	Potencia del motor
3.	Peso máximo del objeto
4.	Tasa de muestreo
5.	Relación de salida caja reductora
6.	Acabados superficiales
7.	Interfaz para el usuario
8.	Costo de elementos

Con los elementos de las tablas 1 y 2 se los analiza en una matriz de calidad, donde se obtuvo como resultado una lista de acuerdo a la importancia al momento de diseñar.



Figura 8 Matriz QFD

2.2.1.2 Análisis de resultados de la matriz QFD

Analizando la matriz despliegue de la función de la calidad, obtenemos los datos de la tabla 3, en la cual tenemos por orden de importancia al momento de diseño de las características técnicas, esto basado en los porcentajes de ponderación obtenidos.

Tabla 3
Resultados de la matriz QFD.

Orden de diseño	Características técnicas	Porcentaje de ponderación (%)
1.	Relación tren de engranes	17,8
2.	Densidad de la imagen	15,1
3.	Peso máximo objeto	15,1
4.	Costo elementos	14
5.	Potencia Motor	13,7
6.	Interfaz usuario	10,2
7.	Acabados superficiales	7,8
8.	Dimensiones del PEG-1	5,9

Se estece como la principal característica técnica la relación de salida de la caja reductora, donde inicia el diseño, en el que también relaciona la potencia del motor a seleccionar. Este elemento fue determinado como el más importante en el análisis del cual depende la velocidad y la posición del objeto.

La tasa de muestreo como segunda característica seguida por el peso máximo son las siguientes características de importancia. Estas 3 primeras características se relacionan entre sí y determinaran la potencia del motor, por lo que el diseño del PEG-1 inicia por la determinación de las especificaciones que dependen de estas características.

2.2.2 Especificaciones del PEG-1

Las especificaciones que se detallarán en este capítulo, las cuales parten de los resultados del tema 2.2.1.2, serán el punto de partida de diseño del PEG-1, estableciendo o identificando las especificaciones más importantes en los primeros momentos del proceso de diseño. Al final de este capítulo se construirá una tabla que muestra las especificaciones. Además las dimensiones están en último lugar en el orden de diseño, son esenciales para tener una idea del tamaño del mismo así que se trataran durante este capítulo.

La propuesta de este proyecto es realizar un prototipo de escáner giratorio, de manera que la primera especificación es sobre la mesa giratoria, donde una caja reductora de engranes permiten el movimiento giratorio por medio de un motor.

2.2.2.1 Relación tren de engranes

La relación en el tren de engranes es la que nos permitirá aprovechar de mejor manera la fuerza del motor y será la que determine la precisión del movimiento y la posición del objeto cuando se tomen los datos de su geometría. El objetivo del escáner es obtener el mejor detalle posible del objeto a digitalizar en 3D mínimo número de datos para evitar datos en exceso o redundantes que no aporten significativamente en la construcción digital.

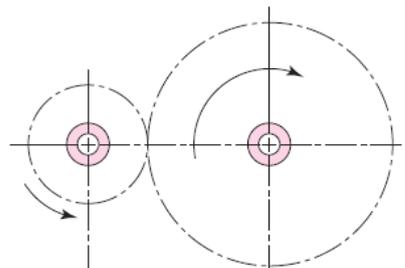


Figura 9 Calculo de la relacion del tren de engranes

Fuente: (J.E., 2006, pág. 999)

$$n_3 = \left| \frac{N_2}{N_3} n_2 \right| = \left| \frac{d_2}{d_3} n_2 \right| \quad [1]$$

Donde:

- n = Revoluciones por minuto (rpm).
- N = Número de dientes.
- d = Diámetro de paso.

El número máximo de capturas que se realizara en cada exploración de escaneo será de 360, una exploración o toma de datos por cada grado que conforma la mesa giratoria, entonces la mesa al realizar solo un giro entonces $n_2 = 1$. Así la relación para entre número de dientes será:

$$\frac{N_2}{N_3} = \frac{6}{1}$$

La relación planteada se basa para tener máximo un par de engranes (Shigley, 2012, pág. 903). Con este resultado también se determina entonces $n_3 = 6$, Además esta relación también es similar para los diámetros de paso útil para determinar los siguientes parámetros, analizados en el siguiente capítulo de su diseño.

2.2.2.2 Fuerza del motor

La fuerza o torque del motor, tiene directa relación con el peso del objeto. Este valor de fuerza aproximado nos ayudará a la selección del tipo de motor.

$$\tau = F \times r \quad [2]$$

Donde:

- τ = Torque
- F = Fuerza.
- r = Brazo de momento.

La fuerza total necesaria para mover el objeto de la mesa giratoria del PEG-1 se calcula realizando el diagrama de cuerpo libre, mostrado en la Figura 10 y realizando un análisis dinámico sencillo en el eje X. α

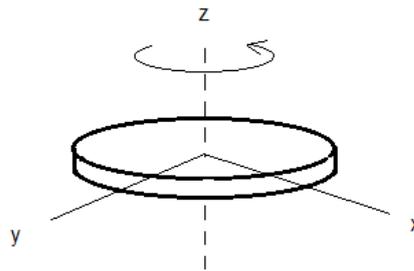


Figura 10 Diagrama cuerpo libre

Analizando el diagrama de cuerpo libre y siguiendo las dos primeras leyes de Newton aplicada a la rotación obtenemos las siguientes expresiones (Beer Jhonston, 2010, pág. 443) :

- Sumatoria de momentos respecto al eje z.

$$\Sigma M = I \alpha$$

$$M - M_u = I \alpha$$

$$M = \frac{1}{2} m r^2 * \alpha + \frac{2}{3} u_k P R$$

$$\alpha = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t_1 - t_0}$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} [rad/s]$$

Donde:

- M = Par momento o Torque
- M_u = Par que se opone al movimiento
- I = Inercia (disco).
- α = Aceleracion Angular.

$$I = \frac{1}{2} (2.5kg)(0.01m)^2$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{60} \frac{1}{360} [\text{rad/s}]$$

$$\alpha = \frac{2.9 * 10^{-4} - 0}{1 - 0}$$

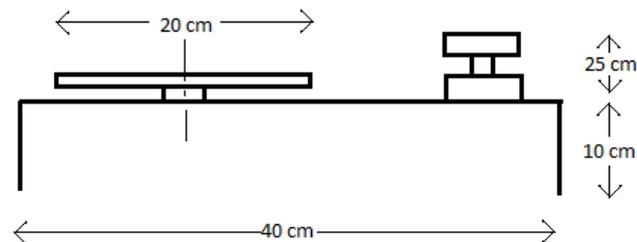
$$M = \frac{1}{2} (2.5\text{kg})(0.01\text{m})^2 * \left(2.9 * 10^{-4} \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right) + \frac{2}{3} 0.1 * 25\text{N} * 0.01\text{m}$$

$$M = 0.0166\text{Nm}$$

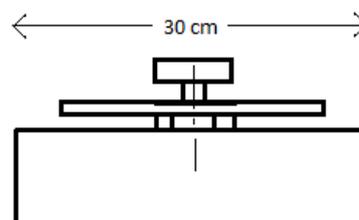
Este valor de torque para la selección del motor posteriormente.

2.2.2.3 Dimensiones PEG-1

Las dimensiones del objeto determinadas en el alcance, son las medidas iniciales en el diseño de prototipo, de manera que la altura del mismo está limitada por la medida del suelo a la parte media del objeto. Esta medida tiene un valor entre 35 cm como se muestra en la figura 11 (b). Tomando en cuenta todas estas consideraciones se decide dimensionar el robot (figura 11).



(a)



(b)

Figura 10 Dimensiones PEG-1 (a) Vista lateral (b) Vista frontal

2.2.2.4 Fijación de especificaciones

Una vez que hemos indicado las características más importantes del prototipo e indicado sus especificaciones, se elabora la tabla 4

Tabla 4
Tabla de especificaciones

Nº	Especificación
1	Sistema Giratorio
2	Giro con control independiente
3	Torque mínimo del motor 0.016 Nm
4	Número de Exploraciones máxima 360
5	Estructura resistente
6	Alto máximo 35cm
7	Ancho mínimo 30 cm
8	Largo aproximado 100 cm
9	Buen aspecto
10	Confiable
11	Silencioso
12	Fácil de Utilizar
13	Distancia para captura de datos entre el objeto y el sensor de 80cm
14	Visualización de la nube de puntos
15	Comandos para activación y desactivación de la toma de datos
16	No contamine el ambiente

2.2.2.4.1 Identificación de la función principal del sistema

La función principal del sistema identifica los parámetros de entrada y salida del mismo. Se considera como una caja negra, donde no importa lo que contiene el sistema, sino lo que se obtiene de él (figura 12).

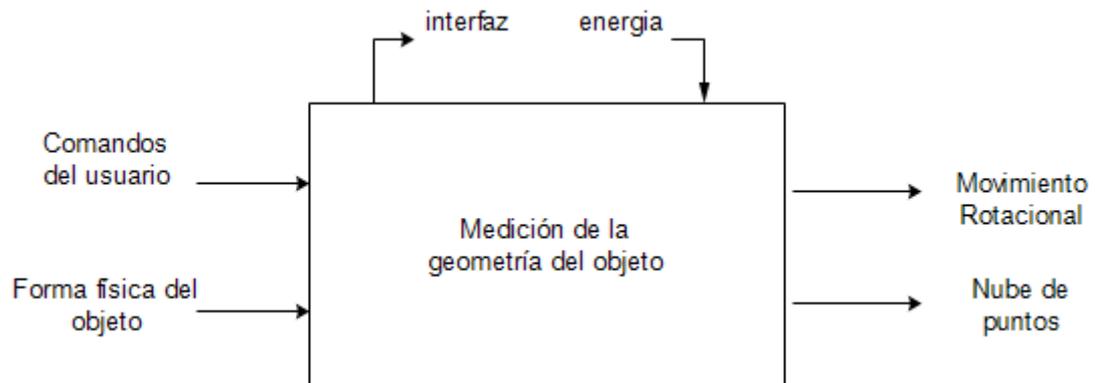


Figura 11 Caja negra de la función principal del sistema

2.2.2.4.2 Identificación de funciones secundarias

Determinada la función principal, se detallan las funciones secundarias (figura 13).

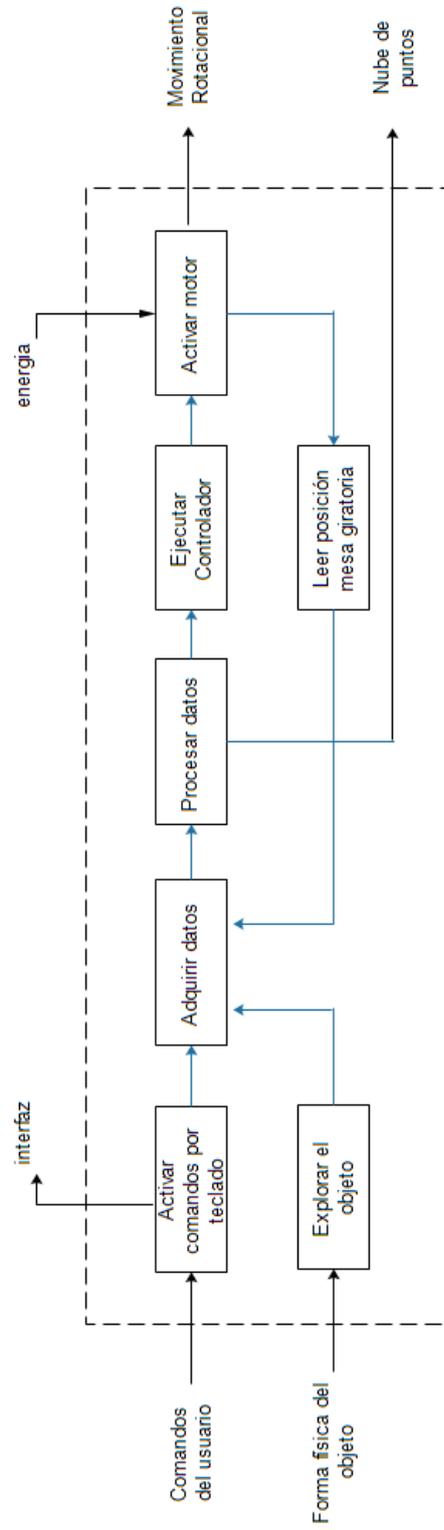


Figura 12 Identificación de subsistemas funcionales

CAPITULO 3

DISEÑO DEL ESCANNER 3D

3.1 Caracterización del sistema principal

Con el objetivo principal del proyecto se propone como solución un sistema giratorio accionado por un motor a un tren simple de engranes, el cual consta de un sistema de visión artificial, con una cámara de profundidad para reconocer la geometría del objeto.

3.2 Procedimiento de diseño

Aplicando la metodología de diseño planteada, se sigue el siguiente procedimiento:

- Caracterización del elemento principal.
- División del PEG-1 en sistemas.
- Diseño electrónico, eléctrico y mecánico de los elementos de cada sistema.
- Resultados del diseño.

Se toma en cuenta que existen elementos que definen características de otros, estos elementos son los que tienen mayor importancia dentro de las características técnicas principales (Tabla 3), mientras que existen otros que se pueden diseñar en paralelo debido a que no afectan las características de otros elementos.

3.3 Caracterización del elemento principal

Con la metodología de diseño propuesta, se inicia el diseño a partir de las características técnicas principales (Tabla 1). Así se desarrolla el diseño del tren de engranes.

3.3.1 Alternativas de tren de engranes

Los sistemas de transmisión por engranes son los encargados de transmitir fuerza y potencia, en el proyecto toman la función de determinar la posición de la figura durante el giro de 360 grados, aportando posteriormente para la reconstrucción de las coordenadas tridimensionales de los puntos a medir. El tren de engranes consta de un piñón que impulsa un engrane que en un primer momento se determinó su relación aproximada para empezar el diseño en el subtema 2.2.2.1. Entre los engranes existen varios tipos básicos de los cuales existen diferencias constructivas, configuración y de aplicaciones (Joseph E Shigley, 2010, pág. 999) (tabla 5).

Tabla 5
Comparación de los diversos tipos de engranes basicos

	Rectos	Helicoidales	Cónicos	Tornillo sinfín
Dientes del engrane respecto al eje	Recto	Inclinados	Rectos/ Inclinados	Alrededor de un eje
Orientación entre ejes	Paralelo	Paralelo ó Cruzado	Intersecado	Cruzado
Velocidades de rotación	Bajas a medianas	Altas	Bajas/Altas	Altas
Fuerza aplicada	Media	Alta	Media/Alta	Alta
Otras características	Ruidosos	Silencioso, duraderos	Ruidosos/ Silenciosos	Gran desgaste

3.3.2 Alternativa seleccionada

La mesa giratoria describe 360 grados a una tasa de un grado por cada exploración. Se conoce que los engranes no están expuestos a grandes esfuerzos, ni a velocidades altas lo que permite seleccionar engranes rectos de la tabla 5, para satisfacer las necesidades.

3.4 Sistemas que conforman el PEG-1

El contexto general del diseño del PEG-1 se dividió en 3 sistemas principales:

- Sistema múltiples ángulos.
- Medición, Control y Alimentación.
- Reconstrucción.

Cada sistema tiene elementos que forman parte del diseño tanto eléctrico, electrónico como mecánico. En este capítulo se mostrarán los sistemas primero de manera general para después desarrollarlos dentro del diseño, notándose que no son sistemas independientes.

3.4.1 Sistema múltiples ángulos.

Este sistema es el encargado del movimiento de la mesa giratoria y del soporte para todos los elementos. Dentro de este sistema se encuentra el tren de engranes y el accionamiento del motor.

3.4.1.1 Caracterización

El sistema múltiples ángulos conformado por:

- Tren de engranes
- Motor.
- Controlador de motores.
- Estructura.
- Mesa giratoria.

Estos elementos se relacionan como se muestra en la Figura 13.

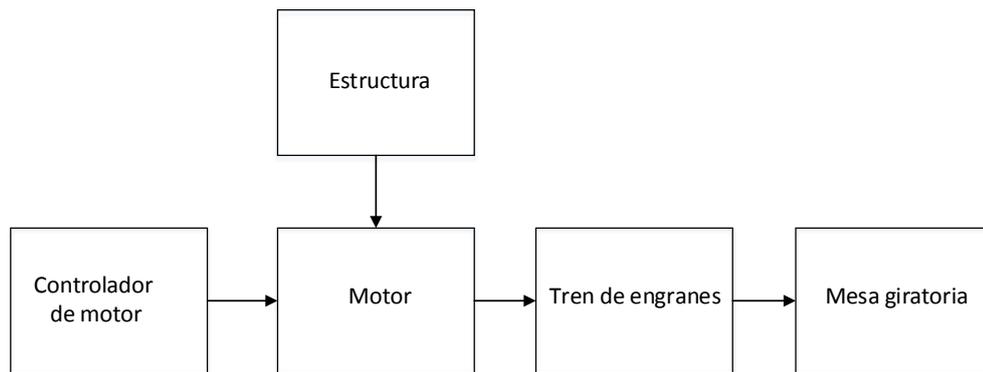


Figura 13 Diagrama de bloques del sistema múltiples ángulos.

El controlador de motor maneja la posición y sentido de los motores, estos transmiten el par suficiente al tren de engranes para mover la mesa giratoria. Además se tiene la estructura principal la cual está conectada al motor y el tren de engranes.

3.4.1.2 Elementos

A continuación se muestran los elementos que conforman el sistema múltiples ángulos enfocados tanto desde el punto de vista de diseño electrónico y mecánico. Se trata primero el diseño del motor por ser el elemento principal.

- Diseño eléctrico.
 - Motores.
- Diseño electrónico.
 - Controlador de motores.
- Diseño mecánico.
 - Tren Engranes
 - Estructura principal.
 - Mesa giratoria.
 - Sujeción del motor.
 - Sujeción del las fuentes.

3.4.2 Sistema de medición, control y alimentación

Este sistema es el encargado de explorar el objeto, medir su posición por pixel con respecto al sensor y controlar los grados de giro.

3.4.2.1 Caracterización

El sistema de medición, control y alimentación está conformado por:

- Dispositivo de visión artificial.
- Microcontrolador
- Controlador de motores
- Fuentes de energía.

Estos elementos están relacionados (ver Figura 14).

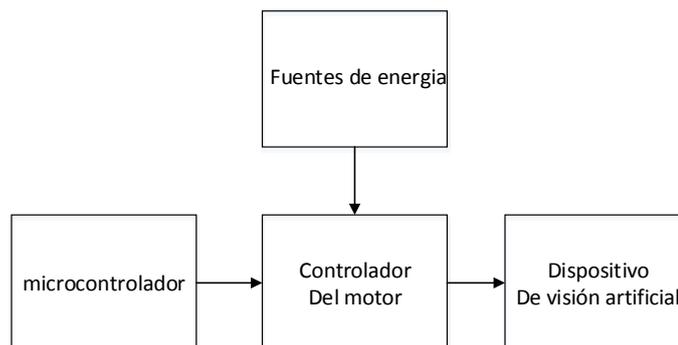


Figura 14 Diagrama de bloques del sistema de medición, control y alimentación.

El dispositivo de visión artificial realiza la exploración del objeto y los datos al computador. El computador se encarga de recibir los datos para procesarlos en el siguiente paso. Al término del envío de datos se envía las órdenes al microcontrolador y este se encarga de manejar el controlador del motor para realizar el movimiento giratorio.

3.4.2.2 Elementos

Los elementos que conforman el sistema de seguimiento y control enfocados tanto desde el punto de vista de diseño electrónico y mecánico se muestran a continuación:

- Diseño electrónico.
 - Dispositivo de visión artificial.
 - Microcontrolador.
 - Controlador de motores.
 - Sensores
- Diseño eléctrico
 - Fuentes.
- Diseño mecánico.
 - Sujeción del dispositivo de visión artificial.
 - Protección del dispositivo de visión artificial.
 - Sujeción del microcontrolador.
 - Sujeción del controlador de motores.
 - Sujeción de la placa electrónica.

3.4.3 Sistema de reconstrucción

Este sistema se caracteriza por ser la parte central del todo el proceso ya que permite el desarrollo del objetivo digitalmente. Posteriormente a la adquisición de los datos, la distancia por pixel del objeto al dispositivo de visión artificial en cada exploración, es necesario almacenar estos datos, para evitar pérdida de información, el computador guardará la posición y el ángulo de exploración.

3.4.3.1 Caracterización

El sistema de reconstrucción está conformado por:

- Computador.

- Software.
- Microcontrolador.
- Sensores.
- Controlador de motor.
- Dispositivo vision artificial

Estos elementos se relacionan (Figura 15).

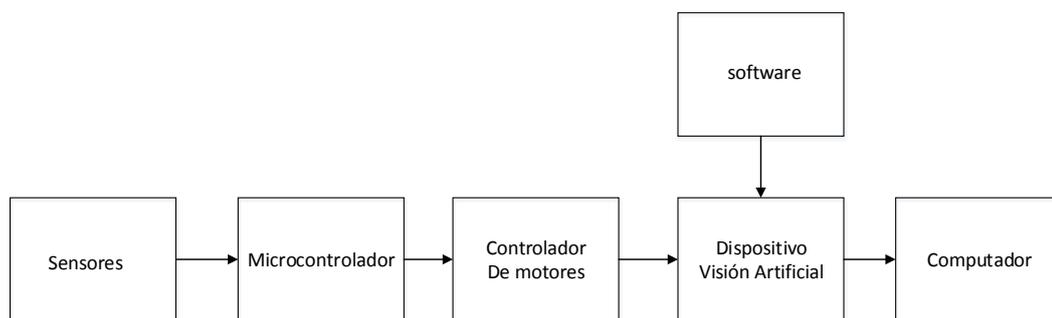


Figura 15 Diagrama de bloques del sistema de detección.

Los sensores enviarán la medición del ángulo al microcontrolador, y de allí enviadas al computador para almacenar el ángulo con las medidas enviadas desde el dispositivo de visión artificial. Almacenados los datos en el computador se envía la señal para la siguiente exploración y cambio de ángulo en la mesa giratoria y de allí la señal del microcontrolador para manejar el motor.

3.4.3.2 Elementos

Este sistema es puramente manejado por software e integra el sistema de medición, control y fuentes en sus diseño electrónico.

- Diseño electrónico.
 - Computador
 - Placa electrónica para conexión de elementos.

El microcontrolador y dispositivo de visión artificial son tratados en el diseño del sistema medición, control y alimentación.

3.5 Diseño de sistemas

En este capítulo se desarrolla el diseño eléctrico, electrónico y mecánico de cada uno de los elementos dentro de cada sistema. Para el diseño de los diferentes sistemas tomamos como referencia la terminología de la lista a continuación:

- I_M : corriente del motor.
- i : coeficiente de relación de la caja reductora.
- L : longitud de las platinas.
- a : ancho de las platinas.
- e : espesor de las platinas.
- E : módulo de elasticidad.
- ρ : densidad.
- I : área momento de inercia.
- F : fuerza
- τ : torque
- m_B : masa de la batería grande.
- m_K : masa del Kinect.

3.5.1 Diseño del sistema múltiples ángulos

El diseño del sistema múltiples ángulos se desarrolla por el elemento principal, tren de engranes, ya que siguiendo la metodología de diseño este es el elemento más importante y que definirá características de otros elementos tanto de este sistema como de los otros.

3.5.1.1 Diseño mecánico

El diseño mecánico del sistema motriz y estructura consta de:

- Tren Engranés.
- Estructura principal.
- Mesa Giratoria.
- Sujeción del motor.
- Sujeción del las fuentes.

3.5.1.1.1 Tren de engranes

La selección del tren de engranes se basa en las características necesarias mostradas en el tema 2.2.2.1 y 2.2.2.2, mostrando la velocidad, torque y la relación del número de dientes del engranén. Falta por establecer el número de dientes de los engranes.

Continuando con el diseño se establecen los parámetros del ángulo de presión de 20° entre engranes y 13 como el número de dientes mínimo para el piñón sin causar interferencia (Joseph E Shigley, 2010, pág. 660). Basado en la ecuación 1 el número de dientes del segundo engrane será 78^1 .

El tren de engranes encontrado cumple con las condiciones y características anteriores impuestas a un relación de 1 a 7 variando los dientes del engrane en 12 y 84 respectivamente.

¹ Número mínimo de dientes del piñón Para evitar interferencia entre un piñón de profundidad total y una cremallera de profundidad total. (Norton, 2009)

Ángulo de presión (grados)	Número Mínimo De Dientes
14.5 32	14.5 32
20 18	20 18
25 12	25 12

Tabla 6
Especificaciones de los engranes

	Engrane2	Engrane3
Tipo de engrane	Engrane Recto	Engrane Recto
Paso Diametral	24	24
Angulo Presión	20	20
Ancho de la cara	6.35 mm	6.35 mm
Diámetro de paso	12.7 mm	63.5 mm
Modulo	1.05	1.05
Numero de dientes	12	60
Torque de falla	4.5 Nm	22.5 Nm
Fuerza		
Material	Acetal	Acetal
Masa	5g	10g

FUENTE: (System, VEX, 2016)

3.5.1.1.2 Estructura principal

Antes de realizar ciertos diseños de espacios y formas de la estructura principal es necesario conocer que el dispositivo de visión artificial es el sensor Kinect, el cual se trata en el capítulo 4.

La estructura principal es el elemento donde se define los tamaños y espacios para colocar todos los elementos del prototipo, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Altura y espacio adecuado del soporte para el dispositivo de visión artificial.
- Espacio adecuado para colocar conexiones ,motor y la caja de engranes.

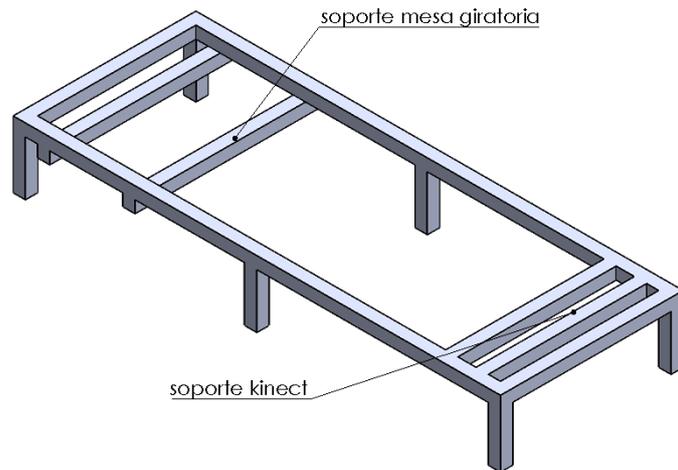


Figura 16 Estructura soporte

El diseño de la Figura 16 Estructura soporte muestra donde se apoya la mesa giratoria y todo el sistema eléctrico y electrónico en conjunto con el motor. Además el soporte del sensor Kinect (Dispositivo de visión artificial tratado en el capítulo 4) se ubica de acuerdo a su propósito y las medias especificadas.

3.5.1.1.2.1 Simulación de deformación, esfuerzos y factor de seguridad de la estructura principal

Dimensionada la estructura principal, se somete a análisis de esfuerzos, deformación. Con la ayuda del programa *SolidWorks®*, utilizando la herramienta *SolidWorks Simulation*. Para realizar esta simulación es necesario definir el material, aplicar las cargas, definir las geometrías fijas.

La estructura estará sometida a varias cargas, en el área de soporte de la mesa giratoria está sometida al peso de mesa giratoria, base, engranes, motor y el sensor giratorio, adicionalmente los circuitos electrónicos.

En el área que se apoya el sensor Kinect, actúa también la carga del peso máximo del objeto, sensor Kinect y del cobertor. De igual manera, la estructura solo presenta cargas puntuales.

Para el cálculo de la carga en el área de soporte de la mesa giratoria tenemos la siguiente expresión:

$$m = m_o + m_{mg} + m_{bm,g} + m_e + m_m + m_s + m_{ce} \quad [3]$$

Donde:

Masa objeto $m_o = 2,5 \text{ Kg}$

Masa mesa giratoria $m_{mg} = 0,136 \text{ Kg}$

Masa base mesa giratoria $m_{bm,g} = 0,140 \text{ Kg}$

Masa engranes $m_e = 0,02 \text{ kg}$

Masa motor $m_m = 0,350 \text{ Kg}$

Masa Sensor $m_s = 0,02 \text{ Kg}$

Masa circuitos eléctricos $m_{ce} = 0,025 \text{ Kg}$

Lo que nos da un resultado de:

$$m = 3,6 \text{ Kg}$$

Para el cálculo de la carga en el área soporte Kinect tenemos la siguiente expresión:

$$m = m_k + m_c \quad [4]$$

Donde:

Masa kinect $m_k = 0,2 \text{ Kg}$

Masa cobertor $m_c = 0,05 \text{ Kg}$

Lo que nos da un resultado de:

$$m = 0,25 \text{ Kg}$$

Habiendo calculado las cargas a las que va a ser sometida la estructura se puede realizar la simulación del análisis de esfuerzos tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Geometrías fijas: puntos de sujeción en la parte inferior de la estructura.
- Masa del soporte mesa giratoria: 3,6 Kg.
- Masa del soporte kinect : 0,25 Kg.

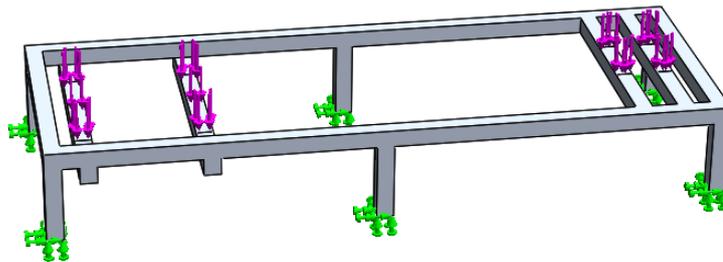


Figura 17 Geometrías fijas y cargas aplicadas a la estructura inferior.

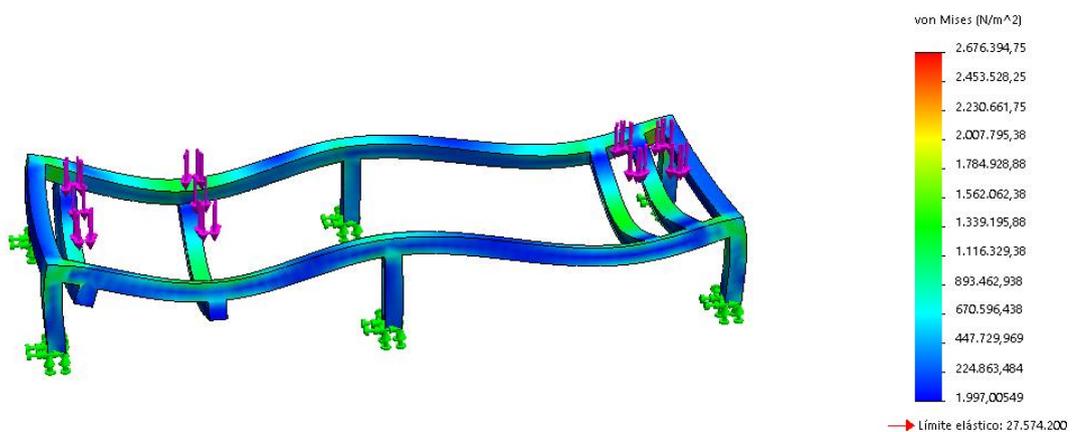


Figura 18 Resultado del análisis de esfuerzos de la estructura.

Teniendo el resultado del análisis de esfuerzos de la estructura se realiza el análisis de desplazamiento con diferentes materiales, según el peso total de la estructura y los resultados de los análisis se escoge la mejor opción para el material de la estructura inferior (Tabla 7). Este análisis solo se realizará para la estructura inferior por ser la soporta todas las cargas.

Tabla 7
Tabla comparativa de materiales para la estructura.

Material	Masa (Kg)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad x1000	Costo (dólares/6m)
Hierro Fundido	6,1	0.009	63	10.45
Aluminio	2,3	0.004	10	30.26
Acero inoxidable	6,5	0.009	64	24.30
PLA	1,1	0,616	28	6.05

En el análisis de desplazamientos y de factor de seguridad realizados, el material con mejores propiedades, peso y costo relativamente aceptable es el acero inoxidable. Por lo tanto se lo elige como el material a usar para la estructura inferior. Se decide utilizar un perfil cuadrado de 1/2" 1.5mm de espesor. Los resultados del análisis de desplazamientos (Figura 19).

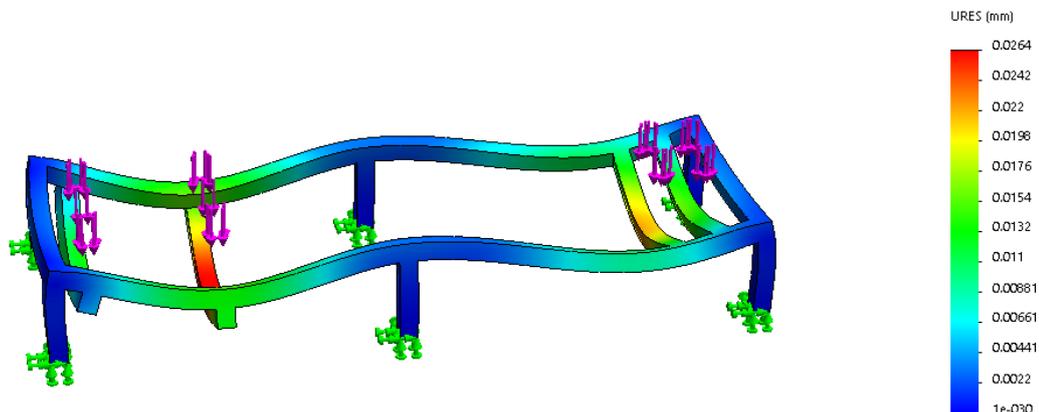


Figura 19 Resultado del análisis de desplazamientos de la estructura.

Como se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la deformación máxima es de 0.006mm.

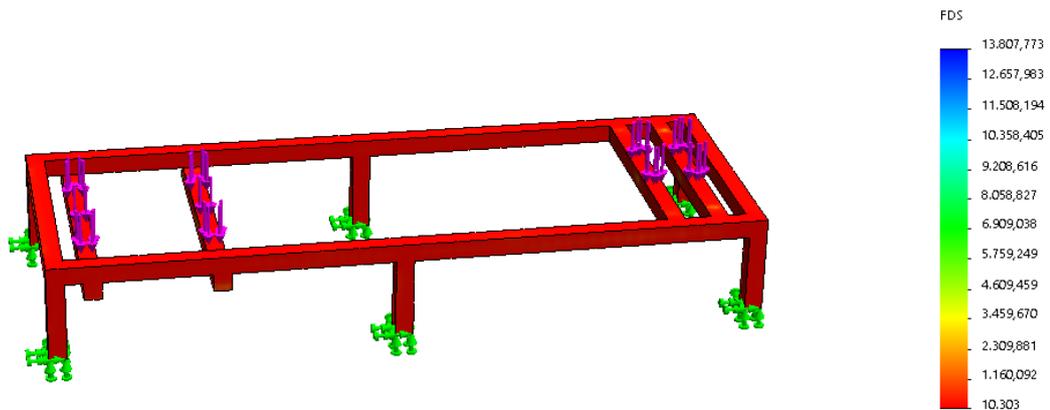


Figura 20 Resultado del análisis de factor de seguridad de la estructura.

3.5.1.1.3 Mesa giratoria

En el diseño de la mesa giratoria considera la ubicación del sistema de engranes para la reducción de la velocidad angular y agujeros pasantes para sujetadores y para tapa como se muestra en el plano se muestra en los platos. (Anexo A)

En la Tabla 6 Especificaciones de los engranes muestra el diámetro de paso de los dos engranes usados como base para establecer el máximo diámetro en milímetros (ver Figura 21 Base de la mesa giratoria.), dentro del área en la que albergara a los engranes.

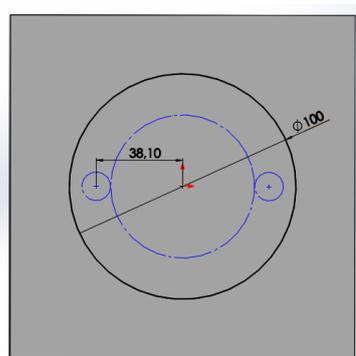


Figura 21 Base de la mesa giratoria.

Los engranes están alojados en un sistema hermético para evitar fuga del aceite lubricante. El espesor esta hecho en función del ancho de cara de los engranes. Las profundidades son de 7mm y 2,5mm respectivamente.

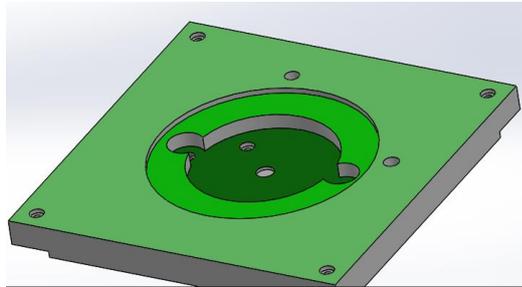


Figura 22 Profundidades internas.

Los agujeros de anclaje para otros componentes son en M3 con cabeza para llave alen exagonal oculta. Los agujeros externos sirven de anclaje a la estructura.

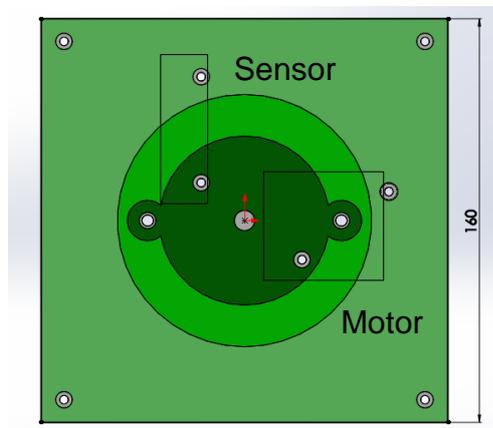


Figura 23 Agujeros de anclaje para el motor, sensor giratorio y estructura.

La mesa giratoria tiene un radio de 110 mm para objetos de 220mm máximo y sellar el alojamiento de los engranes.

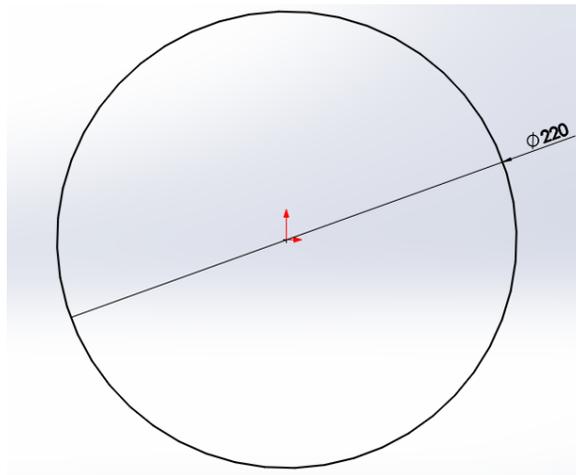


Figura 24 Diseño mesa giratoria.

La mesa giratoria también muestra dos puntos de anclaje para el piñón con tornillos M3, las medidas y distancias son tomadas del catálogo del fabricante VEX Robotics Design System.

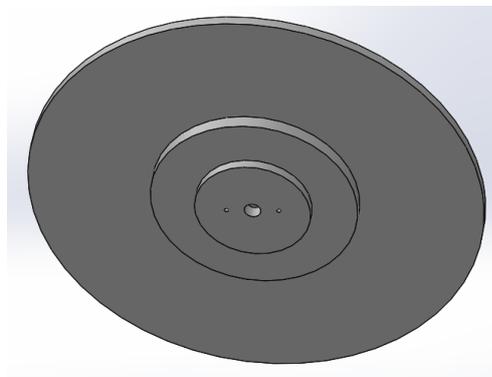


Figura 25 Mesa giratoria

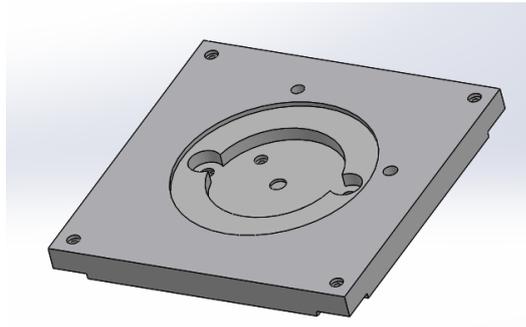


Figura 26 Base de la mesa giratoria

3.5.1.1.3.1 Análisis de mesa giratoria y su base.

Con el análisis realizado a la estructura mostró la posibilidad de realizar las piezas en un polímero plástico facilitando su construcción. Se analizó estas piezas por ser transmisoras del peso hacia la estructura. Los datos que se requiere para calcular la deformación máxima son las fuerzas a las que están sometidas y las distancias entre apoyos. La masa total se obtiene del objeto y la mesa giratoria.

Para la mesa giratoria:

$$m_{mg} = m_{objeto} \quad [5]$$

$$m_{mg} = 2.5 \text{ Kg}$$

Para la base mesa giratoria:

$$m_{bm} = m_{mg} + m_{objeto} \quad [6]$$

$$m_{bm} = 2,636 \text{ Kg}$$

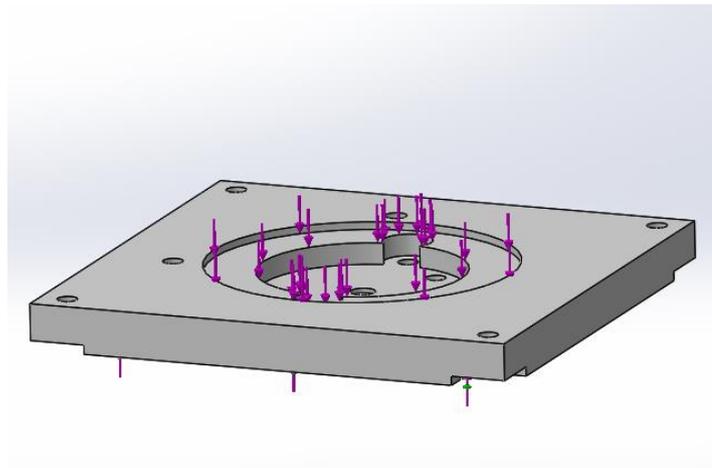


Figura 27 Geometrías fijas y fuerzas aplicadas a la base mesa giratoria

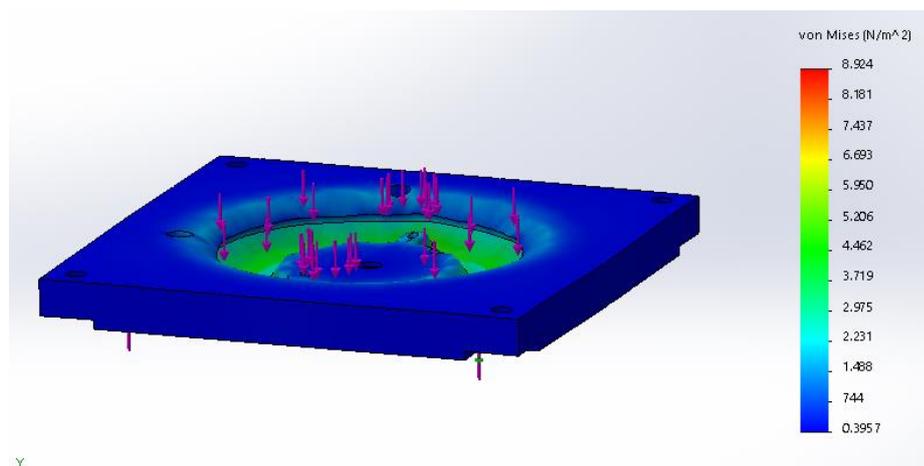


Figura 28 Resultados del análisis de esfuerzos en base mesa giratoria

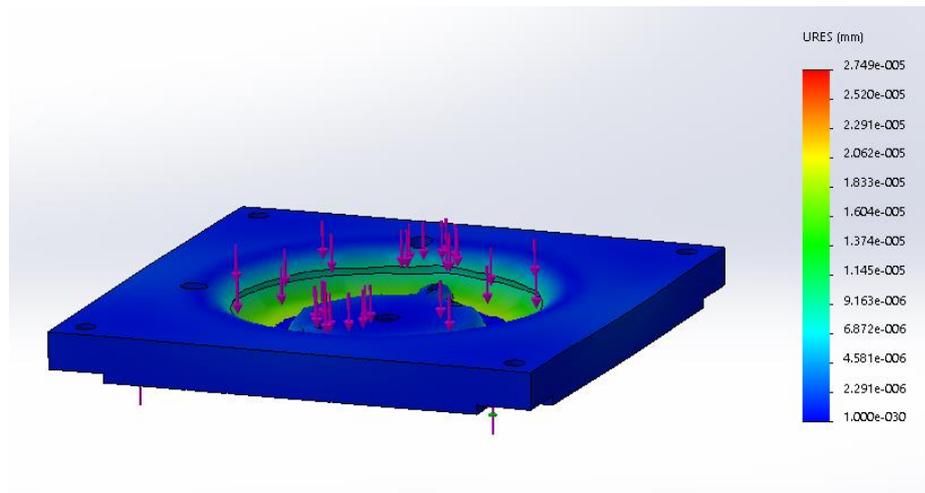


Figura 29 Resultados del análisis de desplazamientos en base mesa giratoria

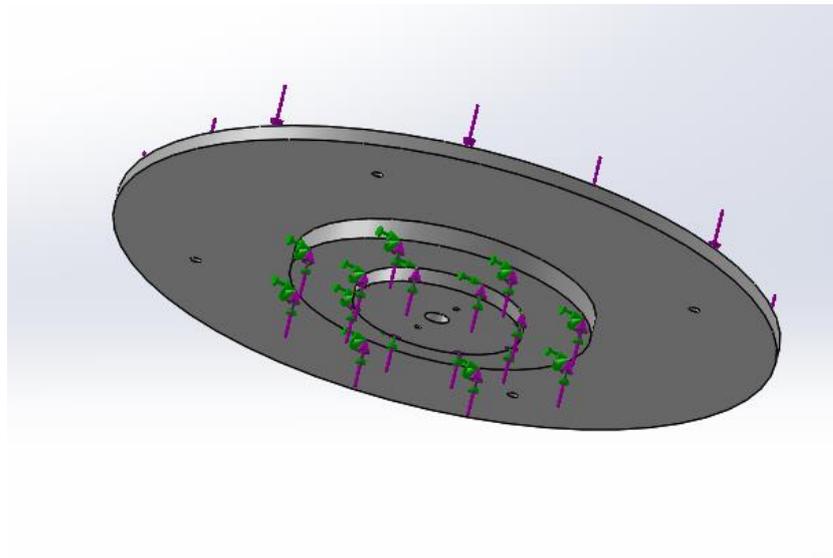


Figura 30 Geometrías fijas y fuerzas aplicadas a la mesa giratoria

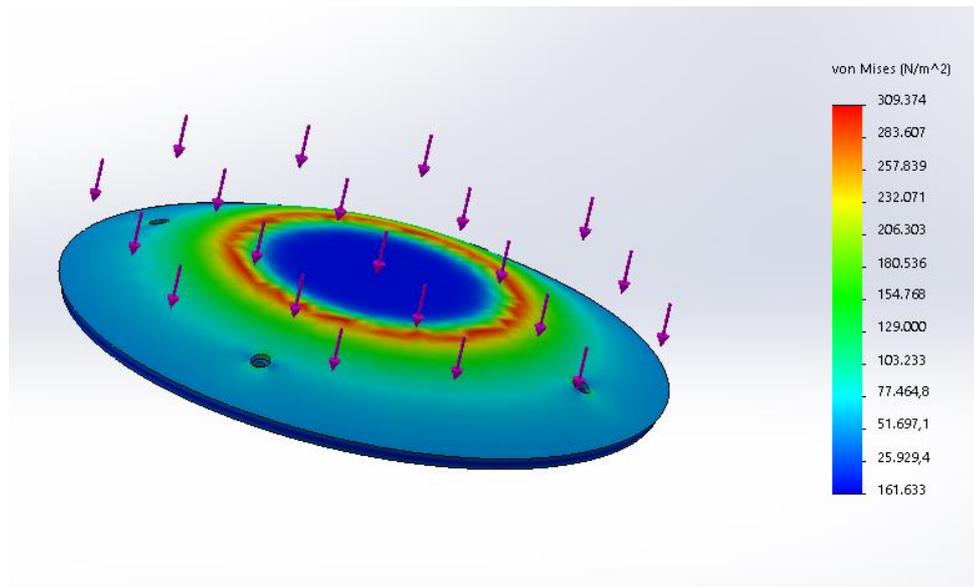


Figura 31 Resultados del análisis de esfuerzos en la mesa giratoria

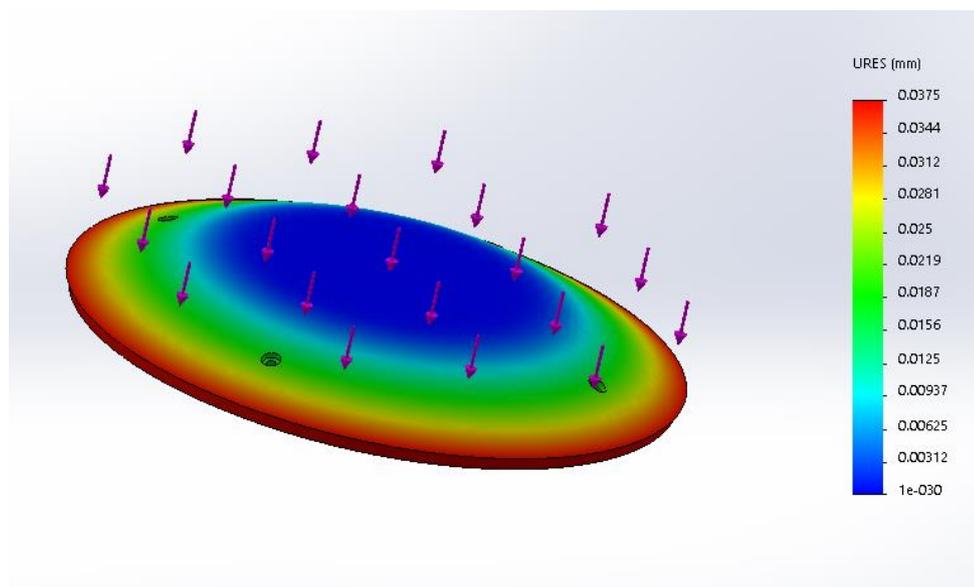


Figura 32 Resultados del análisis de desplazamientos en mesa giratoria

Como se observa (ver Figura 29 Resultados del análisis de desplazamientos en base mesa giratoria (Figura 29 y Figura 32) la deformación máxima no sobrepasa 0,5mm y el esfuerzo es mínimo para las cargas analizadas.

Adicionalmente esta herramienta computacional nos permite probar el material con el cual se fabrica y determina que las cargas a soportar no afectan el desempeño de las piezas.

3.5.1.1.4 Sujeción del motor.

El motor desarrolla toda la fuerza necesaria para dar movimiento a la mesa giratoria y se hace necesario que se encuentre anclado a ella aportando rigidez a su sujeción.

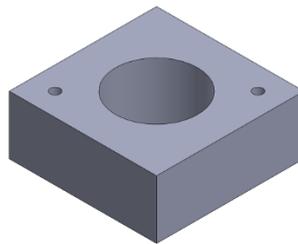


Figura 33 Expansión para sujetar el motor.

3.5.1.1.5 Sujeción del sensor.

Se crea una pieza plana para anclar el sensor giratorio.

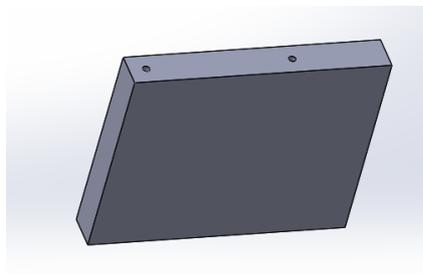


Figura 34 Soporte para sujetar el sensor giratorio.

3.5.1.2 Diseño eléctrico

3.5.1.2.1 Motor

La selección del motor se basa en la característica de par, mostrado en el capítulo 2.2.2.2. El par calculado es de 0.0166 N-m para mover el tren de engranes y la mesa giratoria.

El motor que cumple la característica es motor a pasos.

Tabla 8
Características motor a pasos

Características	KH42 JM2B01
Tipo	Unipolar
Angulo de paso	1.8°
Torque	0.197 N-m
Resistencia Devanado	3.1 Ω
Corriente	1.3 A
Voltaje	4.29 v
Masa	350g

FUENTE: (Coorporation, 2016)

3.5.1.3 Diseño electrónico

3.5.1.3.1 Controlador de motores

La tabla 8 indica la corriente del motor 1.3 A y el voltaje de alimentación es de 4.3 VDC. Para estos valores es necesario un circuito de potencia y es necesario que cumplan con los siguientes requerimientos:

- Corriente y voltaje mínimos del motor.
- Control de cambio de giro.
- Sensor de corriente por cada motor.
- Protección de sobre corriente.
- Protección de sobre voltaje.
- Protección para cortocircuitos.
- Protección de contracorriente.

Debido al control de cambio de giro que se requiere es necesario utilizar una configuración de puente H completo. Existen diseños comerciales de controladores a menor costo que un diseño propio y elementos que lo constituyen.

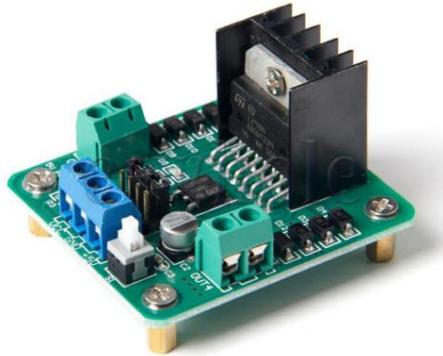


Figura 35 DC controlador motor a paso doble puente H escudo junta L298N para Arduino

FUENTE: (Drok Productos, 2016)

Basados en los criterios anteriores, el puente H dual tiene un diseño que se acopla con Arduino (El microcontrolador seleccionado) del cual se habla en el capítulo 3.5.2.1.2. Adicionalmente este puente H dual tiene sus propias librerías de programación para Arduino y las siguientes características mostradas.

- El uso de L298N hecho por la compañía STMicroelectronics como el chip de control, el módulo tiene características tales como la capacidad de conducción fuerte, bajo valor calórico y fuerte capacidad anti-interferencia.
- Circuito integrado 78M05, podrá alimentarse a través de la alimentación de la unidad.
- Ampliación de la capacidad del filtro de capacitancia, diodo de protección flujo posterior, más estable y fiable.
- Doble unidad de puente H
- Chip de L298N

- 5V Tensión de lógica
- Tensión de transmisión 5V-35V
- Lógica actual 0 mA-36 mA
- Conducir 2A actual (MAX solo puente)
- Temperatura de almacenamiento -20 °C a + 135 °C
- Máxima potencia de 25W
- Tamaño: 55x50x27mm
- Masa 10g

3.5.2 Diseño del sistema de medición, control y alimentación

Tal como se trató en el tema 3.4.2.2 el diseño del sistema de medición, control y alimentación empieza por el dispositivo de visión artificial para después realizar la selección del microcontrolador y del computador.

3.5.2.1 Diseño electrónico

El diseño electrónico del sistema de seguimiento y control consta de:

- Dispositivo de visión artificial.
- Microcontrolador.
- Controlador de motores.
- Sensores

3.5.2.1.1 Dispositivo de visión artificial

La justificación del uso y selección del dispositivo de visión artificial se lo abarca en el capítulo 4. En este capítulo de diseño electrónico se describirán las características del Kinect ya que estas son las que definen las especificaciones mínimas del computador y además las que se utilizarán en el sistema de alimentación.

Las mayores prestaciones requeridas para el computador vienen dadas por el software de desarrollo de Microsoft Kinect para Windows. Los requerimientos mostrados a continuación son los necesarios para utilizar el paquete de desarrollo Microsoft Kinect para Windows SDK 1.5.2. (Microsoft, Microsoft Kinect para Windows SDK V1.5.2, 2016):

- Procesador de 32bits o 64bits.
- Procesador Dual-Core de 2.66-GHz o superior.
- USB 2.0 dedicado.
- 2GB de RAM
- Sistema operativo Windows 7 o Windows 7 Embebido Estándar.

Este dispositivo tiene un consumo de corriente aproximado de 1.08A y un voltaje de 12V. Estos datos fueron obtenidos al revisar el transformador que viene con el cable de conexión eléctrica del dispositivo (figura 37).



Figura 36 Características del adaptador de corriente de Microsoft Kinect para Windows.

3.5.2.1.2 Microcontrolador

El microcontroladores se puede comprar en versiones de montaje superficial y through-hole (A través de orificio) dependiendo del modelo. Para lo cual es necesario diseñar un PCB donde consten los diferentes elementos para el funcionamiento del microcontrolador, como el cristal, botón de reset, fuente, etc.

Además la comunicación entre el computador y el microcontrolador necesita de un circuito adicional para su funcionamiento.

Para facilitar y agilizar tanto el diseño como la programación se opta por utilizar una placa Arduino (Arduino, 2016), la cual tiene todos los elementos antes explicados. Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

Es necesario recalcar además que al utilizar Arduino, las librerías para diferentes dispositivos ya están creadas por otros usuarios en una comunidad de código abierto, lo que facilita al resto de usuarios el uso de una gran variedad de sensores, actuadores, pantallas, audio, etc. Al utilizar una placa Arduino podremos dedicar el tiempo de programación directamente a las funciones del PEG-1 y no a la programación de sensores y manejo del puente H.

Debido al número de entradas y salidas digitales necesarias por el uso de sensores y de los pines necesarios para el manejo del puente H, la placa Arduino que se adapta a las necesidades del RAD4-23 es el Arduino NANO, (Tabla 9).

Tabla 9
Especificaciones Arduino NANO.

Característica	Valor o capacidad
Microcontrolador	ATmega168 o ATmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada(limites)	6-20V
Pines de entrada y salida digitales	14(De los cuales 6 proveen salidas de PWM)
Entradas analógicas	8
Corriente DC por pin de entrada y salida	40mA
Corriente DC para pines de 3.3V	50mA
Memoria FLASH	16KB(ATmega168) o 32KB(ATmega328) de los cuales 2KB son usados por el bootloader
SRAM	1KB(ATmega168) o 22KB(ATmega328)
EEPROM	512bytes(ATmega168) o 1KB(ATmega328)
Velocidad de reloj	16MHz
Peso	5g

FUENTE: (Arduino, 2016)

El Arduino NANO puede ser alimentado desde la conexión USB o a través de una fuente externa, y la selección de la fuente es automática por parte del Arduino. Por esta razón se opta por utilizar como alimentación el puerto USB de la computadora para evitar el diseño de una fuente externa. En la Figura 37 se muestra una imagen del Arduino Mega 2560 R3.



Figura 37 Arduino NANO.

FUENTE: (Arduino, 2016)

En el Anexo B se muestra el diagrama esquemático del Arduino NANO.

3.5.2.1.3 Controlador de motores

El diseño del controlador de motores se trató anteriormente en el tema 3.5.1.3.1 ya que este forma también parte del sistema motriz y estructura.

3.5.2.1.4 Sensores

Para el funcionamiento del PEG-1, una de las funciones que este debe realizar es la detección del ángulo de giro para establecer datos correctos. Por lo que se debe añadir sensores que nos ayuden a detectar esta variable.

Tabla 10
Selección sensores

Característica	Inductivo	Fotoeléctrico	Resistivo	Selección
Disponibilidad en el mercado	Escaso	Escaso	Buena disponibilidad	Resistivo
Rango de reconocimiento	Bajo	Alto	Alto	Resistivo Fotoeléctrico
Velocidad de reacción	Rápida	Rápida	Rápida	Fotoeléctrico
Angulo de Giro	Muy bajo	Bajo	Medio	Resistivo

En la anterior tabla los sensores resistivos ofrecen mejor rango para la detección de la posición. El sensor resistivo a utilizar es *Analog Rotation Sensor V2 (DFR0058)*, (ver Figura 38 El sensor resistivo DFR0058.).



Figura 38 El sensor resistivo DFR0058.

FUENTE: (DFRobot, 2016)

Características

- Arduino compatible
- Voltaje operación: +3.3-5V DC
- Tipo de señal: analog signal
- Dimensiones: 50x22mm
- Desplazamiento angular: 360 grados por 10 vueltas.

- Masa: 20g

Adicionalmente el sensor será acoplado a los engranes para determinar la posición.

3.5.2.2 Diseño eléctrico

3.5.2.2.1 Diseño fuentes

En el tema 3.5.2.1.2 y el 3.5.2.1.1, se especifica tanto el uso de la fuente del microcontrolador y del dispositivo de visión artificial. Así el diseño de una fuente de energía será solo para alimentar el motor a pasos y por ende el su controlador.

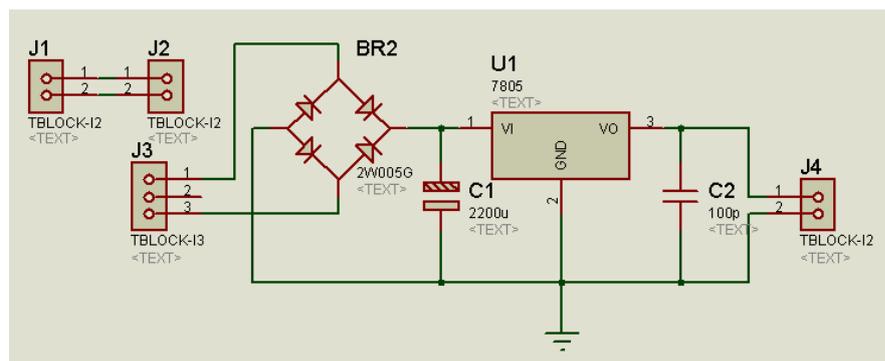


Figura 39 Fuente DC para el motor a pasos

La fuente mostrada de 5v a 1A cumple con los requerimientos del motor en la Tabla 8 y el puente H en el tema 3.5.1.3.1, funciona correctamente a estos valores. Se opta por una fuente comercial que proporcione estos valores.

3.5.2.3 Diseño mecánico

El diseño mecánico del sistema de seguimiento y control consta de:

- Sujeción del dispositivo de visión artificial.
- Protección del dispositivo de visión artificial.
- Sujeción del microcontrolador.
- Sujeción del controlador de motores.
- Sujeción de la placa electrónica.

3.5.2.3.1 Sujeción del dispositivo de visión artificial

La sujeción del dispositivo de visión artificial estará libre en un sitio determinado, (ver figura 17), el prototipo no se desplaza y no provoca ningún movimiento en el sensor.

3.5.2.3.2 Protección del dispositivo de visión artificial

El dispositivo Microsoft Kinect es un elemento delicado por lo que se debe tener ciertas precauciones; como el mecanismo interno de enfoque del Kinect ubicado dentro de la base en la parte inferior no soportar ninguna carga externa.

El cobertor de acrílico (Figura 40 Cobertor para el dispositivo Microsoft Kinect.). El montaje del protector a la plancha de soporte del Kinect se lo monta utilizando pernos M3. El montaje se muestra en los planos de ensamble con sus dimensiones.

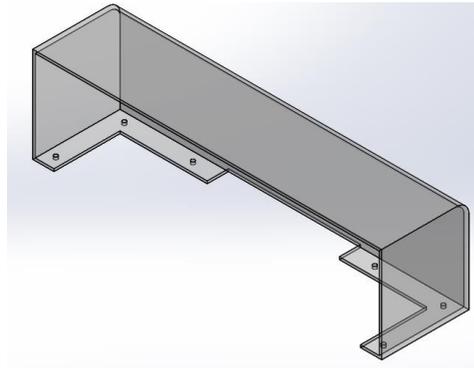


Figura 40 Cobertor para el dispositivo Microsoft Kinect.

3.5.2.3.3 Sujeción del microcontrolador

El Arduino Nano posee unos terminales para montarlo sobre una placa electrónica, lo que posibilita conexión de elementos que se diseña en el tema 3.5.2.1.2..Esto debido a que se desea que en la placa de conexión estén ubicadas tanto las fuentes, controlador y comunicación entre el computador, motores y sensores.

3.5.2.3.4 Sujeción del controlador de motores y placa Electrónica.

La sujeción del controlador de motores y la placa electrónica se montaron en una base de acrílico en donde todos los componentes electrónicos estén juntos.

3.5.3 Sistema de reconstrucción

En la última etapa, con la recopilación de datos por medio del prototipo, está el tratamiento de estos datos que después de ser almacenados se reconstruye el objeto digitalmente en una nube de puntos y finalizar con un archivo CAD.

Estos últimos pasos se especifica los requerimientos técnicos, pero el desarrollo matemático se explica en el capítulo 6.

3.5.3.1 Diseño electrónico

3.5.3.1.1 Computador

Para el tratamiento de datos el computador debe cumplir con características que le permitan desarrollar e su función. En el capítulo anterior se trató los requerimientos mínimos del dispositivo Microsoft Kinect en el tema 3.5.2.1.1, el cual es el elemento que exige las mayores prestaciones de parte del computador.

Estos requerimientos son los recomendados para el correcto funcionamiento del sensor Kinect en un computador personal y el software que permite el almacenamiento y uso de datos.

Para Windows

- Windows 10 (8u51 y superiores)
- Windows 8.x (escritorio)
- Windows 7 SP1
- Windows Vista SP2
- Windows Server 2008 R2 SP1 (64 bits)
- Windows Server 2012 y 2012 R2 (64 bits)
- RAM: 128 MB
- Espacio en disco: 124 MB para JRE; 2 MB para Java Update
- Procesador: Mínimo Pentium 2 a 266 MHz

Estos son los requerimientos mínimos de java, el código en que han sido escritos Meshlab (<http://meshlab.sourceforge.net/>) y Processing (processing.org), los software libre que nos ayudan en el desarrollo en esta parte. En sus páginas web solo especifican que trabajan para GNU/Linux, Mac OS X, y Windows.

3.5.3.1.2 Placa electrónica para conexión de elementos

Establecidas las fuentes 3.5.2.2.1 y seleccionados los elementos electrónicos a utilizar, se nota la necesidad de una placa electrónica para las conexiones entre los dispositivos electrónicos. En la placa adicionalmente se emplean indicadores que nos permitan visualizar si las fuentes o los dispositivos están funcionando correctamente. Sin embargo ya existen estos indicadores en la mayoría de los dispositivos excepto en el sensor de posición. El puente H posee indicadores. El sensor Kinect tiene su propio LED indicador que muestra que está conectado a una fuente de alimentación. El Arduino Nano tiene un LED indicador que muestra la conexión a una fuente de alimentación.

Teniendo en cuenta estos puntos y utilizando el software ARES Professional se realizó la ubicación de todos los componentes en la placa electrónica (ver Figura 41). Las medidas de la placa obtenida son de 45mm x 52mm.

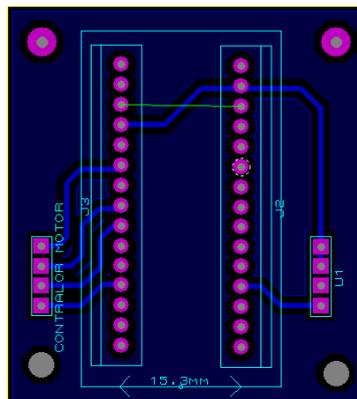


Figura 41 Placa electrónica para conexión de componentes electrónicos.

3.6 Resultado

En este capítulo se muestra el resultado final del diseño del PEG-1 y sus especificaciones eléctricas y mecánicas finales. Los planos de todos los elementos mecánicos y su montaje se muestran en el Anexo B.

3.6.1 CAD del PEG-1

El resultado obtenido del diseño CAD (Figura 42). Se observa todos los elementos colocados en sus respectivas posiciones.

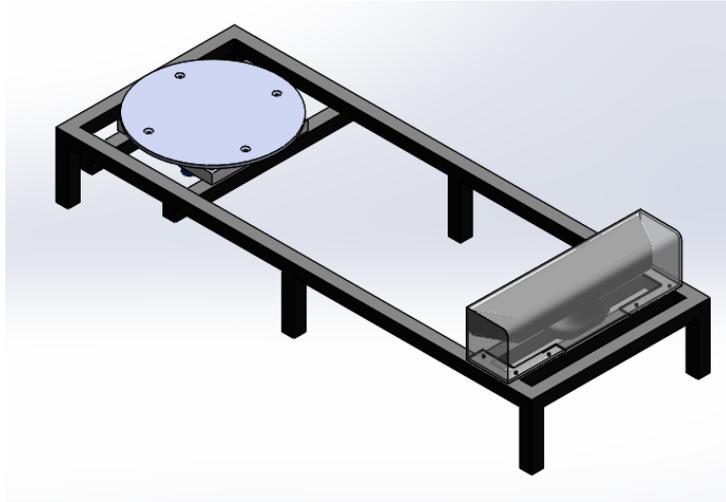
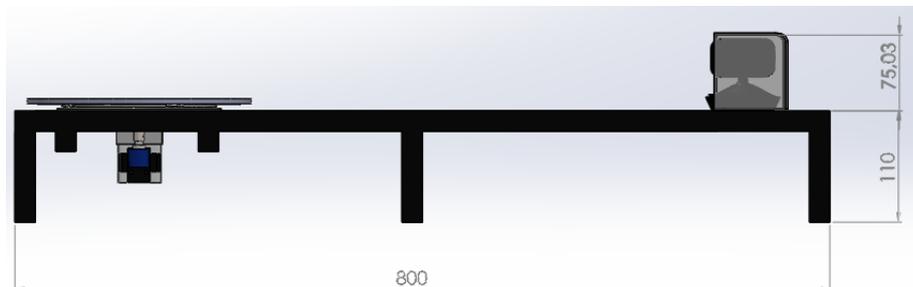
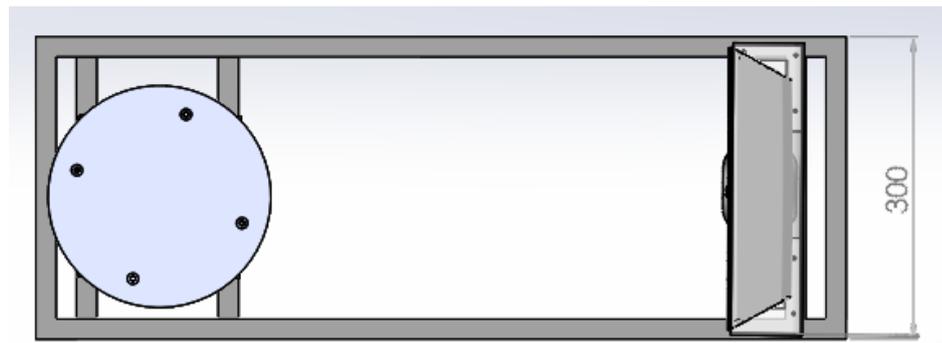


Figura 42 CAD del PEG-1



(a)



(b)

Figura 43 Dimensiones del PEG-1.

3.6.2 Especificaciones técnicas

Las especificaciones mecánicas y eléctricas obtenidas del diseño del PEG-1 (Tabla 11

Especificaciones técnicas del PEG-1).

Tabla 11
Especificaciones técnicas del PEG-1

Característica	Valor
Dimensiones	0.8m x 0.3m x 0.86m
Masa	2.4 Kg
Velocidad	1 °/exploración
Voltaje	12 VDC
Corriente	1A

CAPITULO 4

VISIÓN ARTIFICIAL

El objetivo principal del PEG-1 es modelar objetos digitalmente. Por medio de un dispositivo de adquisición de imágenes y algoritmos de visión artificial para obtener la distancia del objeto. Esta distancia es medida y evaluada para almacenar los distintos puntos y construir digitalmente el objeto.

Además de la distancia es necesario tener cierta precisión en la posición que se encuentra la mesa giratoria, proporcionado por el sensor, que brinda confiabilidad entre cada exploración y la reconstrucción. Esto nos permite evitar que el escáner obtenga datos errores. La representación de este sistema de visión artificial como una caja negra (Figura 44 Representación Del Sistema Visión Artificial).

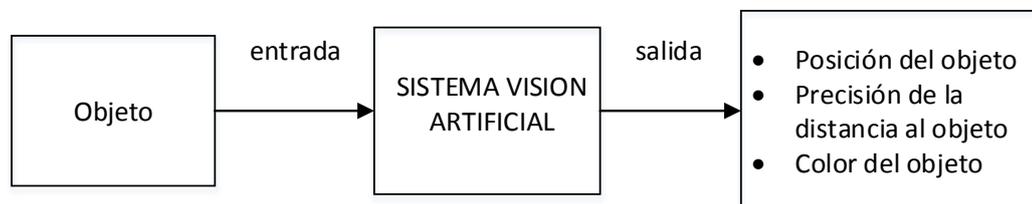


Figura 44 Representación Del Sistema Visión Artificial

Para cumplir con estos requerimientos se utiliza el sensor Microsoft Kinect para Windows, en el cual será necesario hacer una serie de pruebas para evaluar los datos obtenidos por el mismo y validar su uso (MSDN, 2016).

4.1 Sensor Microsoft Kinect

Kinect fue construido para revolucionar la manera de interactuar con una consola de videojuego. Con Kinect la persona es capaz de interactuar con su cuerpo de una manera natural. Esto siempre ha sido una activa investigación en el campo de la visión por ordenador, pero es formidablemente difícil con cámaras de vídeo. El sensor Kinect permite al ordenador directamente percibir la tercera dimensión (profundidad) de los jugadores y el medio ambiente, haciendo que la tarea sea más fácil. Para ello el dispositivo utiliza algoritmos de visión artificial creados por el equipo de investigación de Microsoft.



Figura 45 Sensor Kinect para Windows.

FUENTE: (Microsoft, 2016)

4.1.1 Características

El sensor Kinect para Windows (Figura 46) está formado por:

- Una cámara RGB que almacena tres canales de datos en una resolución máxima de 1280x960. Esto hace posible capturar imágenes a color.
- Un emisor infrarrojo y un sensor de profundidad infrarrojo. El emisor emite rayos de luz infrarroja y el sensor de profundidad lee los rayos infrarrojos

reflejados. Los rayos reflejados son convertidos en información de profundidad, midiendo así la distancia entre un objeto y el sensor.

- Un arreglo de micrófonos que contiene cuatro micrófonos para capturar sonido. Debido a que hay cuatro micrófonos es posible grabar audio y también conocer la localización de la fuente de sonido y la dirección de la onda de sonido.
- Un acelerómetro de 3 ejes configurado en un rango 2g, donde g es la aceleración debido a la gravedad. Es posible utilizar el acelerómetro para determinar la orientación del Kinect.
- Un motor para controlar la inclinación del Kinect.

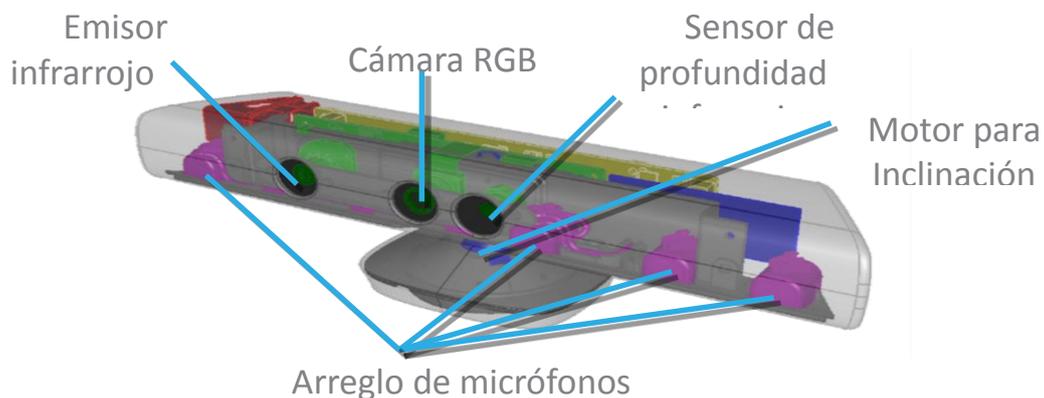


Figura 46 Componentes del sensor Kinect para Windows.

FUENTE: MSDN, Kinect para Windows. Recuperado de: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>, Inglés, 2016.

4.1.2 Especificaciones de los componentes

Las especificaciones de los componentes de Kinect para Windows son:

Tabla 12
Especificaciones de los componentes Kinect para Windows.

Kinect	Especificaciones del arreglo
Ángulo de visión	Campo de visión de 43° vertical por 57° horizontal
Rango de inclinación vertical	±27°
Velocidad de cuadro (Profundidad y color)	30 cuadros por segundo (FPS)
Formato de audio	16-kHz, 24-bit mono modulación de código de pulso (PCM)
Características de entrada de audio	Arreglo de 4 micrófonos con convertidores analógico-digital de 24bits (ADC) y un procesador de señales que incluye cancelación de eco acústico y supresión de ruido
Características del acelerómetro	Un acelerómetro 2G/4G/8G configurado para rango 2G con una precisión de 1°

FUENTE: MSDN, Kinect para Windows. Recuperado de: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>, Inglés, 2016.

El campo de visión horizontal y vertical se muestra en la Figura 47 y la Figura 48 respectivamente.

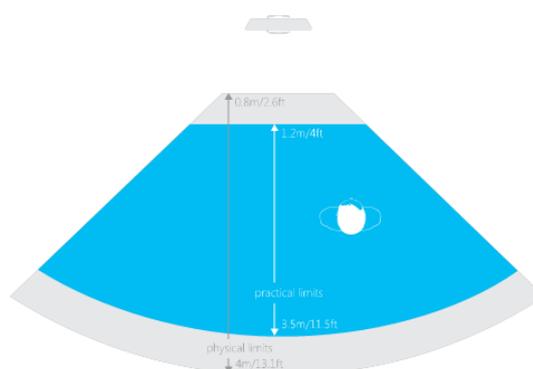


Figura 47 Rango de visión horizontal del sensor Kinect.

FUENTE: MSDN, Documentación Kinect para Windows SDK, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973074.aspx>, Inglés, 2016.

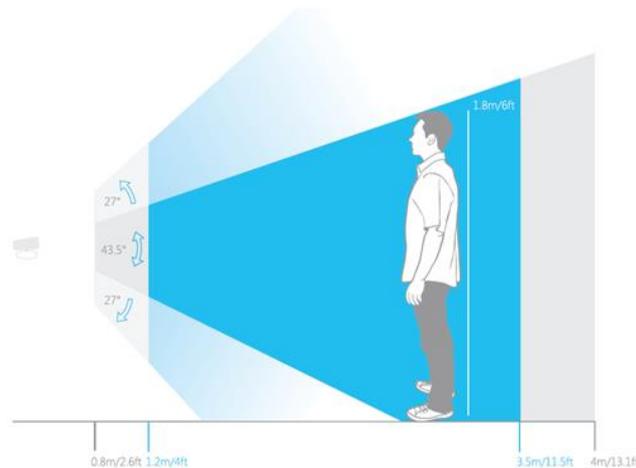


Figura 48 Rango de visión vertical del sensor Kinect.

FUENTE: MSDN, Documentación Kinect para Windows SDK, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973074.aspx>, Inglés, 2016.

4.1.3 Espacio de coordenadas

El sensor Kinect transmite datos de color, profundidad y esqueleto, un cuadro a la vez. Esta sección describe los espacios de coordenadas para los datos de profundidad y esqueleto ya que serán los utilizados para conocer la ubicación del usuario.

4.1.3.1 Espacio de coordenadas de profundidad

En cada cuadro, el sensor de profundidad captura una imagen en escala de grises de cada cosa visible en el campo de visión del sensor de profundidad. Un cuadro está formado por píxeles, cuyo tamaño está dado por la configuración especificada por el programador. Cada píxel contiene la distancia cartesiana, en milímetros, desde el plano de la cámara hasta el objeto más cercano en la coordenada particular (x, y) , (ver Figura 49). Las coordenadas (x, y) de un cuadro

de profundidad no representan unidades físicas en el cuarto; sino que, representan la ubicación de un pixel en el cuadro de profundidad.

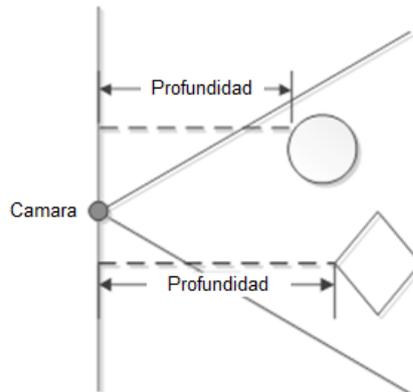


Figura 49 Valores de las muestras de profundidad.

FUENTE: MSDN, Documentación Kinect para Windows SDK, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973078.aspx>, Inglés, 2013.

4.1.3.1.1 Rangos del espacio de profundidad

El sensor de profundidad tiene dos rangos de profundidad configurables: el rango por default y el rango cercano (Figura 50).

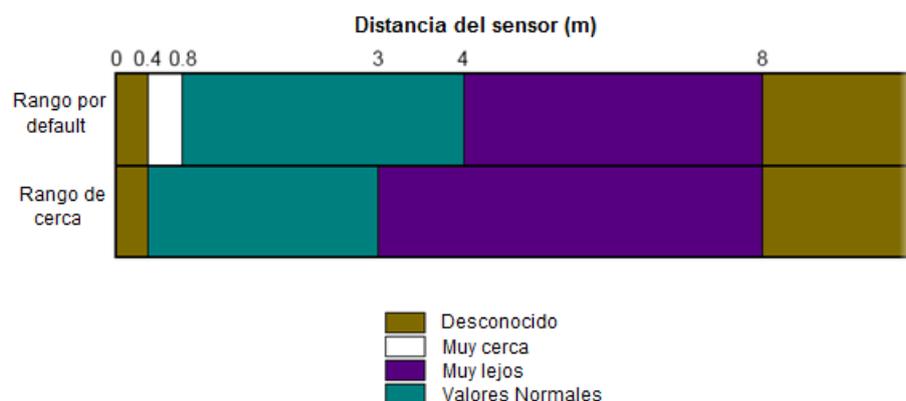


Figura 50 Rangos del sensor de profundidad.

FUENTE: MSDN, Documentación Kinect para Windows SDK, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973078.aspx>, Inglés, 2013.

4.2 Validación del sensor Kinect

Para cumplir con los objetivos de este proyecto es necesario que el sensor Kinect junto con las librerías de Kinect para Windows SDK nos entregue datos con los requerimientos del sistema de visión artificial los cuales son:

- Exactitud de la distancia del usuario respecto al PEG-1.
- Precisión en la toma de datos por el sensor.
- Rango de reconocimiento cumple con una distancia mínima.

Las pruebas de funcionamiento se desarrollan para que cumpla con estos requerimientos. En este capítulo se detalla la ejecución de estas pruebas y los resultados obtenidos.

4.2.1 Pruebas de funcionamiento

La ejecución de estas pruebas tiene como objetivo determinar la distancia mínima para realizar toma de datos por parte del usuario a través del Kinect y la precisión que este nos entrega en diferentes distancias, las cuales se eligieron y limitaron a un panel plano para obtener datos comparables entre sí. Es importante notar que no se llega a una precisión industrial por ser un dispositivo pensando para el hogar y limita su precisión. Sin embargo dependiendo de la exactitud que se pueda tener se podrá determinar un error aproximado 5%.

Para realizar estas pruebas de funcionamiento necesitamos probar a diferentes distancias donde se podría ubicar la mesa giratoria. Tomando como referencia los rangos del sensor de profundidad, una medida mayor a 0.8m es una distancia considerable si se pretende realizar un prototipo compacto. La medida de 0.4m ofrece una mejor alternativa a pesar de no ser una medida deseada.

La distancia se limita en 4 puntos:

- 0.35m Distancia mínima en la zona en la zona desconocida.
- 0.45m Distancia mínima en la zona muy cercana.
- 0.85m Máxima distancia en la zona de valores normales a la que deberá estar la mesa giratoria.

Los dos primeros puntos se establecen como una frontera para determinar se reduce la distancia entre la mesa giratoria y el sensor. El último punto determina si el error es menor comparado entre los dos puntos anteriores, como una zona para determinar allí la mesa giratoria o es usable la zona muy cercana.

Adicional a estos puntos también se tomó en cuenta el rango horizontal del campo de visión del Kinect, más campo horizontal no presenta ningún inconveniente, hablada en el capítulo anterior.

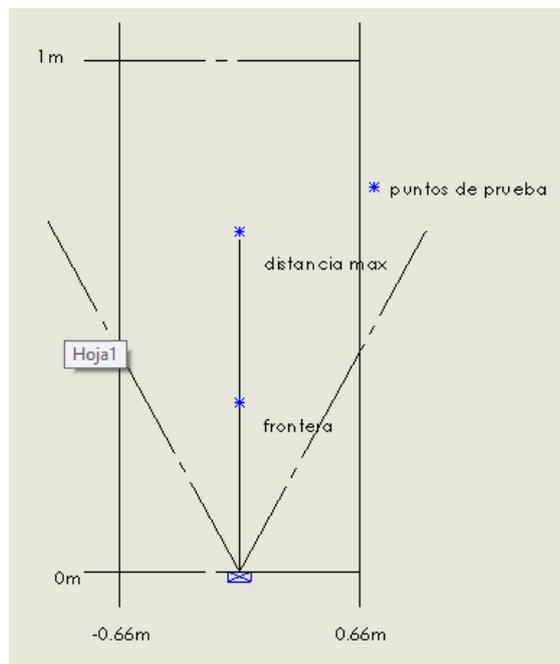


Figura 51 Plano de pruebas

4.2.2 Datos obtenidos

En base a los puntos ya establecidos en el capítulo anterior, las variables se establecieron con una metodología para la ejecución de las pruebas, (Tabla 13 Metodología para la ejecución de la prueba de validacion de kinect.). El software para pruebas es un programa que se desarrolló para que determinar la distancia de todos los puntos de una placa para ser comparados dada la cantidad de puntos a recabar (x, y, z).

No se toman en cuenta los valores de (x, y) en el análisis, porque en este caso determinan distancias de posición con respecto a z, que es la distancia que determinara el contorno del objeto y permite su reconstrucción.

Tabla 13
Metodología para la ejecución de la prueba de validacion de kinect.

Objetivo	Cuantificar la exactitud y precisión de la distancia medida.
Técnica	Comparación de la distancia de varios puntos de un objeto plano en los puntos señalados.
Cuantificadores	Exactitud: Error absoluto en los datos obtenidos. Precisión: Desviación estándar de los datos obtenidos.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor Kinect • Software para pruebas • Plano de prueba de 0.06m² • Objeto plano
Metodología	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arrancar el software de prueba sensor Kinect. 2. Ubicar el objeto en el primer punto señalado en el plano, paralelo al eje x. 3. Almacenar los valores en un archivo exportable, de la distancia en el eje Z. 4. Calcular el valor absoluto y la desviación estándar de los datos obtenidos. 5. El Objeto en el punto dos y tres, y realizar los tres pasos anteriores cada punto señalado.

Dado el gran número de datos se muestra a continuación la tabla con los resultados efectuándose para 16945 datos por cada punto. El primer y segundo

punto, fueron modificados por encontrarse en la zona desconocida. Los nuevos puntos son a 0.5m y 0.6m respectivamente.

Tabla 14
Resumen media aritmetica para la posición X = 0m en los tres puntos.

Nº	Media Aritmética
	Z (mm)
1	504,1031
2	597,4014
3	798,4136

Tabla 15
Resumen de error absoluto y error relativo para la posición la X = 0m, en los tres puntos.

Error		
Nº	Error absoluto Z (mm)	Error relativo Z (%)
1	4,10	0,820
2	-2,78	-0,465
3	-1,58	-0,198
Promedio	0,086	0,052

Tabla 16
Resumen desviación estándar para la posición en las tres puntos en X = 0m.

Nº	Desviación Estándar
	Z (mm)
1	6,62
2	1,53
3	4,68

4.2.3 Análisis de resultados

El error relativo que se obtuvo para cualquier posición nunca supera un 1% por lo que el sensor Kinect posee una exactitud al medir la distancia aportando su cuota de calidad al prototipo. En la tabla 16 la desviación estándar alcanza un valor máximo de 1mm muestra el caso más extremo pero admisible dentro de la gran cantidad de datos que permite obtener el sensor.

Estos puntos que permite el análisis de los datos no da la seguridad que el escáner funciona dentro de parámetros permitidos y óptimos. Usando la información no permite analizar un criterio dentro de la construcción de la estructura permitiendo reducirla.

CAPITULO 5

CONSTRUCCIÓN DEL ESCANER 3D

Los sistemas que conforman al PEG-1 se muestran cómo fueron ensamblados los diferentes elementos, y las conexiones eléctricas que se realizaron. Previo a la construcción de los diferentes sistemas cabe resaltar, que se realizaron algunos cambios al PEG-1 en el diseño del prototipo por motivos económicos y de mano de obra, por lo que se comenzará este capítulo con los cambios realizados.

5.1 Cambios realizados en el diseño del prototipo

Los cambios realizados se realizaron basados en la idea de que la fabricación fuera realizada por una impresora 3D una vez que los análisis en el capítulo de diseño mostraron la viabilidad de fabricación tereftalato de polietileno (PET). Este cambio permite la fabricación de todos los componentes, con los respectivos cambios en la estructura.

5.1.1 Estructura escáner 3D

La estructura sufrió una transformación, conservando características de estabilidad, pero con un diseño que se adaptada de mejor manera a cambios estéticos y prácticos. Permitiendo encapsular los componentes electrónicos evitando cualquier manipulación. Se incorpora canales para el acople de paneles traslucidos, además de permitir el ajuste por medio de un tornillo con su tuerca en el interior de cada pilar.

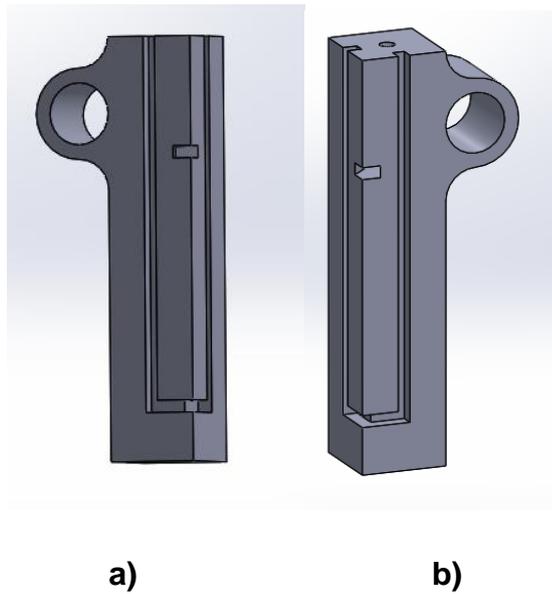


Figura 52 Soportes Mesa giratoria; a) izquierdo b) derecho.

Debido al cambio en la estructura el Kinect perdió su punto de apoyo, aprovechando el cambio se diseñó un punto de apoyo que sirva como sujeción al mismo tiempo acoplándose al encapsulado que evita manipulaciones. Además se encuentra alineado con el centro de la mesa giratoria el centro del campo de visión del sensor. Esta alineación permite al eje Z atravesar el centro de mesa giratoria.

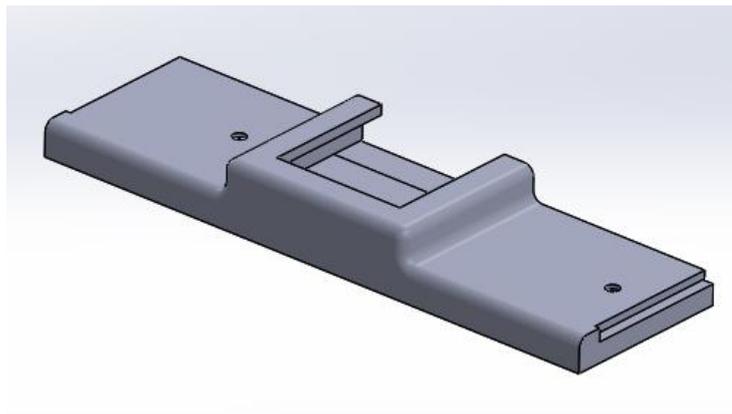


Figura 53 Soporte para sujeción del Kinect

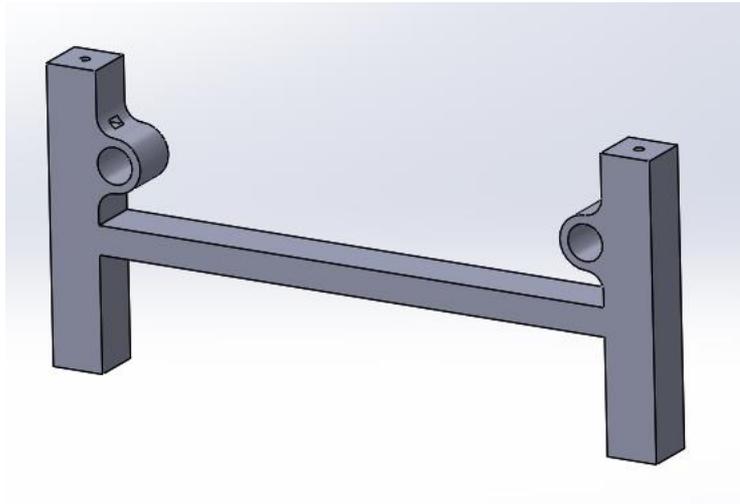


Figura 54 Soporte del Kinect

Para terminar se realizó soportes para la barra que une ahora estas dos piezas separadas en una sola. Simplificado el diseño; permite estabilidad y el peso que soportara el prototipo se transfiera a los cuatro soportes de la mesa giratoria.

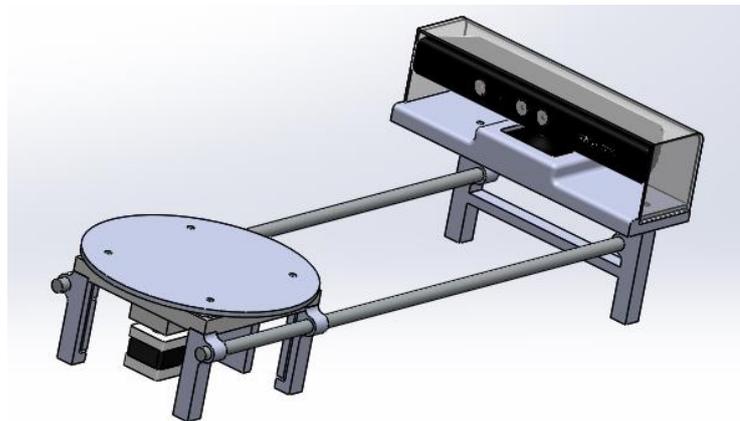


Figura 55 Resultado final PEG-1

5.1.1.1 Análisis de la estructura.

Con el análisis realizado de la estructura en el capítulo 3.5.1.1.2.1, se basa para el actual análisis tomando de allí la masa total, $m = 3,6\text{kg}$ con la variante que el peso será distribuido entre los cuatro soportes (ver Figura 55). No se toma en cuenta en los análisis la barra de unión entre los soportes de la mesa giratoria y el soporte del Kinect como se evidencia en el análisis de la estructura anterior, por no soportar ninguna carga ni transmitirla.

5.1.1.1.1 Soporte mesa giratoria y Kinect.

Los soportes fueron diseñados para cumplir dos funciones, unir la mesa giratoria por medio de tornillos M3 con una cavidad para el ingreso de tuercas y ajustar las piezas además de canales de 2.5 mm para anclar los paneles y resguardar las partes electrónicas.



Figura 56 Soporte mesa giratoria

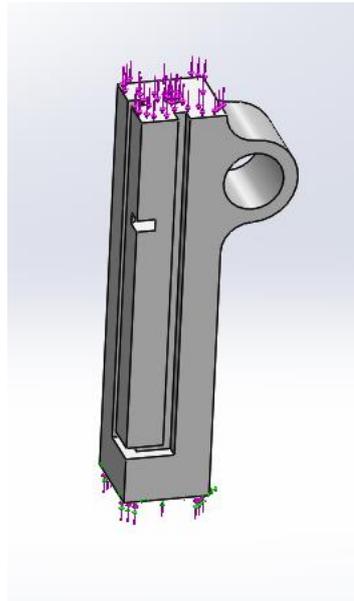


Figura 57 Geometrías fijas y fuerzas aplicadas en los soportes.

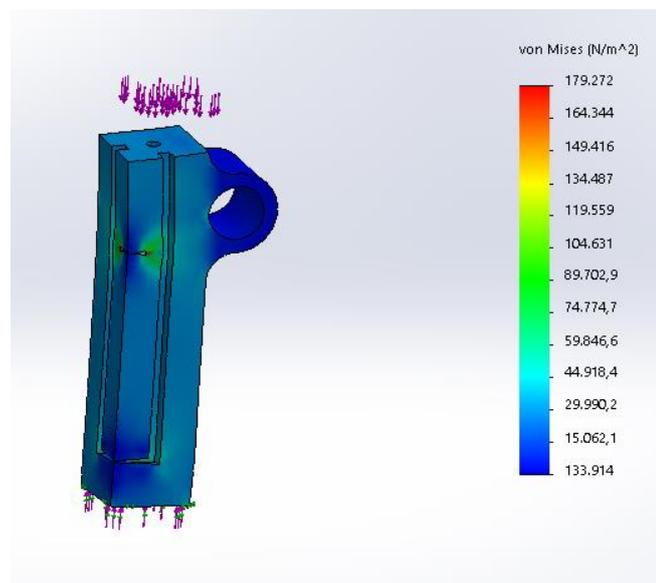


Figura 58 Resultados del análisis de esfuerzos en los soportes

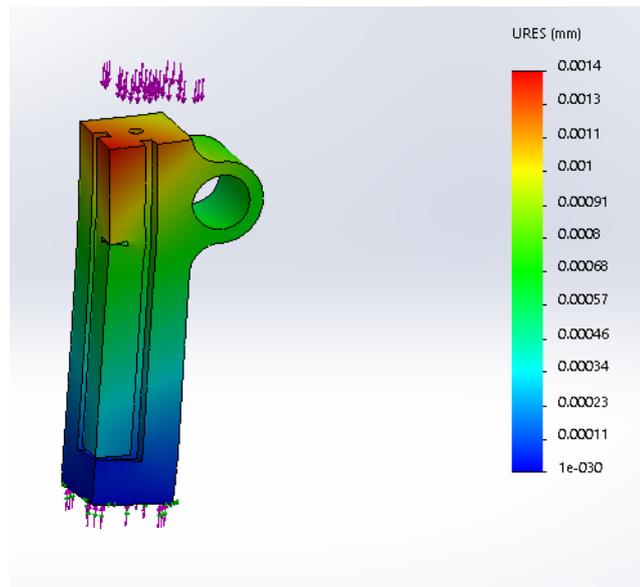


Figura 59 Resultados del análisis de desplazamientos en el soportes.

El esfuerzo máximo es de 179 kpa muy por debajo de los 2.9 Mpa en el límite elástico del material PET. La deformación es de 0.004mm y un cumple con el mínimo de factor de seguridad impuesto de 2. Estos valores permiten dar como afirmación que la opción tomada en una impresión 3D utilizando como material Tereftalato de Polietileno (PET) cumple con los requerimientos mecánicos para su uso en el diseño.

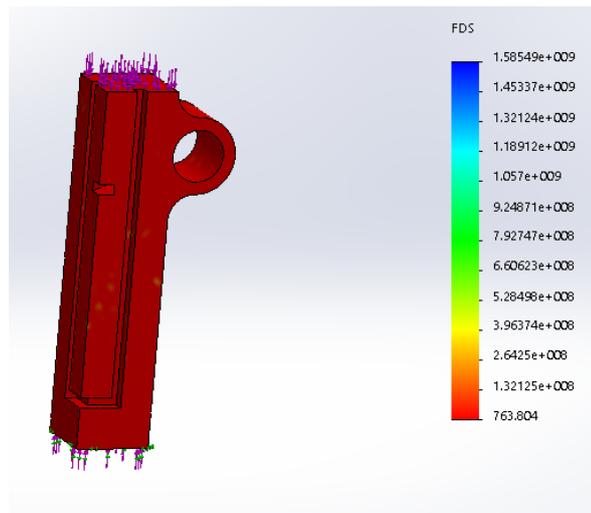


Figura 60 Resultados del trazado de factor de seguridad en los soportes.

5.1.1.1.2 Soporte y sujeción del Kinect

La fuerza aplicada se basa en la masa que se toma como referencia del capítulo 3.5.1.1.2.1 que es de $m=0,26$ kg que es la masa combinada del Kinect y su cobertor.

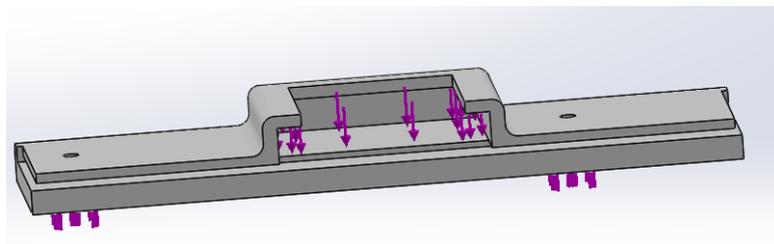


Figura 61 Geometrías fijas y fuerzas aplicadas en el soporte y sujeción.

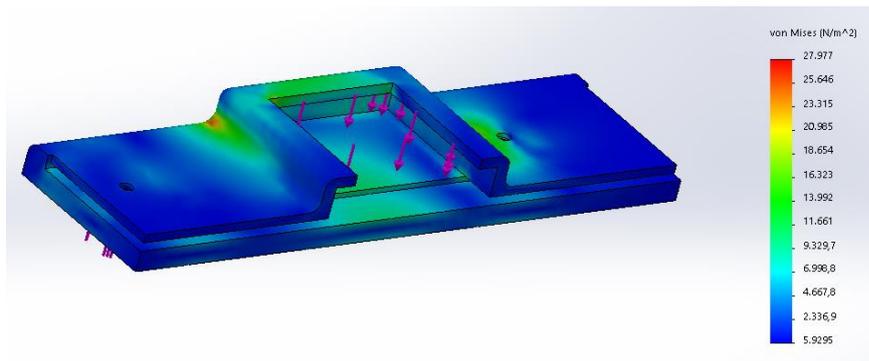


Figura 62 Resultados del análisis de esfuerzos en el soporte y sujeción.

Con los resultados mostrados de 28 kpa en el máximo esfuerzo en la figura, la conclusión es la misma al análisis anterior, el material y el diseño cumple con los requerimientos mínimos al no sobrepasar el límite elástico del material en ningún punto.

5.1.2 Rodamiento mesa giratoria

En el proceso de diseño de la mesa giratoria se notó la necesidad de diseñar un canal de rodadura para facilitar el giro. Pero el diseño se vio simplificado al adicionar un soporte giratorio comercial con rodadura, minimizando la fricción, diseño y el costo adicional que implicaría.



Figura 63 Manufacturer BC Precision, acero con rodamientos de bolas radiales.

FUENTE: BC Precisión.

Tabla 17
Características del rodamiento.

Características	Rodamiento
Dimensiones	152mm, 10mm de ancho
Masa del objeto	250 g
Límite de carga	2500 N
Material	Aluminio
Material Bolas de rodadura.	Acero.

FUENTE: BC Precisión.

De la tabla anterior, el límite de carga máximo sobrepasa el peso máximo dentro del prototipo para una carga de 2,5 kg. Esto nos permite asegurar su funcionamiento correcto.

5.2 Diseño del proceso de construcción

Planeada la idea de fabricación de las piezas por parte de una impresora 3D en el anterior capítulo, no se profundiza en la técnica de la impresora ni construcción de la misma debido a la basta información disponible en la red. La información proporcionada serán características de la impresora, material.

Tabla 18
Características en la construcción de las piezas.

	Tiempo (h)	Masa (g)	Material
Mesa inferior	7,1	136	PLA
Mesa Giratoria	7	140	PLA
Soporte D	1,5	20	PLA
Soporte I	1,5	20	PLA
Soporte K	1,5	60	PLA
Base Kinect	7,55	139	PLA
Acople M	0,2	1,5	PLA
Acople S	0,2	1,5	PLA
Soporte S	1,5	15	PLA
Expansión M	1	14	PLA

El poliácido láctico (PLA o ácido poliláctico) es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además es biodegradable. Se degrada fácilmente en agua y óxido de carbono.

El proceso constructivo se reduce al ensamble como se mostrara los planos en anexos B, de la misma manera los diagramas de conexiones de los dispositivos.



Figura 64 Conjuntos de piezas elaboradas.

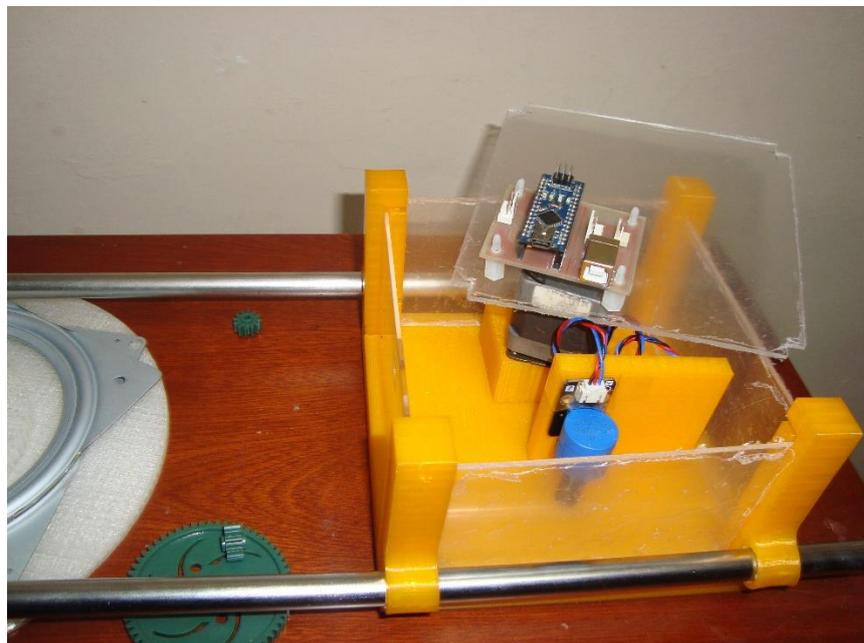


Figura 65 Armado de la caja de los componentes electrónicos



Figura 66 Ensamble de engranes y acomple de la mesa giratoria.



Figura 67 Resultado final.

CAPITULO 6

PROGRAMACIÓN

En este capítulo se detalla la programación realizada para el funcionamiento del PEG-1, la cual se la divide en 2 partes:

- Diseño del programa.
- Desarrollo del programa para funcionamiento del PEG-1

6.1 Diseño del programa

El diseño del programa se lo divide en tres partes:

- Análisis del problema.
- Arquitectura del programa.
- Estructura del programa.

Se inicia con el análisis del problema ya que es necesario primero conocer el problema para dar una solución al mismo, para ello se debe considerar todas las condiciones existentes para el funcionamiento del prototipo de escáner.

6.1.1 Análisis del problema

El escáner se basa en la medición de distancia, así realizar su objetivo principal del cual ya se ha hablado con anterioridad, obtener un objeto digital modelado en 3 dimensiones. Para lograr este objetivo se decide utilizar el sensor Kinect tal como se trató en el capítulo 4 del sistema de visión artificial.

De manera que el programa a desarrollar debe primeramente obtener los datos del sensor Kinect, a continuación debe obtener la posición de la mesa giratoria como un registro, para usarlo durante la reconstrucción y seguir con la siguiente exploración.

7.1.1.1 Requerimientos de funcionamiento del PEG-1

Para cumplir con el objetivo principal del robot existen algunos requerimientos, no solo para cumplir su función sino también para que el usuario pueda hacer uso del robot sin dificultad. Además existen condiciones que se deben identificar para que tenga un funcionamiento apropiado y los algoritmos utilizados satisfagan todas estas condiciones. En este capítulo se detallan estos requerimientos y condiciones, además de explicar cómo se lograrán estos requerimientos.

Los requerimientos generales de todo el robot están indicados en el capítulo 2.2.2.5, (ver tabla 2), donde los que definen el funcionamiento del son:

- Fácil de utilizar.
- Distancia para captura de datos entre el objeto y el sensor de 80cm.
- Comandos para activación y desactivación de la toma de datos.
- Visualización de la nube de puntos.
- Número de Exploraciones máxima 360.

7.1.1.1.1 Fácil de utilizar

Para cumplir con el requerimiento, el funcionamiento está basado en comandos de teclado al facilitar el uso por ser el lugar donde se almacene el archivo del objeto en tres dimensiones. Para ello existirán: comando para inicializar las exploraciones, borrar, exportar la nube de puntos y otro para terminarlo. Cuando el programa esté corriendo, se emitirá información del ángulo en proceso tanto para controlar el prototipo y como dato usado para la reconstrucción.

7.1.1.1.2 Distancia para captura de datos entre el objeto y el sensor de 80cm

Este requerimiento es determinado a través del sensor Kinect, determinado por los Rangos del espacio de profundidad mostrado en el tema 4.1.3.1.1. Y a su vez tomamos en cuenta la validación de datos en el tema 4.2, el sensor Kinect ubicado a un extremo del prototipo PEG-1, la distancia tiene un rango valido de 50cm a 120cm, o más.

7.1.1.1.3 Visualización de la nube de puntos

Un punto que facilita el uso del prototipo es mostrar el objeto a través del computador de los datos obtenidos en una forma de nube de puntos. Es la creación y visualización de todos los datos obtenidos por medio de las exploraciones que están determinadas por la parte mecánica del prototipo, en un máximo de 360 exploraciones para la reconstrucción del objeto.

6.1.2 Arquitectura del programa

Utilizando arquitectura estratificada, se crean diferentes capas y cada una realiza operaciones que progresivamente se aproximan más al cuadro de instrucciones de máquina, donde:

- La capa externa tiene los componentes que sirven a las operaciones de interfaz de usuario.
- La capa intermedia proporcionan servicios de utilidad y funciones de software de aplicaciones.
- La capa interna tiene los componentes que realizan operaciones de interfaz de sistema.

La arquitectura planteada para nuestro programa (Figura 68).

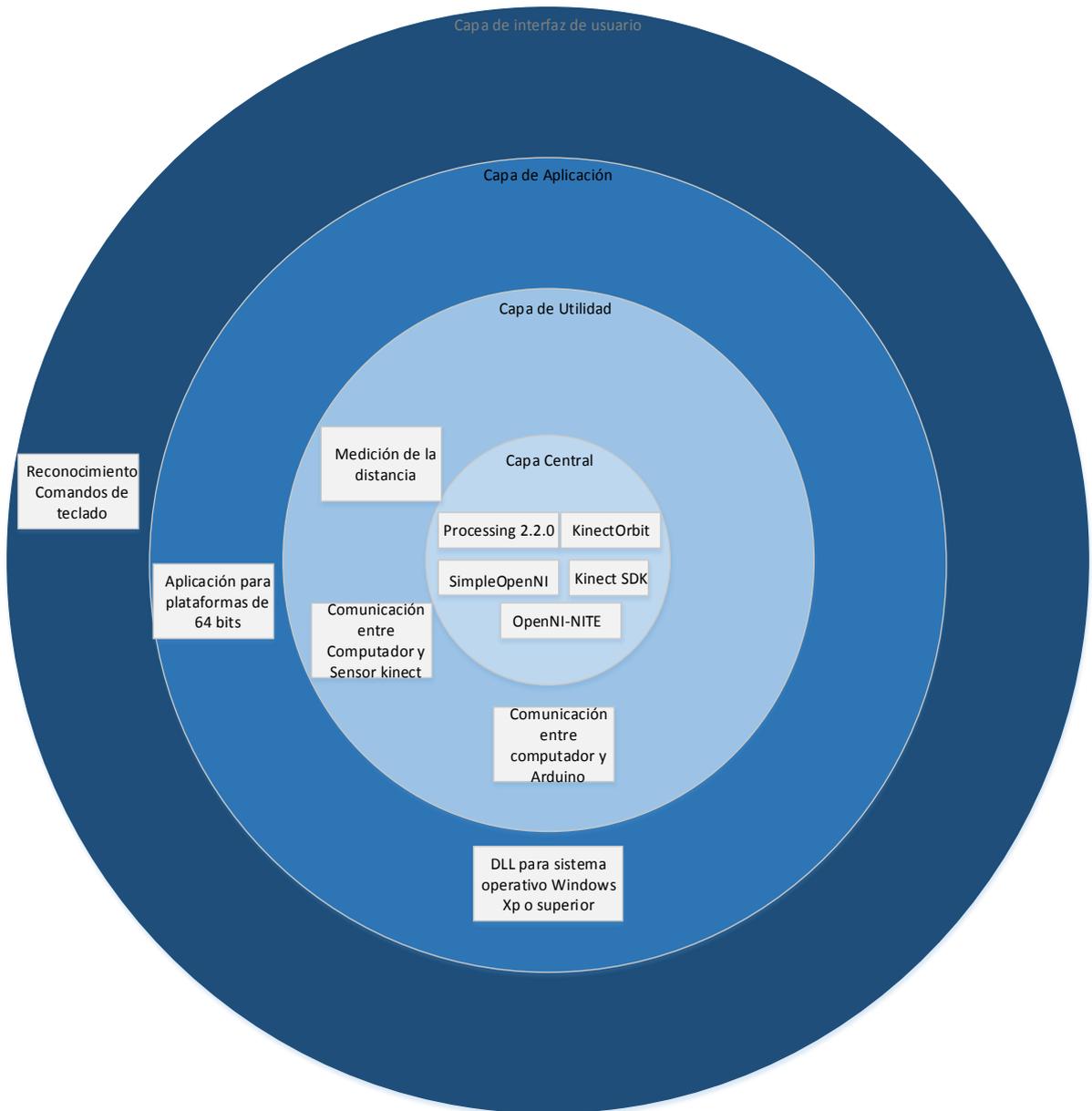


Figura 68 Arquitectura del programa.

6.1.3 Estructura del programa

El programa para el funcionamiento del PEG-1 se desarrolló en Processing, basado en java que a su vez usa la sintaxis de lenguaje C#. Se utilizaron diferentes herramientas de desarrollo del sensor Kinect como se indica en el capítulo 6.2. Además también se mencionó que las funciones del sensor Kinect y la comunicación serial funcionan simultáneamente.

Previamente se importa las librerías a usar Serial, Opendgl, SimpleOpenNI, kinectOrbit, y se declara las variables a usar que serán globales en toda la programación. La ventana principal (IDE) es donde se desarrolla el programa debido a que dentro de esta se declaran todos los objetos y además se ejecutan los eventos de los métodos. En esta clase tenemos las funciones que inician y configuran los componentes, realizan la adquisición de datos, toman la decisión de movimientos y detiene los componentes.

La clase *SimpleOpenNI* es la que contiene las propiedades del sensor Kinect y sus configuraciones, además de los métodos para iniciar y terminar el sensor. Esta clase a su vez posee objetos que sirven para manejar las diferentes funciones del sensor Kinect, los cuales son: *kinect.depthHeight()* *kinect.depthWidth()* *kinect.depthMapRealWorld()*. Todas estas clases son parte de las librerías de desarrollo de Kinect (*SimpleOpenNI*).

La clase *KinectOrbit* contiene diferentes métodos que se utilizan para configurar los gráficos, es decir le permitirá controlar la perspectiva de lo que usted está viendo.

La clase *Serial* maneja el puerto serial que se desea utilizar. Dentro de la misma se selecciona el puerto a utilizar y se configuran los parámetros de la comunicación. Además contiene los eventos para leer y escribir a través del puerto serial.

Opendgl contiene los métodos y especificaciones para que produzcan gráficos 2D y 3D. Las relaciones entre las clases se muestran en el diagrama lenguaje único modelado (UML), (ver Figura 69 Diagrama lenguaje único modelado (UML) del programa.).

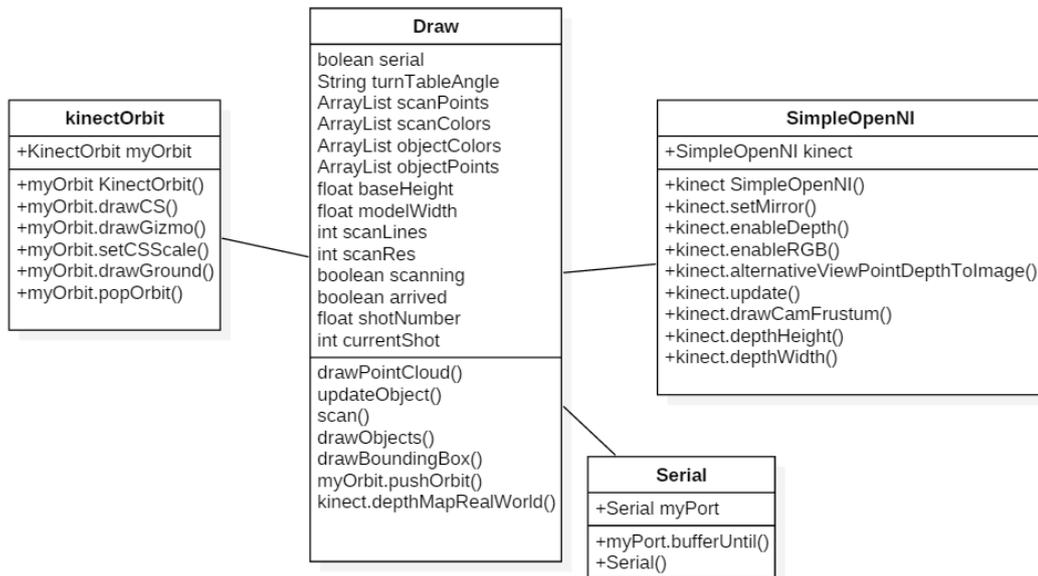


Figura 69 Diagrama lenguaje único modelado (UML) del programa.

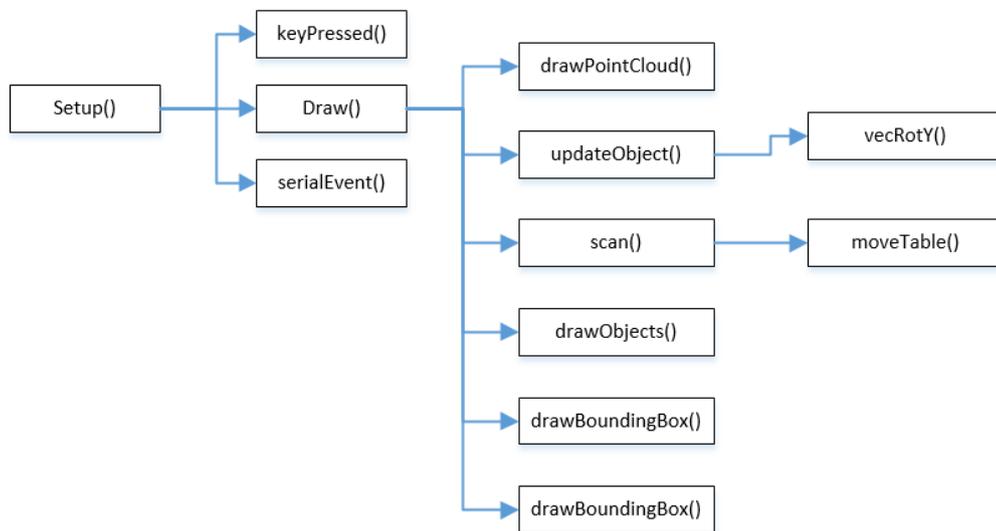


Figura 70 Diagrama de llamadas de funciones del programa para PEG-1.

6.2 Desarrollo del programa para funcionamiento

El programa del PEG-1 consta de los algoritmos necesarios para lograr la comunicación del computador con la placa Arduino, la adquisición de datos del sensor Kinect y las decisiones de movimiento de la mesa giratoria. De manera que la placa Arduino funciona como actuador, una interfaz entre el motor y sensores con el computador. El computador además adquiere los datos del sensor Kinect, los almacena y toma la decisión de la siguiente exploración con el respectivo movimiento.

Las relaciones existentes entre estos componentes se trataron en el capítulo 3.4.2 y el capítulo 3.4.32 donde se habla del sistema múltiples ángulos y de medición, control.

Para poder realizar la programación del RAD4-23 se utilizaron las siguientes herramientas de programación y paquetes.

- Processing v2.2.1.
- Herramientas de desarrollo para Kinect (OpenNI NITE).
- Software de desarrollo para Kinect (Kinect SDK v1.7).
- Paquete para Kinect (SimpleOpenNI).
- Herramientas para Kinect (Kinect Orbit).

Processing es la interfaz de programación y compilador que se va a utilizar. Se necesita de las librerías OpenGL and Serial incluidas con la instalación de processing. Las herramientas de desarrollo de Kinect contienen todo el software para poder utilizar las diferentes funciones del sensor.

El paquete para Kinect contiene la librería, SimpleOpenNI, dedica para Kinect funcione en Processing desarrollada por desarrolladores independientes. Las herramientas para Kinect contienen ciertos objetos gráficos y métodos que facilitan la visualización del sensor Kinect ya que estos encapsulan el código necesario para su funcionamiento. De manera que con pequeños métodos evitamos algunas líneas de programación y nos dedicamos a usar las características del sensor directamente.

6.2.1 Comunicación entre la placa y Arduino

La placa Arduino entrega información del sensor de posición giratorio, ángulo de la mesa giratoria. Adicionalmente mueve los motores a través del puente H. Así realiza la función de un actuador, entre el computador; el sensor y motor, así que no toma ninguna decisión dentro del proceso sino que solamente recibe y envía información. Se establece que el computador y la placa Arduino envíen y reciban información vía comunicación serial, utilizando el estándar RS-232, el cual viene integrado en la placa Arduino. En la Figura 71 se muestra el sentido de comunicación entre los sensores, motores, placa Arduino y el computador.

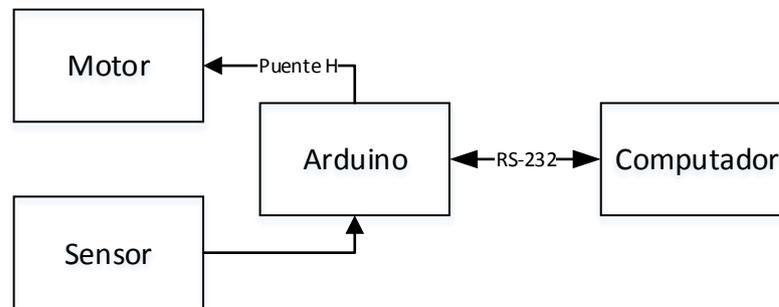


Figura 71 Comunicación motor/sensor - arduino - computador

Tabla 19
Parámetros comunicación arduino - computador

Parámetro	Valor
Velocidad del puerto	9600 baudios
Bits de datos	8
Paridad	Sin paridad
Bits de parada	1
Control de flujo	Sin control de flujo

6.2.2 Subprocesos del programa

Los subprocesos permiten fluidez dentro del programa y la información, con cada subproceso por separado. Los subprocesos en que se dividió el programa son:

- Inicialización
- Adquisición de datos
- Creación del archivo
- Finalización

Cada subprocesos se desarrollara en este capítulo. En la Figura 70 muestra el diagrama de flujo del programa de funcionamiento del PEG-1 y cómo interactúan. El flujo de este diagrama muestra subprocesos como una interacción lineal o cíclica, dentro de ellos existen eventos que se disparan cuando se cumple su condición de activación, por lo tanto se activarán en cualquier momento dentro del programa y no necesariamente en orden. De la misma manera hay dos funciones que se ejecutan permanente mente a la espera de la condición que las active independientemente de la función que se realice.

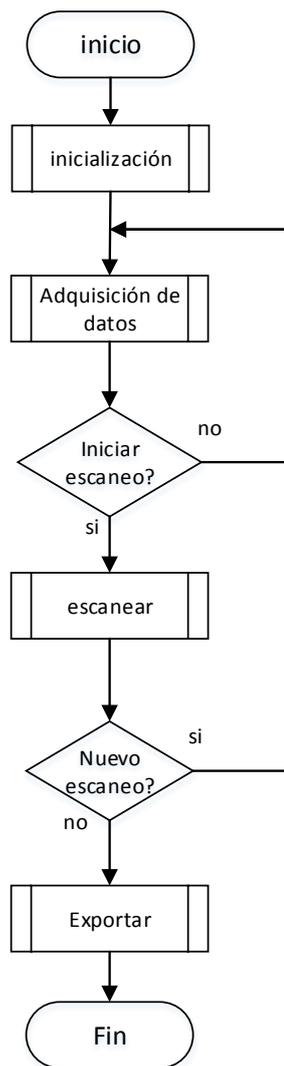


Figura 72 Diagrama de flujo del programa del PEG-1

6.2.2.1 Inicialización

Previamente se importó las librerías a usar Serial, Opengl, SimpleOpenNI, kinectOrbit y se declara las variables a manejar, que serán globales en toda la programación. La función se ejecuta una sola vez en el programa y realiza las siguientes funciones:

- Inicialización del sensor Kinect.
- Inicialización de control de cámara (orientación en el espacio).
- Configuración y apertura del puerto serial.
- Calibración de ángulos de exploración.



Figura 73 Diagrama de flujo del subproceso de inicialización.

La configuración del puerto serial se la realiza agregando *Serial* de las librerías de Processing y creando un objeto de puerto serial. A continuación accedemos a las propiedades de este objeto para dar las configuraciones (ver Tabla 19).

Se consigue el primer puerto para evitar que el sistema se cuelgue al intentar abrir un puerto erróneo. Esto también nos ayuda en caso de que la placa Arduino no esté conectada al computador, ya que al existir comunicación el programa no funcionara.

Al inicializar el sensor Kinect comprueba su conexión, ya que si este no está conectado esperará a que se conecte un sensor, la única manera de salir de este caso es conectando el sensor o saliendo del programa. La salida del programa es un evento y se puede ejecutar en cualquier momento del programa cerrando la

aplicación. Con el sensor Kinect conectado se inicializan las siguientes configuraciones utilizando la librería *Kinect* de la herramienta “Kinect SDK v1.7.

- Uso de los sensores:
 - Se habilita el uso de la cámara de profundidad.
 - Se habilita el uso de la cámara RGB.

6.2.2.2 Adquisición de datos y escaneo

El diagrama de flujo del subproceso de adquisición de datos (ver Figura 72). Empaque todos los diferentes comandos y funciones por lo que el flujo de trabajo es más fácil de entender:

- Dibujar la nube de puntos.
- Actualización y transformación de los puntos al sistema de coordenadas.
- Dibujar objetos.
- Comandos teclado.
- Envío y recepción de datos por el puerto serial.

En este diagrama de flujo existen otros dos procesos que se ejecutan en simultaneo la lectura del puerto serial y los comandos por el teclado. Permitiendo la lectura del sensor y habilitando condiciones para las exploraciones, el segundo operando las diferentes opciones del prototipo con el usuario por medio del teclado.

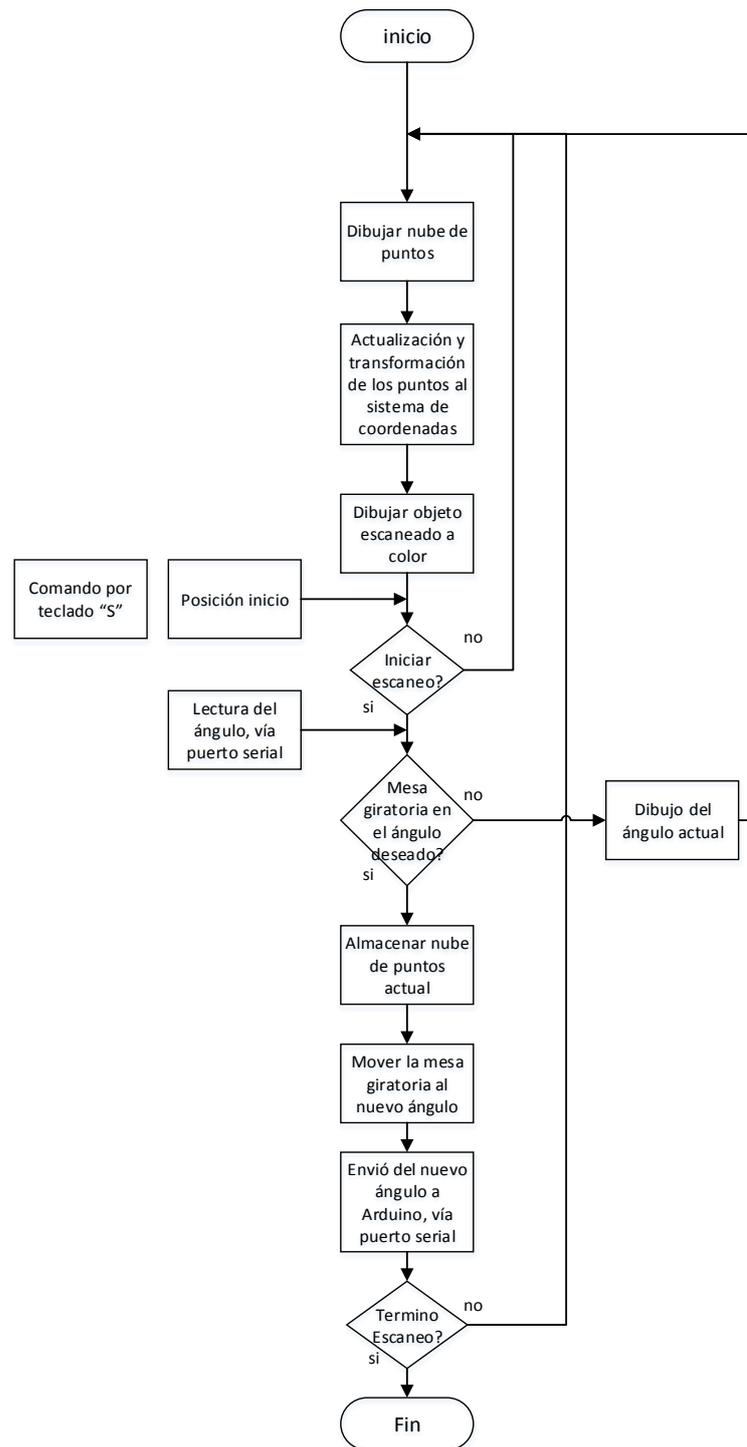


Figura 74 Diagrama de flujo del subproceso de Adquisición de datos y escaneo

En Actualización y transformación de los puntos al sistema de coordenadas explicadas en el tema en el capítulo siguiente 6.3.1; es una función donde se toma medidas de masivos puntos por cada exploración. Un vector con la información de la posición en el espacio respecto a un punto medido. Es necesario conocer el ángulo actual de la plataforma giratoria con el fin de calcular las coordenadas globales de los puntos, ángulo proporcionado por Arduino a través de la medición del sensor de posición.

Se limita el área de influencia de exploración, limitando interferencias externas. El proceso de transformación del sistema de coordenadas sucede en dos pasos durante el programa. En primer lugar, es necesario obtener las coordenadas del vector en el centro del plato giratorio, constante. Y el segundo, al restar las coordenadas al vector con los datos medidos, dando origen a un vector que describirá el volumen del objeto. Posteriormente, se aplica la transformación de coordenadas (matriz de rotación). Se almacena cada punto, mientras se va conformando la nube de puntos del objeto en cada exploración.

6.2.2.3 Exportación de la nube de puntos generada

Los comandos por el teclado es un proceso que se ejecuta permanentemente durante el programa y contiene los comandos del prototipo entre ellos, exportar.

Tabla 20
Comandos por teclado.

Comandos por teclado	Descripción
R	Mesa giratoria en posición inicial.
S	Empieza escaneo.
C	Borra nueve de puntos.
M	Exporta el archivo de la nube de datos.
+	Incrementa el número de líneas de escaneo
-	Disminuye el número de líneas de escaneo.

El paso lógico después de escanear, es construir la imagen digital, que es realizado por el algoritmo mientras se escanea (realiza cada exploración), y a la vez es almacenado. El objeto digital construido despliega cada punto de su geometría mediante una nube de puntos. Esto permite avanzar hacia el paso siguiente, exportar la nube de puntos.

El generar un archivo que contiene la geometría en una nube de puntos facilita el ultimo tratamiento para convertido en un sólido 3D. Hay varias bibliotecas de procesamiento que le permiten exportar estos formatos, pero la exportación de un archivo .PLY es tan simple que se va a implementar su propio exportador de archivos para que pueda controlar cada dato a enviar.

6.2.2.4 Fin

Para finalizar el programa basta con cerrar el ejecutable que automáticamente termina el programa y realiza las siguientes acciones:

- Cerrar el puerto serial.
- Detener el sensor Kinect.

6.3 Reconstrucción de la superficie

El archivo exportado tiene la extensión .PLY corresponde al formato de archivo de polígono o formato de triángulo de Stanford. Este formato puede ser almacenado en archivos ASCII y binarios. En este caso, sólo se está exportando puntos, pero los archivos .PLY también le permiten exportar aristas y caras (Paulbourke, 2016).

6.3.1 Desarrollo geométrico

La reconstrucción es un proceso que se desarrolla dentro de la programación explicada en el tema 6.2.2.2 pero la base de programación parte de un análisis geométrico. Basándonos el método de Visión Estéreo del tema 2.1.2.3, se precisaría de más cámaras. Al iniciar la exploración, siempre hay una cara visible,

y un lado oculto que no se puede capturar con una sola exploración. Figura 6.6 (a). El objeto sobre la base, gira, y punto P está en el lado visible. La base alcanzara cualquier ángulo y por lo tanto será capaz de ver el objeto desde todos los puntos de vista replicando el método de multiples ángulos usando un solo dispositivo.

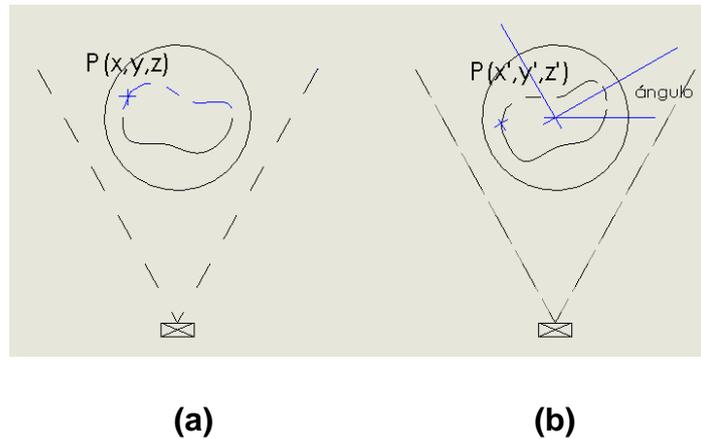


Figura 75 Esquema toma de datos:
(a) Punto $P(x,y,z)$, oculto. (b) Punto $P(x',y',z')$, visible.

Vamos a llamar a su ángulo α ; está girando el punto alrededor del eje y, por lo que la transformación aplicando la matriz de rotación será la siguiente:

$$x = x' * \cos(\alpha) - z' * \text{sen}(\alpha); \quad [7]$$

$$y = y' \quad [8]$$

$$z = z' * \text{sen}(\alpha) + x' * \cos(\alpha); \quad [9]$$

Al reconstruir la totalidad del objeto con diferentes exploraciones, es necesario tener todos los puntos que definen el objeto en el mismo sistema de coordenadas. Un punto P se define por las coordenadas $P(x, y, z)$; cuando gira la base en una nueva exploración, las coordenadas de P cambiaron, siendo ahora $P(x', y', z')$. Al saber con precisión el ángulo de la plataforma a partir de la exploración anterior, se puede recuperar fácilmente el punto original de coordenadas $P(x, y, z)$ a partir del punto $P(x', y', z')$ utilizando trigonometría básica que permite el desarrollo de la matriz de rotación.

Mediante la aplicación de esta transformación, puede realizar exploraciones desde tantos puntos de vista como desee y facilitar la construcción del volumen o 3D en un sistema de coordenadas consistente.

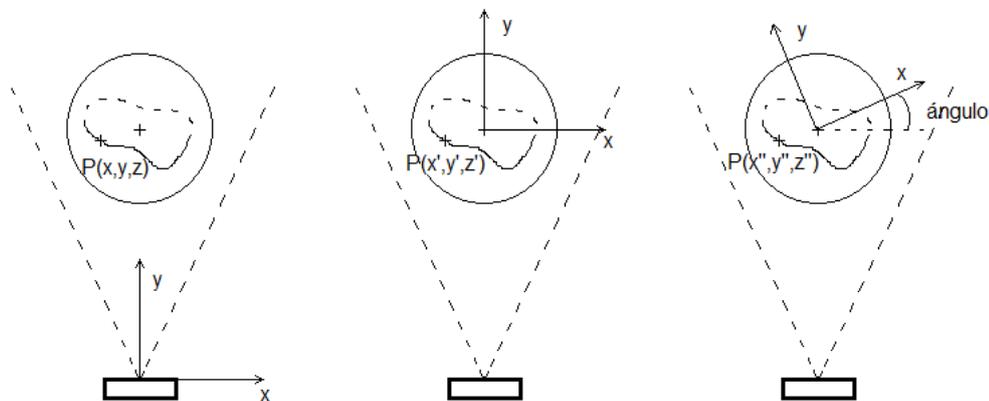


Figura 76 Reconstrucción del objeto, en el programa durante el giro de la base.

6.3.2 Mallado

Como se ha mencionado, en el último paso se transforma la nube de puntos en una superficie sólida usando un software de código abierto, llamado MeshLab. La reconstrucción de la superficie del conjunto de puntos no organizados es un proceso complicado que requiere incluso algoritmos más complicados. Hay una gran cantidad de investigación sobre cómo se puede realizar este proceso, no obstante el software de código abierto MeshLab (MeshLab, 2016) asocia archivos .PLY de forma automática, por lo que pueden hacer doble clic en el archivo y se abrirá en MeshLab.

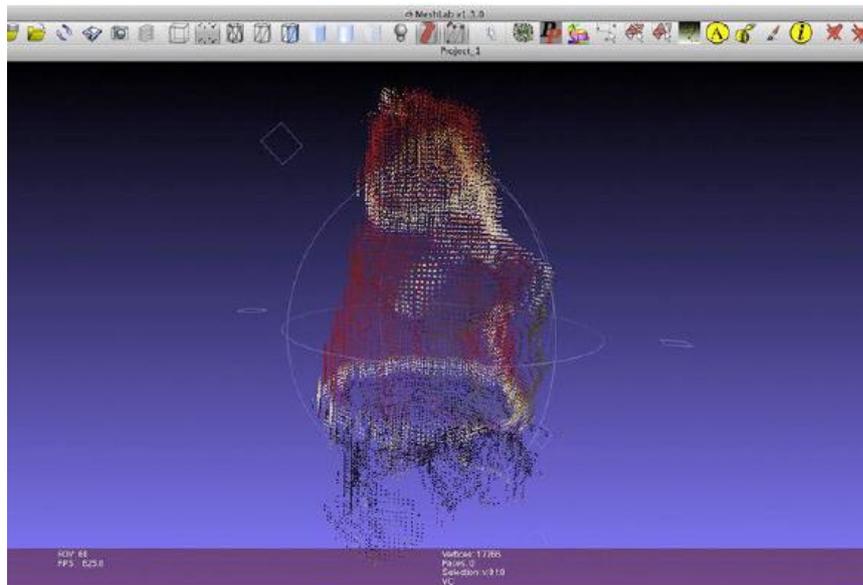


Figura 77 Nube de puntos en Meshlab.

En MeshLab al importar el archivo. Si el archivo se ha exportado correctamente y el número de vértices se corresponde con el número declarado de vértices, cuando se abre el archivo debe ver en la pantalla de un punto de enturbiamiento de colores se parece mucho a su objeto escaneado, como el que se muestra en la Figura 78.

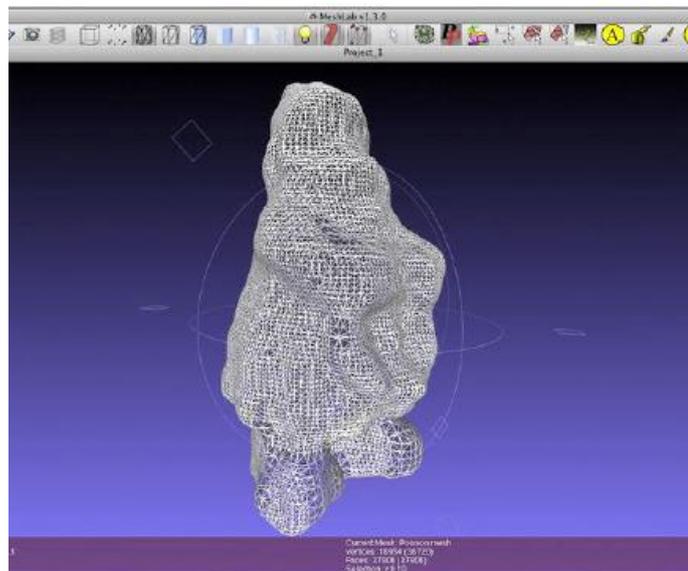


Figura 78 Mallado de una nube de puntos en Meshlab.

El proceso de mallado no debe durar más de un par de segundos y como resultado final se muestra en la Figura 79, un objeto solido listo para ser incluso ser impreso en 3D.

CAPITULO 7

VALIDACIÓN GENERAL DEL ESCÁNER 3D

Posterior a la construcción del prototipo y programación correspondiente, se somete a pruebas para verificar el cumplimiento del objetivo propuesto al inicio del documento. Después de establecer los parámetros a calificar para las pruebas necesarias para evaluar el funcionamiento del PEG-1, los parámetros son analizados para determinar resultados que nos permitan calificar su funcionamiento.

7.1 Realización de pruebas

El objetivo principal del PEG-1 es tomar las medidas de la geometría de un objeto y digitalizarlo en tres dimensiones, no superior a 2,5 kg de máximo 20x40 cm. Se evaluó al prototipo en conjunto con todas sus funciones durante un escaneo completo. Las variables a evaluar cualitativamente son:

- Tiempo empleado en escanear un objeto.
- Movimientos ajenos a la rotación en cada exploración.
- Comandos por teclado.

Al analizar estos puntos permiten evaluar el funcionamiento del prototipo en conjunto con condiciones normales de trabajo.

7.1.1 Diseño de pruebas

En el diseño de pruebas se tiene una lista de las operaciones que realiza el PEG-1, y se propone evaluar estas operaciones, (Tabla 21).

Tabla 21
Diseño de pruebas.

N°	Pruebas	Funciones a evaluarse
1	Movimiento del objeto sobre la mesa giratoria.	Movimiento rotacional. Tiempo en completar un giro. Estabilidad estructural.
2	Visualización de nube de puntos	Captura de datos. Construcción del objeto. Visualización del objeto.
3	Tiempo de Escaneo.	Limitar el campo de visión. Tiempo en escanear.
4	Reconstrucción del objeto.	Recopilación de datos. Generación archivo con nube de puntos. Archivo adecuado para mallado
5	Angulo de Giro.	Medición del ángulo de giro. Control en el ángulo de giro. Continuidad del sistema.
6	Funcionamiento de los comandos.	Uso de comandos. Pertinencia en los comandos

Para obtener un indicador del nivel de funcionamiento, se dará valoración a cada una de las pruebas entre del 1 al 5 dependiendo del comportamiento del Prototipo en sus distintas funciones, las ponderaciones y parámetros (Tabla 22).

Tabla 22
Ponderación para las pruebas de campo.

PONDERACIÓN	PARÁMETROS
Pruebas de funcionamiento (Prueba 1 – prueba 7)	
1	Dado el prototipo no realiza la función o parámetro evaluado.
2	Dado el prototipo realiza la función o parámetro evaluado con errores.
3	Dado el prototipo realiza la función o parámetro evaluado débilmente.
4	Dado el prototipo realiza la función o parámetro evaluado sin problemas.
5	Dado el prototipo realiza la función o parámetro evaluado satisfactoriamente.

Las calificaciones de cada prueba serán ingresadas en la tabla 23 para seguimiento.

7.1.2 Tipos de pruebas

Las pruebas a realizarse se muestran gráficamente a continuación:

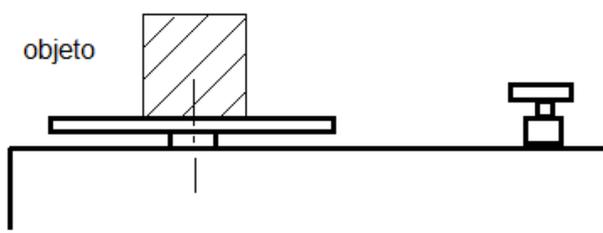


Figura 79 Esquemas Prueba 1 – 7.

Teniendo en cuenta los parámetros y las ponderaciones que se califican en las pruebas se propone la metodología a seguir, (ver

Tabla 23).

Tabla 23
Metodología de las pruebas.

Objetivo	Evaluar el nivel de funcionamiento, tiempo empleado en escanear, movimientos ajenos a la rotación en cada exploración, comandos por teclado.
Técnica	Ponderación según el comportamiento del robot, siguiendo la puntuación establecida.
Cuantificadores	Movimientos por Escaneo: no tiene cuantificador. Tiempo del escaneo: no tiene cuantificador. Reconstrucción de datos: no tiene cuantificador. Visualización de datos: no tiene cuantificador. Restricción en campo de Visión: no tiene cuantificador. Uso de comandos: no tiene cuantificador. Las variables se las calificará cualitativamente.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • PEG-1 • Usuario • Objeto.
Metodología	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conectar compones del PEG-1 al computador. 2. Arrancar Software de funcionamiento del PEG-1. 3. El Objeto debe ubicarse en la mesa giratoria. 4. Dar el comando del teclado de inicio. 5. Exportar Archivo. 6. Tabular el puntaje que se obtuvo al realizar la prueba. 7. Repetir el procedimiento de los pasos 5 y 6, 5 veces.

7.1.3 Ejecución de pruebas

Siguiendo la metodología propuesta en el capítulo anterior se dispone a realizar las pruebas y tabulaciones correspondientes.

Tabla 24
Datos obtenidos de las distintas pruebas con diferentes objetos.

Nº	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7
1	4	5	5	5	5	5	3
2	5	5	5	5	5	4	5
3	5	5	5	5	5	5	5
4	5	3	5	5	5	2	5
5	3	3	5	5	5	5	5
Promedio	4,4	4,2	5	5	5	4,2	4,6

7.2 Resultado de las pruebas

Se observa con más claridad los resultados obtenidos de las pruebas realizadas (Tabla 24) para realizar el análisis correspondiente de las variables mencionadas en el tema 7.1

Tabla 25
Resumen de resultados de las pruebas de funcionamiento.

Pruebas de seguimiento y detección	Prueba	Condiciones Estándar
	Prueba 1	4,4
	Prueba 2	4,2
	Prueba 3	5
	Prueba 4	5
	Prueba 5	5
	Prueba 6	4,2
	Prueba 7	4,6
	Porcentaje	92,57%

Los resultados obtenidos al ser muy similares y cercanos al máximo puntaje nos muestran que el prototipo cumple con características de construcción y diseño óptimos. No presenta problemas en su uso ni su desempeño debido al ajuste necesario, alineaciones entre la cámara y el centro de la mesa giratoria.

Luego se realizó las pruebas de detección en diferentes condiciones de luz, no especificadas en las pruebas anteriores debido a las características del sensor que permiten incluso realizar escaneos con poca luz, viéndose afectado solo por el color al manejar la cámara RGB luz para su funcionamiento. El único problema que sobresalió fue la distancia, limitada por el sensor Kinect, que limita un diseño más compacto.

7.3 Análisis de los resultados y calificación del escáner 3D

Los resultados (ver Tabla 25) permiten calificar el funcionamiento general del prototipo. El porcentaje obtenido de 92,57% para diversos objetos.

Con fines de calificación general se toma la peor calificación aunque el problema de las llantas sea solucionable, de manera que en general el PEG.1 tiene una calificación del 92,57% en el seguimiento.

Con respecto al reconocimiento de comandos se muestra la sutileza y la facilidad al manipular presentando los valores mostrados.

Con estos datos nos permite tener una idea del funcionamiento obtenido por el prototipo con diversos objetos.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Terminado el diseño y posterior la construcción del prototipo PEG-1 se cumple con el principal objetivo planteado, escanear objetos en 3D.
- El último capítulo luego de pruebas de funcionamiento y mostrando el puntaje obtenido nos aseguran que el sistema mecánico diseñado cumple con las condiciones iniciales establecidas permitiendo un movimiento preciso y fiable.
- Otro de los aspectos que permitieron la realización de las pruebas realizadas y que pasó desapercibido fue tener un sistema electrónico y de control estable que permite un control del giro adecuado para la posterior implementación del algoritmo que manipula las mediciones realizadas.
- El algoritmo como pilar fundamental de todo el proceso es donde se maneja la gran cantidad de datos en cada exploración, un adecuado manejo de los datos y su interpretación por medio del diseño hizo posible la implementación del código que realiza la función de lectura, almacenamiento y reconstrucción.

8.2 Recomendaciones

- Siendo este uno de los primeros pasos y atravesando todo el proceso de diseño y construcción, permite establecer otros criterios que quedan fuera del alcance del proyecto inicial. Estos criterios, ideas permiten el mejoramiento del sistema, permite la creación de otros prototipos o la especialización o incluso otras aplicaciones.
- Una de estas ideas presentes es un análisis que permita encontrar el error entre el objeto real y el escaneado que con lleve a un uso industrial en el uso de ingeniería inversa. La visión artificial es uno de los eslabones en la robótica permitiendo ahora visualizar el entorno para realizar diferentes actividades que necesite medir distancias entre el objeto y un obstáculo.
- Otra de las posibilidades que permitió el desarrollo del proyecto fue el uso de prototipado rápido. Se puede decir que el ahorro en tiempo y dinero reduce a la mitad esos valores, costos altos por la mano de obra, maquinaria empleada y proceso de fabricación.
- Esta recomendación del uso de prototipado rápido, en este caso impresión 3D permitió mejorar los parámetros con respecto al proyecto. Por esta razón representa que con una sola máquina, nos permite un prototipo rápido y confiable, perfecto para cuando se desea crear prototipos que mejoraran constantemente antes de realizar el diseño definitivo.

Bibliografía.

- Arduino. (20 de Marzo de 2016). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- arduino. (28 de enero de 2016). *Guía de introducción de Arduino*. Obtenido de <http://arduino.cc/es/>: <http://www.Arduino.cc/es>
- Arduino. (15 de Agosto de 2016). *Guía de introducción de Arduino*. Obtenido de <http://www.Arduino.cc/es>
- Beer Jhonston, M. E. (2010). *Mecánica Vectorial para Ingenieros Estática 9va edición*. McGraw-Hill.
- Bolton, W. (2005). *Mecatrónica*. Mexico: Alfaomega.
- Coorporation, N. S. (16 de Marzo de 2016). *Nidec Servo Coorporation*. Obtenido de http://www.nidec-servo.com/en/digital/c_ste/2hm.html
- Curless, B. (4 de Noviembre de 1999). <http://homes.cs.washington.edu>. Obtenido de <http://homes.cs.washington.edu/~curless/publications/cg99.pdf>
- Curless, B. (2000). *From Range Scans to 3D Models*. Washington-Estados Unidos: ACM SIGGRAPH Computer Graphics.
- DFRobot. (20 de Marzo de 2016). *DFRobot*. Obtenido de <http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=File:DFR0058.jpg>
- Docchio, F., Sansoni, G., & Trebeschi, M. (2009). *State-of-The-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation*. Brescia-Italy: Laboratory of Optoelectronics, University of Brescia.
- Drok Productos. (16 de Marzo de 2016). *Drok Productos*. Obtenido de <http://www.droking.com/dual-l298n-driver-module-manual-download>

- Endres, F., Jürgen, H., Jürgen, S., Cremers, D., & Wolfram, B. (2014). *3D Mapping with an RGB-D Camera*. IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS.
- Enrique Ramoz Melgar, C. C. (2012). *Arduino and Kinect Projects*. Technology in Action.
- ESPE. (10 de agosto de 2013).
<http://www.espe.edu.ec/portal/portal/main.do?sectionCode=1257>. Obtenido de <http://www.espe.edu.ec/portal/portal/main.do?sectionCode=1257>:
<http://www.espe.edu.ec/portal/portal/main.do?sectionCode=1257>
- Felix Endres, J. H. (2014). 3D Mapping with an RGB-D Camera. *IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS*, 11.
- Giovanna Sansoni *, M. T. (20 de Enero de 2009). <http://www.mdpi.com/1424-8220/9/1/568>. Obtenido de <http://www.mdpi.com/1424-8220/9/1/568>
- Heredia Favieri, N. M. (2015). *Reconocimiento de Objetos en Imagenes RGB-D*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Departamento de Computación.
- <http://paulbourke.net>. (15 de Abril de 2016). <http://paulbourke.net/dataformats/ply>. Obtenido de <http://paulbourke.net/dataformats/ply>:
<http://paulbourke.net/dataformats/ply>
- J.E., S. (2006). *Diseño en Ingeniería Mecánica. 8va edición*. Mexico: McGraw-Hill.
- José, T. (2005). *Escaneado en 3D y Prototipado de piezas arqueológicas: Las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del patrimonio arqueológico*. Iberia-España.
- Joseph E Shigley. (2010). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (9 ed.)*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Ladikos, S. (2011). *Real-Time Multi-View 3D Reconstruction for Interventional Environments, 2011.* . Múnich: Technischen Universität München.
- MeshLab. (15 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://MeshLab.sourceforge.net>:

- MeshLab. (15 de Marzo de 2016). *http://MeshLab.sourceforge.net*. Obtenido de <http://MeshLab.sourceforge.net>
- Microsoft. (20 de Marzo de 2016). *Kinect para Windows*. Obtenido de <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- Microsoft. (15 de Enero de 2016). *Microsoft Kinect para Windows SDK V1.5.2*. Obtenido de <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=30455>:
- Microsoft. (25 de Enero de 2016.). *Microsoft Kinect para Windows SDK V1.5.2*. Obtenido de <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=30455>
- Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. En R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas* (págs. 984-710). Mexico D.F.: Pearson.
- MSDN, K. p. (10 de Febrero de 2016). *MSDN*. Obtenido de Documentación Kinect para Windows SDK: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh855347.aspx>
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de maquinaria Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos Cuarta Edición*. Worcester, Massachusetts: Worcester Polytechnic Institute.
- Paulbourke. (15 de Abril de 2016). Obtenido de <http://paulbourke.net/dataformats/ply> [recuperado 15/04/2016]
- Plásticos Enres. (2012). Película estirable para un embalaje seguro. *Wordpress*, 1-7.
- Sebastián, J. M. (2005). *Escaneado en 3D y Prototipado de piezas arqueológicas: Las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del patrimonio arqueológico*. Iberia.
- Shigley, J. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México DF-México: McGraw-Hill.

Stawros Ladikos. (s.f.). *Real-Time Multi-View 3D Reconstruction for Interventional Environments*. Technischen Universitat M.

Stawros Ladikos, R.-T. M.-V. (s.f.). *Real-Time Multi-View 3D Reconstruction for*.

System, V. R. (16 de Marzo de 2016). VEX. Obtenido de http://www.vexrobotics.com/wiki/Gear_Kit

System, V. R. (16 de Marzo de 2016). *VEX Robotics Design System*.

Velasteguí Cáceres, J. D. (2013).

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7769>. Obtenido de

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7769>:

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7769/1/AC-GMA-ESPE-047433.pdf>

Velasteguí, J., & Guerrero, F. (2013). *Uso y procesamiento del sistema escáner láser para el modelamiento 3D de datos geoespaciales en las áreas de la construcción, patrimonio cultural y espeleología*. Sangolquí-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Yacuzzi Enrique, F. M. (3 de Junio de 2016). *ucema*. Recuperado el Agosto de 2016, de <https://www.ucema.edu.ar/publicaciones/documentos/234.pdf>

Yacuzzi, E., & Martín, F. (2013). *QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS*. Buenos Aires-Argentina: Universidad del CEMA.

