



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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRONICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO
ESTABILIZADOR PARA LA CÁMARA DE UN DRONE**

**AUTORES: ARELLANO NAJERA FRANCISCO DAVID
JIRONZA HIDALGO JULIO ALEJANDRO**

DIRECTOR: ING. IBARRA JÁCOME ALEXANDER

SANGOLQUÍ

2015



**DEPARTAMENTO DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO ESTABILIZADOR PARA LA CAMARA DE UN DRONE**", fue 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 a los señores **Francisco David Arellano Najera** y **Julio Alejandro Jironza Hidalgo** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 26 de Noviembre de 2015

Ing. Alexander Ibarra MGs.

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Francisco David Arellano Najera** y **Julio Alejandro Jironza Hidalgo**, con cédulas de identidad N° 1720496106 y 0804165678 respectivamente, declaro que este trabajo de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MECANISMO ESTABILIZADOR PARA LA CAMARA DE UN DRONE" 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 nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada

Sangolquí, 26 de Noviembre de 2015

**Francisco David
Arellano Nájera**

**Julio Alejandro
Jironza Hidalgo**



**DEPARTAMENTO DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Francisco David Arellano Nájera** y **Julio Alejandro Jironza Hidalgo**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MECANISMO ESTABILIZADOR PARA LA CAMARA DEL DRONE”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 26 de Noviembre de 2015

Francisco David
Arellano Nájera

Julio Alejandro
Jironza Hidalgo

DEDICATORIA

Primero quiero dar gracias a Dios por permitirme culminar con otro escalón más en mi vida, dedico la culminación del mismo a mis padres Marlon y Rosita quienes como dos pilares en toda mi vida marcaron mi camino y supieron brindarme la mano cuando más lo necesitaba.

A mi ángel del cielo mi abuelita quien no pudo estar presente físicamente pero en mi corazón siempre va a estarlo, gracias por todos tus consejos y todas tus enseñanzas las cuales ahora se plasman en un nuevo profesional.

A mi hermana, Priscila quien con sus palabras de aliento me brindó su apoyo en todo momento y compartió junto a mi estos años de carrera, fortaleciendo cada día nuestra hermandad y demostrándome que siempre voy a contar con la misma.

También quiero dedicar este nuevo logro a mi sobrino Cristopher quien cuando más lo necesitaba llevo alegrar mi vida brindándome su cariño y ternura en mis momentos más difíciles y de estrés,

A mis amigos, quienes formaron parte muy importante de todo este trayecto, con quienes no solo compartí un aula si no también momentos de alegría, peleas y tristezas y que ahora se vuelven una anécdota de toda mi vida.

Francisco David Arellano Najera

DEDICATORIA

He cumplido un objetivo en mi vida y se lo dedico a mis padres Jorge Jironza y Yolena Hidalgo quienes han sido el pilar fundamental en mi vida y las personas que siempre están a mi lado y nunca me han dejado caer a pesar de las adversidades, brindándome siempre su amor y confianza para salir adelante y que hoy día gracias a ellos culmino una meta más en mi vida.

A mis hermanos Leonardo, Jheimy, Ángel (chico) y Lisseth que con su apoyo, cariño y confianza han sabido apoyarme en cada paso que doy. A mi tío Ángel y mi tía Lissethy quienes prácticamente se han convertido en padres para mí. A mi familia en general ya que sé que este logro los enorgullece tanto como a mí.

A mis amigos(as), quienes siempre han estado ahí en los buenos y malos momentos, y se han convertido en parte importante de mi vida.

Quiero hacer una dedicatoria especial a dos personas que nos dejaron hace algún tiempo atrás porque así Dios lo quiso; a mi abuela Mélida Peñafiel y mi abuelo Julio Jironza que estoy seguro que desde donde sea que estén se encuentran orgulloso de mí, estas dos personas siempre me apoyaron en todo y sé que este logro también es gracias a ellos.

Julio Alejandro Jironza Hidalgo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios y a mis padres Marlon Arellano y Rosita Nájera quienes fueron los encargados de plantar en mis grandes virtudes y de saberme llevarme siempre por el camino del bien, también supieron brindarme de sus conocimientos y más que todo me dieron algo por que luchar y siempre seguir adelante sin importar lo malo que parezca el camino ellos siempre estuvieron presentes para brindarme su mano.

A mi hermana Priscila Arellano quien con sus palabras de aliento y su gran carisma me ayudo a superar cualquier obstáculo no solo académico si no también personal, ella fue la encargada de enseñarme siempre el lado positivo de todo y no me permitió decaer.

Al miembro más pequeño de mi familia mi querido sobrino Cristopher, quien llego a completar ese pentágono de felicidad que ahora nos permite seguir adelante como toda una estrella, gracias por tus pequeñas locuras y porque siempre me regalas esas sonrisas que me hacen recordar que la luz más pequeña brilla sobre la más grande obscuridad.

Agradezco a mis amigos quienes con su confianza, conocimiento, salidas y cordura me hicieron ver que hasta en los caminos difíciles se puede salir adelante buscando una aventura.

Como parte fundamental de este entorno, quiero agradecer a mis Maestros quienes son de gran importancia en este arduo proceso, quienes en cada jornada de clase supieron compartirme sus conocimientos de forma exigente, generosa, para sembrar en mí un alto nivel de conocimiento y profesionalismo. Estoy seguro que la exigencia y perseverancia que ellos tenían en su enseñanza, en cada uno de los niveles de carrera es lo que me permitió cruzar todo obstáculo que se me presento en este camino.

Francisco David Arellano Najera

AGRADECIMIENTOS

Hoy es un gran día! Luego de un largo camino me gradúo como Ingeniero Mecatrónico en esta gran Institución como lo es la ESPE, un gran logro en mi vida. Quiero darle gracias a Dios porque es parte de mi vida y con él lo difícil e imposible se hace fácil posible. Agradezco infinitamente a mis padres Jorge Jironza y Yolena Hidalgo por siempre confiar en mí, brindarme siempre su apoyo incondicional, por brindarme consejos y motivaciones que muchas veces necesité ante cada reto que se me presentaba en el camino, gracias a esto aprendí a nunca rendirme sin importar los inconvenientes. A mis hermanos Leonardo, Jheimy, Ángel (chico) y Lisseth con quienes día a día compartimos nuevas historias y quienes con su amor, amistad y cariño muchas veces me alegran el día, de ellos también espero sigan el camino correcto siguiendo siempre sus sueños y metas.

Estar fuera de mi hogar fue muy difícil, pero todo sacrificio tiene su recompensa y por eso hoy estoy aquí recibiendo mi recompensa luego de un gran sacrificio; por esto quiero agradecer a mi familia en general, tíos, primos, quienes siempre me dieron sus palabras de aliento, con su gran carisma me ayudaron a superar obstáculos, enseñándome a ver siempre el lado positivo de las cosas y no decaer.

Agradezco a mis compañeros de la universidad, con las cuales compartimos buenos momentos a lo largo de la vida universitaria. Un agradecimiento especial a mis amigos(as), no es necesario nombrarlos porque ellos saben quiénes son, ellos hicieron que todo este tiempo fuera de mi hogar sea grato, con nuestras ocurrencias siempre nos divertimos y pasamos momentos inolvidables.

A mis maestros de toda mi vida estudiantil los cuales son las personas que han guiado este largo camino que no culmina hoy, sino es el inicio de nuevas metas por cumplir.

Julio Alejandro Jironza Hidalgo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xx
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación e importancia	5
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Descripción del proyecto.....	6
1.5. Alcance	6
CAPÍTULO II	10
2. MARCO TEÓRICO	10

2.1.	Generalidades del sistema.....	10
2.2.	Generalidades mecánicas.....	10
2.3.	Generalidades eléctricas y electrónicas.....	16
2.4.	Generalidades de control	17
2.4.1.	Máquina de estados finitos (fsm)	18
2.4.2.	Arduino	20
2.4.3.	Finalidad de la plataforma.....	21
2.4.4.	Puerto serial.....	21
2.4.5.	Control serial de servomotores	22
2.4.6.	Arduino shields	22
2.4.7.	Giroscopios.....	23
2.4.8.	Drones	24
2.4.9.	Estabilizadores	34
	CAPÍTULO III.....	38
	3. DISEÑO.....	38
3.1.	Parámetros considerados para el diseño	38
3.1.1.	Impresión 3D	38
3.1.2.	Selección de material.....	49
3.1.3.	Diseño del mecanismo.....	52
3.1.4.	Diseño del controlador	135
	CAPÍTULO IV	160
	4. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS	160
4.1.	Construcción del mecanismo 1	160
4.1.1.	Construcción de la base del mecanismo 1	160
4.1.2.	Construcción del mecanismo para el eje X del mecanismo 1	161
4.1.3.	Construcción del mecanismo para el eje Y del mecanismo 1	162

4.2.	Construcción del mecanismo 2	163
4.2.1.	Construcción de la base del mecanismo 2	163
4.2.2.	Construcción de la pieza para el movimiento en el eje X y Y del mecanismo 2.....	164
4.3.	Construcción del mecanismo 3	165
4.3.1.	Construcción de la base del mecanismo 3	165
4.3.2.	Construcción de la pieza para el movimiento en el eje X y Y del mecanismo 3.....	166
4.3.3.	Construcción de la pieza para la sujeción del sensor y la batería del mecanismo 3.....	167
4.3.4.	Construcción de las tapas para el servo y micro servomotor del mecanismo 3.....	168
4.3.5.	Instalación de servomotores	169
4.3.6.	Ensamble mecánico y de la cámara	170
4.3.7.	Instalación del circuito de control.....	172
4.3.8.	Suministro energético	173
4.3.9.	Cableado	174
4.3.10	Instalaciones de protecciones de seguridad.....	174
4.4	Pruebas y Resultados	175
4.4.1.	Pruebas y resultados del mecanismo 1	175
4.4.2.	Pruebas y resultados del mecanismo 2	176
4.4.3.	Pruebas y resultados del mecanismo 3	177
	CAPÍTULO V	178
	5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	178
5.1.	Conclusiones.....	178
5.2.	Recomendaciones	179
	Bibliografía	180
	ANEXOS.....	183

A1: DIAGRAMAS ELÉCTRICOS	184
A2: PLANOS MECANISMO	185
A3: DATASHEETS.....	186
A4: Programación	187

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA No. 1: Ejemplo de Mecanismo.....	1
FIGURA No. 2: Análisis de un mecanismo	2
FIGURA No. 3: Tabla características plásticos impresoras 3D.....	7
FIGURA No. 4: Ejemplo de mecanismo.....	11
FIGURA No. 5: Eslabón Simple	11
FIGURA No. 6: Eslabón Complejo.....	12
FIGURA No. 7: Motor Actuador	13
FIGURA No. 8: Hombre Actuador.....	14
FIGURA No. 9: Tipos de Cadenas Cinemáticas	14
FIGURA No. 10: Diagrama Cinemático	15
FIGURA No. 11: Diagrama de bloques.....	19
FIGURA No. 12: Diagrama de bloques de la estructura de una máquina.....	21
FIGURA No. 13: Lógica no invertida que debe ser enviada al servomotor ...	22
FIGURA No. 14: Lógica no invertida que debe ser enviada al servomotor ...	23
FIGURA No. 15: Clasificación de los Drones.....	27
FIGURA No. 16: Clasificación de los Drones (Pololu, 2014).	28
FIGURA No. 17: Drones de uso comercial.	29
FIGURA No. 18: Drones aficionados.	30
FIGURA No. 19: Estabilizador mecánico	36
FIGURA No. 20: Plástico ABS.	39
FIGURA No. 21: Plástico PLA (Pololu, 2014).	40
FIGURA No. 22: Plástico PVA (Pololu, 2014).....	41
FIGURA No. 23: Plástico PC (Pololu, 2014).	42
FIGURA No. 24: Plástico Nylon.	43
FIGURA No. 25: Plástico Laybrick (Pololu, 2014).....	45
FIGURA No. 26: Plástico Laywoo-D3.	46
FIGURA No. 27: Plástico T-Glase.....	47
FIGURA No. 28: Plástico Filaflex (Pololu, 2014).....	48
FIGURA No. 29: Drone Phantom 2.....	53
FIGURA No. 30: Sistema de referencia (Pololu, 2014).....	53
FIGURA No. 31: Almohadillas de la base	54
FIGURA No. 32: Almohadillas de la base al estabilizador	54

FIGURA No. 33: Base del Drone Phantom 2.....	55
FIGURA No. 34: Base del Drone Phantom 2.....	55
FIGURA No. 35: Mecanismo Base vista superior	56
FIGURA No. 36: Mecanismo Base vista frontal	57
FIGURA No. 37: Mecanismo Base vista lateral	57
FIGURA No. 38: Mecanismo Base vista isométrica.....	58
FIGURA No. 39: Vaciados realizados en la Base.....	58
FIGURA No. 40: Nervios realizados en la Base.....	59
FIGURA No. 41: Parámetros Drone.....	60
FIGURA No. 42: Material Aplicado a nuestro mecanismo	60
FIGURA No. 43: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.....	61
FIGURA No. 44: Configuración del valor de la carga.....	61
FIGURA No. 45: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo	62
FIGURA No. 46: Mecanismo de la base mallado.....	62
FIGURA No. 47: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.....	63
FIGURA No. 48: Desplazamientos en el mecanismo	63
FIGURA No. 49: Deformaciones Unitarias en el mecanismo.....	64
FIGURA No. 50: Factor Seguridad por debajo del límite (1).....	65
FIGURA No. 51: Resultado del análisis de FOS.....	65
FIGURA No. 52: Resultado del análisis de FOS.....	65
FIGURA No. 53: Resultado del análisis de FOS.....	66
FIGURA No. 54: Mecanismo eje X vista superior	66
FIGURA No. 55: Mecanismo eje X vista frontal	67
FIGURA No. 56: Mecanismo eje X vista lateral	67
FIGURA No. 57: Mecanismo eje X vista isométrica.....	67
FIGURA No. 58: Vaciados mecanismo eje X.....	68
FIGURA No. 59: Nervios mecanismo eje X	68
FIGURA No. 60: Nervios mecanismo eje X	68
FIGURA No. 61: Nervios mecanismo eje X	69
FIGURA No. 62: Servomotor HS-311	69
FIGURA No. 63: Datasheet Servomotor HS-311.....	70
FIGURA No. 64: Material Aplicado a nuestro mecanismo	70
FIGURA No. 65: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.....	71
FIGURA No. 66: Configuración del valor de la carga.....	71

FIGURA No. 67: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo	72
FIGURA No. 68: Mecanismo de la base mallado.....	72
FIGURA No. 69: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.....	73
FIGURA No. 70: Desplazamientos en el mecanismo	73
FIGURA No. 71: Deformaciones Unitarias generados en el mecanismo.....	74
FIGURA No. 72: Factor Seguridad por debajo del límite (1).....	74
FIGURA No. 73: Resultado del análisis de FOS.....	75
FIGURA No. 74: Resultado del análisis de FOS.....	75
FIGURA No. 75: Resultado del análisis de FOS.....	76
FIGURA No. 76: Mecanismo eje Y vista superior	76
FIGURA No. 77: Mecanismo eje Y vista frontal	77
FIGURA No. 78: Mecanismo eje Y vista lateral	77
FIGURA No. 79: Mecanismo eje Y vista isométrica.....	78
FIGURA No. 80: Vaciados mecanismo eje Y.....	78
FIGURA No. 81: Servomotor HS-311 (Pololu, 2014).....	79
FIGURA No. 82: Material Aplicado a nuestro mecanismo	80
FIGURA No. 83: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.....	80
FIGURA No. 84: Configuración del valor de la carga.....	80
FIGURA No. 85: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo	81
FIGURA No. 86: Mecanismo eje Y mallado.....	81
FIGURA No. 87: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.....	82
FIGURA No. 88: Desplazamientos en el mecanismo.	82
FIGURA No. 89: Deformaciones Unitarias en el mecanismo.....	83
FIGURA No. 90: Factor Seguridad por debajo del límite (1).....	83
FIGURA No. 91: Resultado del análisis de FOS.....	84
FIGURA No. 92: Resultado del análisis de FOS.....	84
FIGURA No. 93: Resultado del análisis de FOS.....	85
FIGURA No. 94: Mecanismo eje X vista superior.	86
FIGURA No. 95: Mecanismo eje X vista frontal.	86
FIGURA No. 96: Mecanismo eje X vista lateral.	87
FIGURA No. 97: Mecanismo eje X vista isométrica.....	87
FIGURA No. 98: Nervios mecanismo eje X.	88
FIGURA No. 99: Servomotor UK- Warehouse.....	88
FIGURA No. 100: Datasheet Servomotor UK- Warehouse.....	89

FIGURA No. 101: Material Aplicado a nuestro mecanismo.	89
FIGURA No. 102: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.....	90
FIGURA No. 103: Configuración del valor de la carga.....	90
FIGURA No. 104: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo.	91
FIGURA No. 105: Mecanismo de la base mallado.....	91
FIGURA No. 106: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.....	92
FIGURA No. 107: Desplazamientos en el mecanismo.	92
FIGURA No. 108: Deformaciones Unitarias en el mecanismo.....	93
FIGURA No. 109: Factor Seguridad por debajo del límite (1).	93
FIGURA No. 110: Resultado del análisis de FOS.....	94
FIGURA No. 111: Resultado del análisis de FOS.....	94
FIGURA No. 112: Resultado del análisis de FOS.....	95
FIGURA No. 113: Mecanismo eje Y vista superior.	95
FIGURA No. 114: Mecanismo eje Y vista frontal.	96
FIGURA No. 115: Mecanismo eje Y vista lateral.	96
FIGURA No. 116: Mecanismo eje Y vista isométrica.....	97
FIGURA No. 117: Nervios mecanismo eje X.	97
FIGURA No. 118: Servomotor HS-311.	98
FIGURA No. 119: Material Aplicado a nuestro mecanismo	99
FIGURA No. 120: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.....	99
FIGURA No. 121: Configuración del valor de la carga.....	100
FIGURA No. 122: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo.	100
FIGURA No. 123: Mecanismo eje Y mallado.....	100
FIGURA No. 124: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.....	101
FIGURA No. 125: Desplazamientos en el mecanismo.	101
FIGURA No. 126: Deformaciones en el mecanismo.....	102
FIGURA No. 127: Factor Seguridad por debajo del límite (1).	102
FIGURA No. 128: Resultado del análisis de FOS.....	103
FIGURA No. 129: Resultado del análisis de FOS.....	103
FIGURA No. 130: Resultado del análisis de FOS.....	104
FIGURA No. 131: Mecanismo Base vista superior.	104
FIGURA No. 132: Mecanismo Base vista frontal.	105
FIGURA No. 133: Mecanismo Base vista lateral.	105
FIGURA No. 134: Mecanismo Base vista isométrica.....	106

FIGURA No. 135: Vaciados realizados en la Base	106
FIGURA No. 136: Nervios realizados en la Base.....	107
FIGURA No. 137: Parámetros Drone.....	108
FIGURA No. 138: Material Aplicado a nuestro mecanismo.	108
FIGURA No. 139: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.....	109
FIGURA No. 140: Configuración del valor de la carga.....	109
FIGURA No. 141: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo.	110
FIGURA No. 142: Mecanismo de la base mallado.....	110
FIGURA No. 143: Tensiones generados por la carga en el mecanismo....	111
FIGURA No. 144: Desplazamientos en el mecanismo.	111
FIGURA No.145: Deformaciones Unitarias en el mecanismo.....	112
FIGURA No. 146: Factor Seguridad por debajo del límite (1).	113
FIGURA No. 147: Resultado del análisis de FOS.....	113
FIGURA No. 148: Resultado del análisis de FOS.....	114
FIGURA No. 149: Resultado del análisis de FOS.....	114
FIGURA No. 150: Mecanismo eje Y vista superior.	115
FIGURA No. 151: Mecanismo eje Y vista frontal.	115
FIGURA No. 152: Mecanismo eje Y vista lateral.	116
FIGURA No. 153: Mecanismo eje Y vista isométrica.....	116
FIGURA No. 154: Nervios mecanismo eje X.	117
FIGURA No. 155: Servomotor HS-311.	117
FIGURA No. 156: Material Aplicado a nuestro mecanismo.	118
FIGURA No. 157: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.....	119
FIGURA No. 158: Configuración del valor de la carga.....	119
FIGURA No. 159: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo.	119
FIGURA No. 160: Mecanismo eje Y mallado.....	120
FIGURA No. 161: Tensiones generados por la carga en el mecanismo....	120
FIGURA No. 162: Desplazamientos generados en el mecanismo.....	121
FIGURA No. 163: Deformaciones Unitarias en el mecanismo.....	121
FIGURA No. 164: Factor Seguridad por debajo del límite (1).	122
FIGURA No. 165: Resultado del análisis de FOS.....	122
FIGURA No. 166: Resultado del análisis de FOS.....	123
FIGURA No. 167: Resultado del análisis de FOS.....	123
FIGURA No. 168: Mecanismo suspensión vista superior.	124

FIGURA No. 169: Mecanismo suspensión vista frontal.	125
FIGURA No. 170: Mecanismo suspensión vista lateral.	125
FIGURA No. 171: Mecanismo suspensión vista isométrica.	126
FIGURA No. 172: Material Aplicado a nuestro mecanismo.	127
FIGURA No. 173: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.....	128
FIGURA No. 174: Configuración del valor de la carga.....	128
FIGURA No. 175: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo.	129
FIGURA No. 176: Mecanismo eje Y mallado.	129
FIGURA No. 177: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.....	130
FIGURA No. 178: Desplazamientos en el mecanismo.	130
FIGURA No. 179: Deformaciones Unitarias en el mecanismo.....	131
FIGURA No. 180: Factor Seguridad por debajo del límite (1).	131
FIGURA No. 181: Resultado del análisis de FOS.....	132
FIGURA No. 182: Resultado del análisis de FOS.....	132
FIGURA No. 183: Resultado del análisis de FOS.....	133
FIGURA No. 184: Mecanismo estabilizador 2.....	134
FIGURA No. 185: Mecanismo estabilizador 3.....	134
Figura No. 186: Mecanismo estabilizador 1	134
FIGURA No. 187: Arduino NANO.	135
FIGURA No. 188: Dimensiones Arduino Nano.	135
FIGURA No. 189: Distribución de Pines Arduino NANO.....	136
FIGURA No. 190: Wii Nunchuk.....	136
FIGURA No. 191: Botonera, potenciómetro y acelerómetro.	137
FIGURA No. 192: Ejes de referencia del acelerómetro.	137
FIGURA No. 193: Ejes de referencia del acelerómetro (Pololu, 2014).	138
FIGURA No. 194: Partes internas de un acelerómetro.	139
FIGURA No. 195: Acelerómetro piezoeléctrico.....	139
FIGURA No. 196: Diagrama Flujo controlador.....	140
FIGURA No. 197: Diagrama control en lazo cerrado PD.	141
FIGURA No. 198: Diagrama control en lazo cerrado PI.....	144
FIGURA No. 199: Diagrama control en lazo cerrado PID.	145
FIGURA No. 200: Planta ON/OFF sin histéresis (Pololu, 2014).	147
FIGURA No. 201: Planta ON/OFF con histéresis (Pololu, 2014).	147
FIGURA No. 202: Modelamiento matemático planta.	149

FIGURA No. 203: Datos Hitec Fabricante.	152
FIGURA No. 204: Planta Servomotor Lazo Abierto.	153
FIGURA No. 205: Planta Scope.....	153
FIGURA No. 206: Planta Servomotor Lazo Cerrado.....	153
FIGURA No. 207: Planta Servomotor Lazo Cerrado.....	154
FIGURA No. 208: Planta Servomotor Lazo Cerrado con controlador.	155
FIGURA No. 209: Planta con $K_p=20$	155
FIGURA No. 210: Planta con $K_p=50$	156
FIGURA No. 211: Tiempo de establecimiento con $K_p=50$	156
FIGURA No. 212: Planta con $K_p=100$	157
FIGURA No. 213: Tiempo de establecimiento con $K_p=100$	157
FIGURA No. 214: Planta con $K_p=1000$	158
FIGURA No. 215: Tiempo de establecimiento con $K_p=1000$	158
FIGURA No. 216: Base mecanismo 1	161
FIGURA No. 217: Pieza mecanismo eje X	162
FIGURA No. 218: Mecanismo eje Y	163
FIGURA No. 219: Base mecanismo 2	164
FIGURA No. 220: Mecanismo eje X e Y	165
FIGURA No. 221: Base mecanismo 3	166
FIGURA No. 222: Mecanismo eje X e Y	167
FIGURA No. 223: Mecanismo de sujeción	167
FIGURA No. 224: Tapa Micro servomotor	168
FIGURA No. 225: Tapa Servomotor	168
FIGURA No. 226: Servomotor colocado en la base.....	169
FIGURA No. 227: Ubicación del micro servomotor.....	170
FIGURA No. 228: Ensamble de piezas principales.....	171
FIGURA No. 229: Ensamble de la cámara del drone	171
FIGURA No. 230: Instalación de Arduino nano	172
FIGURA No. 231: Instalación del acelerómetro	173
FIGURA No. 232: Suministro energético	174
FIGURA No. 233: Toma 1 de la cámara del drone sin estabilizador.....	175
FIGURA No. 234: Toma 2 de la cámara del drone sin estabilizador.....	175
FIGURA No. 235: Toma de la cámara del drone con estabilizador	177

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Clasificación pares cinemáticos Inferiores.....	12
TABLA 2: Clasificación pares cinemáticos Superiores.	13
TABLA 3: Clasificación Drones.	33
TABLA 4: Características ABS.....	39
TABLA 5: Características PLA.....	40
TABLA 6: Características PVA.....	41
TABLA 7: Características PC.....	42
TABLA 8: Características Nylon.....	43
TABLA 9: Características Laybrick.	44
TABLA 10: Características Laywoo-D3.....	45
TABLA 11: Características T-Glase.....	46
TABLA 12: Características T-Glase.	47
TABLA 13: Propiedades PLA.....	50
TABLA 14: Propiedades PLA.....	51
TABLA 15: Estabilizadores desarrollados.....	142

RESUMEN

El presente proyecto desarrolló el diseño y construcción de un mecanismo estabilizador para la cámara de un dron. El mismo que tiene como principales características: rango de giro de 0 a 180 para el control del mismo y toma de datos del sensor. En la primera parte de este trabajo trata sobre los antecedentes de los mecanismos, haciendo enfoque en la teoría, los actuadores presentes para los mismos, además se detalla de manera general los fundamentos más importantes para tener concepción acerca de este tipo de mecanismos. En la segunda parte se hace un análisis tanto del control y del hardware que se va a utilizar para la programación con PWM de nuestros actuadores y servomotores, también se hace referencia al material que vamos a utilizar para nuestro mecanismo, el cual fue impreso en PLA y se detalla las características, historia y las aplicaciones que este presenta. El tercer capítulo hacer referencia al diseño de nuestros tres modelos de mecanismos los cuales fueron puestos a prueba para obtener sus ventajas y sus desventajas y obtener un modelo que englobe todas las características que nos planteamos corregir, en este capítulo también se encuentra la selección de nuestro controlador el cual fue un control ON/OFF descartando otros controladores los cuales no satisfacían el tiempo de establecimiento requerido, este capítulo también presenta la selección y acondicionamiento de nuestro acelerómetro el cual se tomó como sensor para la posterior toma de datos. El capítulo cuatro hace referencia a la construcción de los mecanismos, ensamble de los mismos y acople de los servomotores, sensor, batería y switch de encendido. En el capítulo cinco se procede a plantear las respectivas conclusiones y recomendaciones que podemos descartar en el desarrollo de nuestro proyecto de titulación.

PALABRAS CLAVE:

- **DRONE**
- **ESTABILIZADOR**
- **PWM**
- **ACELERÓMETRO**

ABSTRACT

This project developed the design and construction of a stabilizer mechanism for a camera drone. The same main features are: turning range of 0-180 for control over it and take sensor data. In the first part of this paper deals with the history of the mechanisms, making approach in theory, the actuators for the same, further details generally the most important to have understanding about fundamentals such mechanisms. In the second part an analysis of both control and hardware to be used for programming with PWM of our actuators and actuators is made, referring to the material that we use for our mechanism is also made, which was printed in PLA and the characteristics, history and applications this presents detailed. The third chapter refers to the design of our three models of mechanisms which were tested for their advantages and disadvantages and get a model that encompasses all the characteristics that we considered correct, the chapter selection is also our which was a controller ON / OFF control discarding other drivers who did not meet the required time setting, this chapter also presents the selection and design of our accelerometer which was taken as a sensor for further data collection. Chapter four refers to the construction of mechanisms, assembly and fitting of the same servomotors, sensor, battery and ignition switch. In chapter five we proceed to raise the respective conclusions and recommendations can rule on developing our titling project.

KEYWORDS:

- **DRONE**
- **STABILIZER**
- **PWM**
- **ACCELEROMETER**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Mecanismo:

Se le llama mecanismo a los dispositivos o conjuntos de sólidos resistentes que reciben una energía de entrada y, a través de un sistema de transmisión y transformación de movimientos, realizan un trabajo.



FIGURA No. 1: Ejemplo de Mecanismo

Fuente: (Stanford Research Institute, 2015)

Basándose en principios de la mecánica se representan los mecanismos mediante engranes o ruedas dentadas, con los cuales se forman sistemas de ecuaciones, que caracterizan el comportamiento y funcionamiento de un mecanismo. A diferencia de un problema de dinámica básica, un mecanismo no se considera como una masa puntual sino como un conjunto de sólidos rígidos enlazados.

Estos sólidos se denominan elementos del mecanismo y presentan combinaciones de movimientos relativos de rotación y traslación, que combinados pueden dar lugar a un movimiento de gran complejidad.

Para el análisis de un mecanismo usualmente son necesarios conceptos como el de centro de gravedad, momento de inercia, velocidad angular, entre otros.

La mayoría de veces un mecanismo puede ser analizado utilizando un enfoque bidimensional, lo que reduce el mecanismo a un plano.

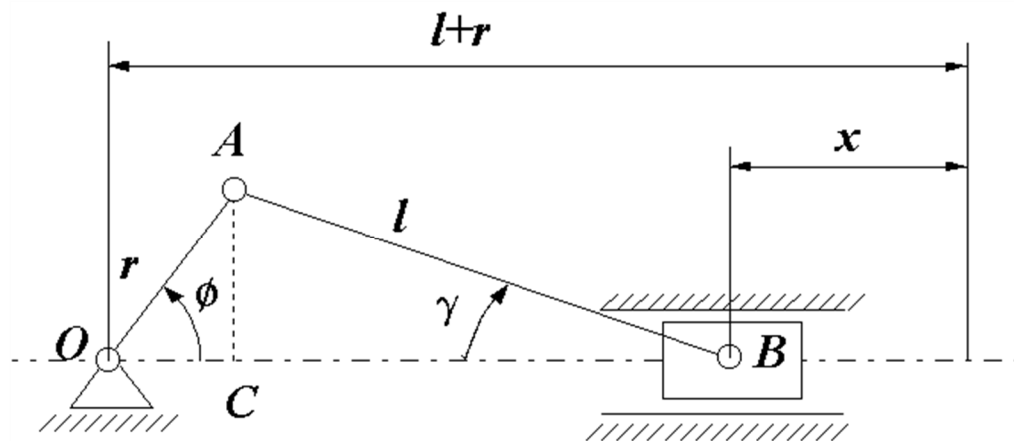


FIGURA No. 2: Análisis de un mecanismo

Fuente: (MYSKA, 2010)

- **Control:**

Hasta finales del siglo XIX el control automático se caracterizó por ser eminentemente intuitivo.

El deseo de mejorar las respuestas transitorias y la exactitud de los sistemas de control, obligó a desarrollar las teorías de los sistemas de control.

- 1868, J. C. Maxwell formuló una teoría matemática relacionada con la teoría de control usando el modelo de ecuación diferencial del regulador de Watt y analiza su estabilidad.

- 1892, A. M. Lyapunov estudió la estabilidad a partir de ecuaciones diferenciales no lineales, empleando un concepto generalizado de energía.
- 1922, Minorsky, trabajo en controladores automáticos de dirección en barcos y mostró cómo se podrían determinar la estabilidad a partir de las ecuaciones diferenciales que describen el sistema. Utilización del primer PID.
- 1932, Harry Nyquist, desarrollo un procesamiento relativamente simple para determinar la estabilidad de los sistemas de lazo cerrado sobre la base de la respuesta de lazo abierto con excitación sinusoidal en régimen permanente.
- 1934, Hazen, quien introdujo el término servomecanismos para los sistemas de control de posición, desarrolló el diseño de servomecanismos repetidores capaces de seguir con exactitud una entrada cambiante. (Control para torretas de cañones)
- 1948, W. R. Evan trabajando en North American Aviation, presenta la técnica del lugar de raíces.
- 1950, se desarrolló en Columbia la teoría sobre sistemas de datos muestreados, interviniendo en este estudio J. R. Ragazzini, G. Franklin y L. A. Zadeh, así como E. I. Jury, B. C. Kuo y otros. En este período surgió la idea de emplear ordenadores digitales para el control de procesos Industriales.
- El período posterior a la Segunda Guerra Mundial puede denominarse “período clásico de la teoría de control”. Se caracterizó por la aparición

de los primeros libros de texto [MacColl 1945; Lauer, Lesnick y Matdon 1947; Brown y Campbell 1948; Chestnut y Mayer 1951; Truxall 1955], y por el desarrollo de herramientas de diseño que proporcionaban soluciones garantizadas a los problemas de L. A. Zadeh diseño. Estas herramientas se aplicaban mediante cálculos realizados a mano junto con técnicas gráficas.

- A partir del año 1955, se desarrollan los métodos temporales, con el objetivo de solucionar los problemas planteados en aplicaciones aeroespaciales, estos métodos reciben un fuerte impulso con el desarrollo de las computadoras digitales, que constituían la plataforma tecnológica necesaria para su implantación, prueba y desarrollo.
- Los investigadores de la Unión Soviética son los primeros que utilizan el método de descripción interna (Modelo de Estado) en el estudio de los sistemas continuos. Destacan los trabajos de Aizerman, Lerner, Lurie, Pontryagin, La Salle, Popov, Minorsky, Kabala y Bellman.
- 1960 La primer conferencia de la Federación Internacional de Control Automático (IFAC), se realizó en Moscú.
- 1960, Aparecieron tres importantes publicaciones realizadas por R.Kalman y otros co-autores. La primera de estas dio a publicidad el trabajo más importante de Lyapunov para el control de sistemas no lineales en el dominio temporal. En el segundo analizó el control óptimo de sistemas, suministrando las ecuaciones de diseño para el regulador cuadrático lineal (LQR).En el tercero analizó el filtrado óptimo y la teoría de estimación, suministrando las ecuaciones de diseño para el filtro digital de Kalman.

La teoría moderna de control se basa en el análisis y síntesis en el dominio del tiempo. Utilizando variables de estado.

Actualmente la tendencia de los sistemas de control es hacia la optimización y hacia la digitalización total de los controladores.

En artículos y literatura sobre control es posible observar la gran diversificación del control moderno, como las técnicas de control lineal y no lineal, control óptimo, control robusto, control por inteligencia artificial, control adaptable, control de estructura variable, control de eventos discretos, entre otros.

1.2. Justificación e importancia

El presente trabajo procura brindar una alternativa de diseño y construcción de un mecanismo estabilizador de bajo coste. El enfoque del trabajo es eliminar exponencialmente los errores que se producen por la inestabilidad de las imágenes tomadas por la cámara. La tarea mencionada resulta una propuesta puesto que la misma teoría, análisis y construcción del mecanismo puede servir para otras actividades.

De manera adicional se procura incursionar y destacar ciertos sectores no convencionales para la ingeniería e investigación en el país, como es la colaboración de la mecatrónica con la ingeniería geográfica. La importancia de la diversificación de las ramas de la ingeniería resulta vital en la búsqueda del desarrollo tecnológico en el Ecuador.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar y construir un mecanismo estabilizador para la cámara de un drone con el fin de presentar mejores resultados en la estabilización de sus imágenes.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir un mecanismo estabilizador.
- Controlar continuamente la posición del mecanismo dentro del entorno físico de su aplicación.
- Garantizar la seguridad del usuario mediante el establecimiento de protocolos de prueba.

1.4. Descripción del proyecto

El proyecto consta de tres partes, la parte mecánica, la parte eléctrica, que a su vez se divide en parte electrónica y parte de control.

El mecanismo constará de un sistema que permita el libre movimiento del dron sin necesidad de restringir sus movimientos por el tema de la desestabilización de la cámara.

En cuanto a la cámara, estará sujeta al dron por medio del mecanismo el cual hará que la cámara permanezca en una posición específica sin que esta se vea afectada por el movimiento del mismo, para lo cual se generara una cadena cinemática que logre dicho efecto.

La parte eléctrica permitirá fijar la posición en la que queremos estabilizar la cámara y también permitirá que podamos manipular la cámara en el momento de vuelo, obteniendo así la parte de control de nuestro proyecto.

1.5. Alcance

- **Componentes Mecánicos**

Básicamente la estructura mecánica del proyecto será realizada en un modelo en impresión 3D es decir en plástico, dentro de los diversos materiales a que una impresora 3D tiene acceso encontramos los siguientes.

TABLA DE TEMPERATURAS

Materiales testados por **Tumaker**

	T° IMPRESIÓN	T° CAMA
ABS	240	80
PLA	220	50
Colorfabb XT	245	70
PET	230	50
NINJAFLEX	250	50
NYLON	260	50
WOODFILL	220	50
HIPS	240	80

Estas temperaturas pueden variar según las condiciones del entorno y el fabricante.
Última actualización: Febrero del 2015

FIGURA No. 3: Tabla características plásticos impresoras 3D

Fuente: (Tecnología de Plásticos, 1991)

Como sabemos las estructuras tienen una variedad de formas en sus componentes por lo cual no se puede definir todas por completo en este punto inicial del proyecto, además se necesita realizar pruebas para determinar la forma final de cada pieza tomando en cuenta los análisis de esfuerzos que soportaran las mismas y las consideraciones que nos otorguen los mismos en cuanto a forma y tamaño.

Los procesos que seguiremos para la fabricación de las piezas son básicamente diseño, impresión, implementación y pruebas.

- **Componentes electrónicos y eléctricos**

Por motivo de estar en la etapa inicial del proyecto en donde estamos definiendo la idea y su posible implementación, no se ha podido definir con

certeza los componentes electrónicos/eléctricos que usaremos en el desarrollo del proyecto, solo podemos indicar componentes básicos que usaremos como resistencias, diodos, controladores de motores, circuitos integrados, amplificadores operacionales, elementos de potencia, etc.

Lo que si podemos especificar que vamos a utilizar de forma gradual es el software Arduino, el cual es una placa embebida que permite la programación para el control de dicho mecanismo.

- **Componentes de Sistema de Control**

EL sistema de control de nuestro estabilizador, puede ser tomado en cuenta como un controlador PID o un controlador Fuzzy, los cuales nos permitirán lograr nuestro objetivo que es evitar que la cámara se desenfoque o se desestabilice. Por consiguiente, el controlador tendrá su propio circuito electrónico que interactúe con el mecanismo.

En este aspecto hemos considerado el posible uso de una placa de Arduino. Esta es una placa embebida que nos permitirá realizar el control mediante programación y tener la posibilidad de acoplarla a nuestro sistema eléctrico.

- **Software para implementación, análisis y simulación**

Los programas o software a utilizar en el desarrollo del proyecto serán:

- SolidWorks, que es un software de diseño CAD/CAM/CAE con el cual podremos esquematizar el modelo del mecanismo con sus respectivos análisis de esfuerzos.
- Proteus, que es un software orientado a la esquematización y simulación de circuitos eléctricos.
- LabView, software de National Instruments que nos permite realizar control de señales y del proceso.

- MatLab, este software nos ayudara a realizar cálculos y determinación de ecuaciones de ser necesarias para el desarrollo del proyecto

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades del sistema

Como se ha mencionado en el primer capítulo del presente documento, la finalidad de este proyecto es la construcción de un prototipo de mecanismo de bajo coste con el principal objetivo de eliminar las mediciones de terrenos con la cámara del drone.

Cabe resaltar que nuestro proyecto está destinado a la estabilización de la cámara, el cálculo de las mediciones de los terrenos queda como campo abierto para tesis a ser desarrolladas por alumnos del departamento de Ingeniería Geográfica.

2.2. Generalidades mecánicas

Dentro del campo de las generalidades mecánicas hemos tomado el estudio de los mecanismos, nuestro proyecto constará del diseño de un mecanismo el cual va a ser complementado por un sistema eléctrico-electrónico y estos a su vez se complementaran con un sistema de control.

- **MECANISMOS**

Dentro del campo de los mecanismos debemos de establecer varios conceptos los cuales se detallan a continuación:

- **Maquina:** Se considera maquina a un conjunto de mecanismos los cuales poseen un movimiento y una fuerza de entrada los cuales después de pasar por dicho conjunto de mecanismos toman una fuerza y un tipo de movimiento diferente.
- **Mecanismo:** Es un grupo de eslabones el cual transforma un movimiento, fuerza o energía en otro movimiento, fuerza o energía (Generalmente la confusión se la puede dar cuando una maquina es tan sencilla que a la vez se la puede confundir con un mecanismo ejemplo: playo,)



FIGURA No. 4: Ejemplo de mecanismo

Fuente: (Autores, 2015)

- **Eslabón:** Elemento rígido o parte rígida interconectada con otra parte para transmitir un movimiento (Entendiendo como rigidez a un elemento que no se deforma.)
- **Eslabón Simple:** Es aquel que se conecta con dos pares cinemáticos

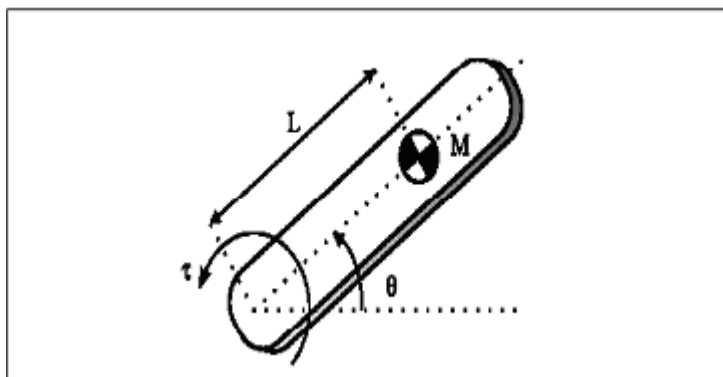


FIGURA No. 5: Eslabón Simple

Fuente: (MYSKA, 2010)

- **Eslabón Complejo:** Es aquel que se conecta a 3 o más pares cinemáticos.

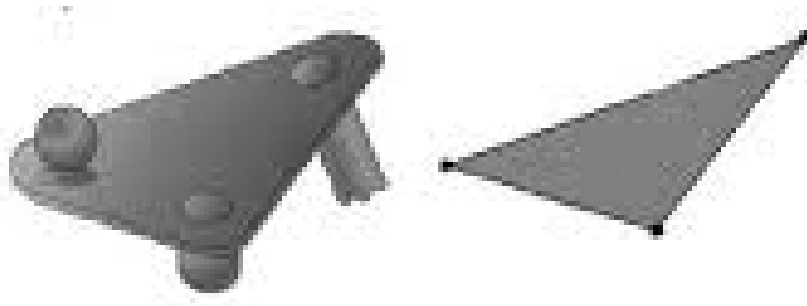


FIGURA No. 6: Eslabón Complejo

Fuente: (MYSKA, 2010)

- **Unión:** También conocida como par cinemático, es la conexión entre 2 eslabones.
- **Par cinemático Inferior:** Se denomina par cinemático inferior porque el contacto mediante el medio de unión es una superficie es decir es superficial

TABLA 1

Clasificación pares cinemáticos Inferiores.

Nombre	Grados de Libertad
Par de Revolución	1
Par de Unión	1
Par Helicoidal	1
Par Cilíndrico	2
Par Plano	3

- **Par Cinemático Superior:** Se denomina par cinemático superior si el contacto es lineal o puntual.

TABLA 2

Clasificación pares cinemáticos Superiores.

Nombre	Grados de Libertad
Leva	2
Engranés	2

- **Grados de Libertad:** Numero de coordenadas Independientes en un eslabón, par cinemática o mecanismo (Normalmente un eslabón libre tiene 3 grados de libertad.)
 - X(Coordenada)
 - Y(Coordenada)
 - Θ (Rotación)

- **Actuador:** Son aquellos cuya función es iniciar el movimiento
 - Motores
 - Cilindros hidráulicos o mecánicos
 - Manual

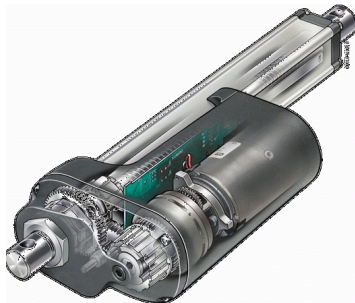


FIGURA No. 7: Motor Actuador

Fuente: (SIEMENS, 2013)



FIGURA No. 8: Hombre Actuador

Fuente: (HERRAMIENTAS, 2015)

- **Cadena Cinemática:** Es la unión de varios eslabones.
- **Cadena Cinemática cerrada:** Se denomina cadena cinemática cerrada cuando el circuito se encuentra cerrada es decir cada eslabón se encuentra conectado a dos pares cinemáticos.
- **Cadena Cinemática Abierta:** Si un eslabón tiene un par cinemático que no está conectado.

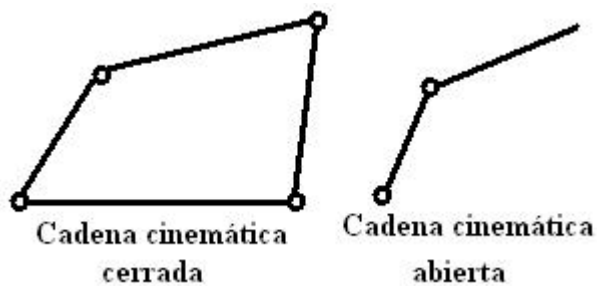


FIGURA No. 9: Tipos de Cadenas Cinemáticas

Fuente: (MYSKA, 2010)

- **Mecanismo:** Un mecanismo es una cadena cinemática abierta o cerrada que tiene un eslabón fijo llamado bancada o bastidor.
- **Diagrama Cinemático:** Representación de la manera más sencilla de un mecanismo.

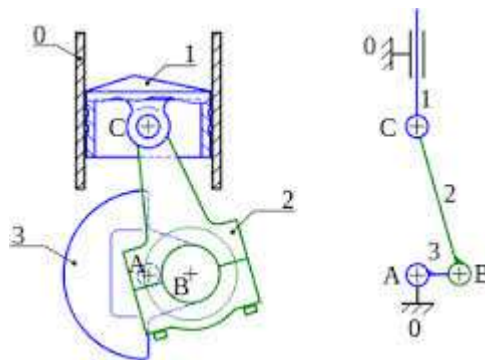


FIGURA No. 10: Diagrama Cinemático

Fuente: (MYSKA, 2010)

- **Movilidad:** Es el número de grados de libertad independientes que tiene un mecanismo.
- **Criterio de Gruebler:** Para un mecanismo plano cuyo movimiento tiene lugar sólo en dos dimensiones, el número de grados de libertad del mismo se pueden calcular mediante el criterio de Grübler-Kutzbach:

$$m = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2$$

Donde:

$m =$ Movilidad

$n =$ Número de elementos (eslabones, barras, piezas, etc.) de un mecanismo.

$j_1 =$ Número de uniones de 1 grado de libertad.

$j_2 =$ Número de uniones de dos grados de libertad.

2.3. Generalidades eléctricas y electrónicas

Dentro de las generalidades eléctricas y electrónicas hemos decidido poner parte de los materiales básicos que vamos a utilizar y que vale la pena tomarlos en cuenta:

- **Resistencias:** son aquellos elementos que presentan una resistencia eléctrica, cuya unidad de medida es el ohmio y se representa con la letra griega omega (Ω), dicha resistencia existe cuando se aplica una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor.
- **Capacitores:** son dispositivos eléctricos que están compuestos por placas o superficies conductoras separadas por un aislante o dieléctrico, de manera que almacena energía eléctrica e impide el paso de la corriente continua mas no el paso de la corriente alterna.
- **Diodos:** dispositivos electrónicos que tienen dos terminales, ánodo (positivo) y cátodo (negativo), actúan como interruptores, permitiendo el paso de la corriente cuando esta polarizado directamente, es decir cuando el sentido de la corriente va de ánodo a cátodo.
- **Amplificadores:** son elementos primordiales en la electrónica, ya que gracias a ellos podemos aumentar el nivel de las señales eléctricas que captan los sensores, para después poder aplicarlas con suficiente energía en diferentes dispositivos.
- **Motores:** en este caso hablaremos exclusivamente de los motores eléctricos, ya que los motores de combustión no son útiles para nuestro propósito, de manera que se define a un motor eléctrico como la unión de un estator y un rotor que se activa mediante la generación de campo magnético entre los bornes del bobinado del estator, transformando así la energía eléctrica en energía mecánica.

- **Fuente de voltaje:** se puede decir que es la parte más importante de un circuito eléctrico u electrónico, ya que de esta se extraerá la corriente y el voltaje requeridos para energizar todos los elementos del sistema sobre el cual se esté trabajando. Las fuentes de voltaje son muy variadas y dependen de la corriente, la frecuencia, el voltaje y la forma de onda que se desea proporcionar a los diferentes dispositivos y elementos.

2.4. Generalidades de control

Para el desarrollo del presente proyecto es vital tener en consideración la importancia de la precisión necesaria al vincular el sistema directamente con usuarios humanos. El prototipo desarrollado buscará brindar la mayor seguridad para quien esté operándolo, sin embargo el diseño del sistema se mantiene abierto para mejoras futuras que puedan transformar este prototipo en producto.

De forma particular el prototipo va a tener dos partes principales en lo que refiere al control. En primera instancia el algoritmo de funcionamiento estará basado en el diseño y la implementación de una máquina de estados finitos misma que será la base en la secuencia de funcionamiento del sistema. Como segundo punto, y quizás con la mayor importancia en lo que refiere a la precisión en la ejecución de los movimientos, un sistema de visión artificial basado en la tecnología Kinect de Microsoft, misma que se empleará para generar un espacio virtual que permita al sistema comprender la disposición de los objetos a su alrededor.

En búsqueda de esclarecer el enfoque que tendrá cada uno de los métodos mencionados en el presente proyecto, se amplían a continuación los temas de mayor relevancia.

2.4.1. Máquina de estados finitos (fsm)

En la actualidad los alcances tecnológicos permiten tener una gran variedad de perspectivas frente a un problema y a su vez considerar una inmensa cantidad de parámetros en la solución del mismo. Valiéndose de la posibilidad de crear hardware altamente veloz en tamaños reducidos y a costos muy bajos crea la ilusión de que los interminables algoritmos ejecutados dentro de bucles infinitos son una alternativa válida. Sin embargo hoy en día con la necesidad de optimizar los recursos energéticos, además de la obligación de manejar una gran cantidad de variables en los sistemas, la programación anticuada de largos algoritmos va perdiendo fuerza y con ello aparecen, o se desempolvan, nuevas estrategias de programación que son no sólo altamente eficientes sino que resultan ser mucho más veloces y ocupan muchos menos recursos.

Por lo mencionado anteriormente podemos decir que una máquina de estados no es más que un modelo para el comportamiento de un sistema en el cual las acciones de salida no dependen directamente de las entradas actuales sino también del estado previo de las mismas (Davis & Reese, 2008), de manera más general, basándose en la bibliografía, se puede expresar que una máquina de estados no es más que un conjunto de estados que se encuentra en medio de la relación existente entre las entradas y las salidas.

En teoría de circuitos digitales la utilización de la máquina de estados finitos como arquitectura es muy común, de hecho existe una gran diversidad de modelos a seguir al respecto. Básicamente lo que se busca es mantener los registros de los eventos anteriores de tal manera que esta información pueda ser utilizada a continuación. A manera de explicación se toma la arquitectura de la máquina de estados finitos de Moore, como se muestra en la Figura No. 13, en la misma se observa que las salidas decodificadas cuentan con la información del estado próximo y el estado presente, que visto desde otra perspectiva no es más que el presente y el anterior estado de las entradas.

Dentro del presente proyecto se busca construir una máquina de estados finitos para la resolución del algoritmo propuesto para la operación general del sistema. Específicamente se requiere trabajar con las señales adquiridas a través de EOG que representan comandos para el mecanismo y que según el tipo de movimiento del ojo generan un estado específico en el sistema, de tal manera que las acciones llevadas a cabo por el prototipo sean solo las esperadas, brindando así eficiencia en el procesamiento y más que nada seguridad para el usuario.

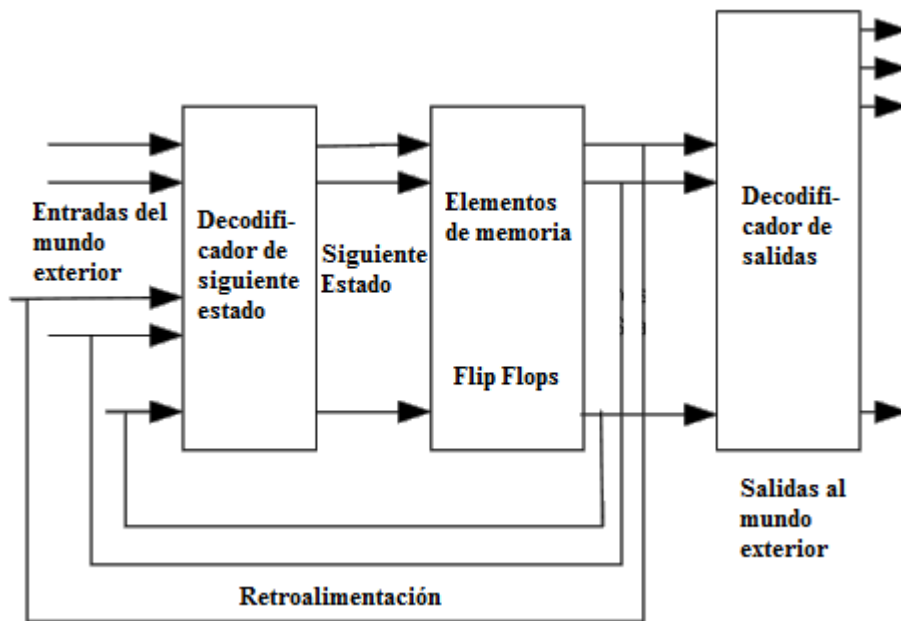


FIGURA No. 11: Diagrama de bloques de la estructura de una máquina de estados de Moore.

Fuente: (Minns & Elliot, 2008).

2.4.2. Arduino

- **Software Libre**

Es la denominación del software que respeta la libertad de todos los usuarios que adquirieron el producto y, por tanto, una vez obtenido el mismo, puede ser usado, copiado, estudiado, modificado, y redistribuido libremente de varias formas. Según la Free Software Foundation, el software libre se refiere a la seguridad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir y estudiar el software, e incluso modificarlo y distribuirlo modificado.

Un programa informático es software libre si otorga a los usuarios todas estas libertades de manera adecuada.

- **Arduino**

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, ATmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa.

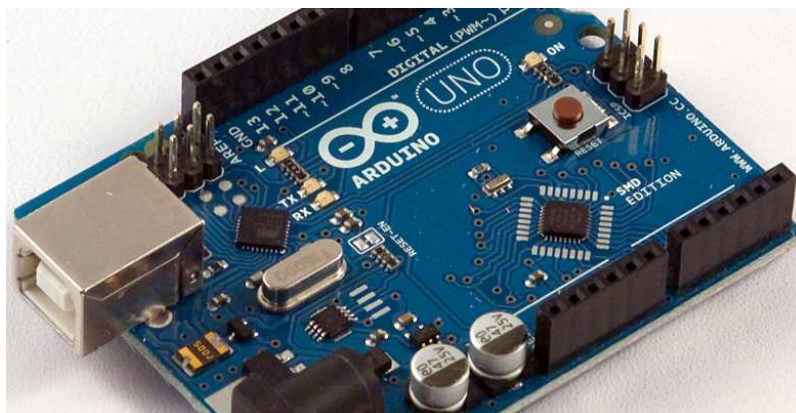


FIGURA No. 12: Diagrama de bloques de la estructura de una máquina de estados de Moore.

Fuente: (Arduino, 2013)

2.4.3. Finalidad de la plataforma

Dada la simplicidad de manejo tanto de hardware y software acompañado de una fuerte robustez de la plataforma, Arduino es una opción muy conveniente para aplicaciones tanto de control como de interfaz de entrada para un ordenador. Presenta un lenguaje de programación propio basado en C y libre lo cual quiere decir que cualquier individuo puede emplear sin un consentimiento explícito el código de otro.

“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” (Arduino SA, 2014).

2.4.4. Puerto serial

En la fases de inicial de un proyecto con Arduino, el Puerto serial está dedicado a la comunicación con el ordenador. En la fase de aplicación, cuando la tarjeta electrónica está trabajando de acuerdo a su propósito, el puerto serial puede seguirse comunicando con la computadora o con otros dispositivos. Se tienen los pines de comunicación de recepción y de transmisión como es común

en comunicación serial y configurar por software el tipo de comunicación que se desea establecer así como las velocidades correspondientes.

2.4.5. Control serial de servomotores

Los comandos seriales enviados al controlador interno del servo motor deben ser ocho bits sin paridad y un bit de parada. La lógica de nivel serial debe ser no invertida significando que cero voltios son tomados como lógica de cero y cinco voltios como lógica de uno.

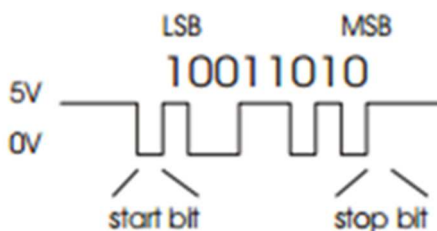


FIGURA No. 13: Lógica no invertida que debe ser enviada al servomotor

Fuente: (Arduino, 2013)

Se debe configurar una tasa de transferencia de baudios compatible y todas las transmisiones subsecuentes deben ser a la misma tasa configurada.

2.4.6. Arduino shields

Esta plataforma cuenta también con un sinnúmero de tarjetas de expansión llamadas “shields” que básicamente permiten a la placa principal actuar como una tarjeta madre y emplear sus conexiones mecánicas y eléctricas para proveer de una circuitería adicional y así poder disponer de funcionalidades más avanzadas dependiendo de cada tarjeta de expansión.



FIGURA No. 14: Lógica no invertida que debe ser enviada al servomotor

Fuente: (Arduino, 2013)

2.4.7. Giroscopios

Según el diccionario de física de la editorial Complutense (2008), el giroscopio es un “instrumento que consiste en un disco con un aro pesado montado en una doble junta de cardan de forma que su eje pueda adoptar cualquier orientación en el espacio. Cuando el disco se pone a girar el giroscopio tiene dos propiedades útiles: a) la inercia giroscópica, es decir, la dirección del eje de rotación se resiste a cambiar, de forma que si las juntas de cardan son giradas, el disco en rotación mantiene la misma orientación en el espacio. Esta propiedad es la base de los girocompases y otros instrumentos de navegación. b) Precesión, es decir cuando un giroscopio está sometido a un momento que tiende a alterar la dirección de su eje, el giroscopio gira sobre un eje en ángulo recto tanto al eje sobre el cual el momento fue aplicado como a su eje principal de rotación.

2.4.8. Drones

Los drones son vehículos aéreos no tripulados (UAVS, por sus siglas en inglés); aeronaves que vuelan sin tripulación humana a bordo, controladas a distancia.

- **Breve Cronología**

El desarrollo de los primeros drones inició a finales de la Primera Guerra Mundial.

- En 1917, Charles Kettering, de General Motors, construyó un biplano no tripulado preprogramado al que se le denominó “torpedo aéreo Kettering”. Este vehículo debía plegar las alas en un lugar programado y caer sobre un enemigo como una bomba.
- En 1933, el Reino Unido realizó la primera prueba exitosa del UAV Queen Bee, desarrollado a partir del biplano Fairey Queen, que se controlaba vía remota desde un barco. Este modelo fue rebautizado como DH82A Tiger Moth, y se usó en la marina británica como un avión-blanco desde 1934 hasta 1943.
- El primer drone producido en serie a gran escala fue el estadounidense Radioplane OQ-2, en 1940, que sirvió como blanco volante para la formación de pilotos.
- La Unión Soviética llevaba a cabo investigaciones similares. Entre 1930 a 1940, el diseñador de aviones Nikitin desarrolló un drone planeador armado con torpedo PSN-1 y 2.
- Los ingenieros alemanes desarrollaron varios tipos de armas guiadas por radio durante la Segunda Guerra Mundial, incluyendo bombas Henschel Hs 293 y Fitz X, misiles

Henzian y aviones cargados de explosivos controlados por radio.

- En Estados Unidos, se fabricó en masa el Radioplane OQ-2 para la formación de pilotos y artilleros. En 1944 fue utilizado por primera vez en el mundo el UAV de ataque intreslate TDR.
- En 1951, se lanzó en serie la producción de AQM- 34, un avión blanco modificado para ser usado como un aparato de reconocimiento que se proyectaba desde un avión-madre para realizar un vuelo por una ruta programada. Cumplida su misión, descendía en paracaídas. El diseño fue tan exitoso que el AQM-34 sirvió en la Fuerza Aérea de Estados Unidos, durante más de 30 años, y se suministraba a sus aliados.
- A principios de 1960, los vehículos de control remoto fueron utilizados por Estados Unidos para supervisar la colocación de los misiles soviéticos en Cuba.
- En la Unión Soviética, a inicios de los años setenta, la Oficina de Diseños Tupolev desarrolló varios drones de gran alcance para misiones de reconocimiento, los llamados Tu-123 Yástreb, Tu-141 Strizh y Tu-143 Reis.
- Durante 1970-1973, vehículos no tripulados Firebee completan 268 misiones en Corea del Norte. Estos aparatos fueron lanzados desde aviones C-130 Hércules y bajaban en paracaídas sobre el océano.
- En 1973 Israel utiliza drones de fabricación estadounidense BQM-74, en su lucha radioelectrónica durante la guerra del Yom Kippur.
- Hasta finales del siglo XX, los drones comenzaron a operar mediante radio control con todas las características de

autonomía. Durante la Guerra del Golfo y la de Bosnia demostraron el gran potencial que tienen

- En 1991 Estados Unidos usa drones-blancos Chukar como señuelos durante la Guerra del Golfo.
- En 1994, se realiza el primer vuelo de un Predator. Se trata del primer UAV operativo que usa el sistema de posicionamiento global GPS en lugar de estar programado o de usar la línea de visión, por lo que es más fiable. Se implementó al año siguiente, en la guerra de Yugoslavia.
- En 1998, se desarrolla el Global Hawk, UAV de gran altitud y largo alcance, diseñado para permanecer en el aire mucho tiempo sobre un territorio enemigo.
- En 2001 se efectúa el primer vuelo de un MQ-9 Reaper. Originalmente bautizado como Predator- B, el Reaper es un avión no tripulado más rápido, más alto y más letal. Su producción comenzó al año siguiente.
- En diciembre de 2011, Irán aseguró que sus fuerzas derribaron un drone-espía RQ-170 Sentinel y que lo conserva casi intacto en su poder. Días después el avión fue expuesto en Irán, y medios iraníes informaron que la aeronave había sido hackeada por especialistas persas.

- **Drones Actuales.**

Aunque ahora los drones están empezando a formar parte de nuestro día a día apareciendo en las noticias, jugueterías y tiendas de electrónica, estos tienen una normativa y clasificación la cual se procedió a brindar una clasificación de los mismos.

Los drones o también llamados UCAV O UAVs, se clasifican de la siguiente manera:



FIGURA No. 15: Clasificación de los Drones.

Fuente: (Drones, 2015)

- **Drones Militares.**

Las siglas para referirse a este tipo de drones son las que se mencionaron anteriormente es decir UCAV que proviene del término “Unmanned Combat Air Vehicle”, que se traduce al español como vehículos no tripulados de combate aéreo. Este tipo de drones, como es lógico son de uso exclusivo para misiones militares y habitualmente también se los conoce como drones de combate.

Suelen ir armados y su principal uso es el de realizar bombardeos, actualmente los utilizan más de 30 países diferentes, su éxito radica en la precisión y en que si son derivados no sufren pérdidas humanas o bajas.

Al no tener que ser tripulados son mucho más baratos que un avión de combate, pudiendo llevar más carga útil y siendo mucho más manejables. Por este motivo los ejércitos actualmente se encuentran en el desarrollo de diferentes UCAVs.



FIGURA No. 16: Clasificación de los Drones (Pololu, 2014).

Fuente: (Drones, 2015)

- **Drones Civiles.**

Este es el otro gran grupo dentro de la clasificación de los drones y son también conocidos UAV, es decir “Unmanned Air Vehicle”, a los que en todo el mundo nos referimos como vehículos no tripulados.

Como su nombre lo indica son aquellos que no tiene aplicaciones militares y poseen el 11% del total de la industria, dentro de esta clasificación se los puede dividir en:

- Drones de uso comercial.
- Drones para aficionados.

- **Drones uso comercial.**

Hay que tener en cuenta que estos drones no están al alcance de cualquier bolsillo, ya que necesitan de unas características que permitan dar un servicio profesional a empresas. Actualmente son ya varios los usos de los UAVs usados

para fines comerciales, como la realización de videos, fotografías y cartografía aérea profesional. También hay países que los utilizan en la agricultura para realizar una siembra mucho más efectiva.

Como sabemos es evidente que en los próximos años este sector será uno de los que más aumente, sobre todo si salen adelante los proyectos de Amazon y Google con drones de reparto.



FIGURA No. 17: Drones de uso comercial.

Fuente: (Drones, 2015)

- **Drones para aficionados.**

Este tipo de drones son los que más han crecido en los últimos años, convirtiéndose en una gran compra los amantes de la tecnología y en un juguete ideal para regalar. La variedad de sus características hace que el precio de los mismos se incremente.



FIGURA No. 18: Drones aficionados.

Fuente: (Drones, 2015)

- **Drones usados por el gobierno.**

En este momento las principales inversiones en drones con dinero público van destinados al ámbito militar, lejos del uso de drones para misiones de reconocimiento u obtener información de instalaciones enemigas, en breve servirá también para ayudar a soldados a inspeccionar zonas peligrosas.

Sin embargo, es cuestión de tiempo que las fuerzas del estado comiencen a utilizar los vehículos aéreos no tripulados para controlar fronteras o vigilar zonas peligrosas. Del mismo modo servirán para cuidar zonas protegidas como parques naturales o prevenir incendios.


- **Drones más usados actualmente.**

Dentro de esta lista se está analizando todas dos características en especial y son:

- Duración de la Batería
- Cámaras de los drones

TABLA 3

Clasificación Drones.

Modelo	Características
<p>Parrot-Bebop</p> 	<p>Este dron destaca por la forma en que su chasis se mueve durante el vuelo, lo cual no evita que pueda conseguir grandes videos aéreos con su cámara de 14 megapíxeles gracias a sus estabilizadores integrados. Permite obtener fotos y videos sin apenas distorsión, además de tener protegidos sus motores para soportar golpes y caídas. (Considerado el mejor dron de 2015.)</p>
<p>Dji Phantom 2 vision</p>	<p>Con una batería que le permite una autonomía de 25 minutos de vuelo, es un modelo pensado para hacer fotos y videos aéreos que además permite ver en un</p>



teléfono móvil en directo las imágenes de la cámara. La cámara no presenta estabilización (Considerado el mejor dron para expertos.)

Blueskysea Husband H107D



Es un modelo de dron mucho más barato, ofrece a sus usuarios funciones típicas en dispositivos que cuestan el doble. Este modelo cabe en la palma de tu mano pero tiene un estabilizador de 6 ejes para mantenerlo estable, pudiendo también transmitir imágenes a su mando y grabarlas en su tarjeta SD.

(Considerado el dron más barato)

HUBSAN H107



Además de barato, el Hubsan H107L es perfecto para iniciarse en el mundo de los drones. Su estabilizador de seis ejes hará que te resulte fácil controlarlo, pudiendo pilotarlo en la calle como en casa. El único problema del

drone es que su batería dura alrededor de 5 min. (Considerado el mejor drone para principiantes)

Dji Phantom 3 vision



Con una batería que le permite una autonomía de 45 minutos de vuelo, es un modelo pensado para hacer fotos y videos aéreos que además permite ver en un teléfono móvil en directo las imágenes de la cámara. La cámara a diferencia de su modelo anterior presenta un mecanismo estabilización al igual que una cámara GoPro profesional. (Considerado el mejor drone para expertos y fotografía.)

Lily

Lily el nuevo drone autónomo que es capaz de grabar vídeo en 1080



2.4.9. Estabilizadores

El estabilizador de imagen (o sistema de reducción de vibraciones) es el dispositivo encargado de reducir las vibraciones en la captura de una imagen cuando en la toma se producen movimientos no deseados.

- **Antecedentes**

Los primeros estabilizadores de imagen aparecieron a principios de los años 60, estos sistemas eran capaces de compensar ligeramente la vibración de la cámara fotográfica y los movimientos involuntarios. Estaban basados en mecanismos controlados mediante giroscopios, con los que se podían cancelar

los movimientos no deseados cambiando la posición de un lente o un grupo de ellos en un objetivo en dirección opuesta.

- **Sistemas de Estabilización**

Hoy en día, el uso de estabilizadores de imagen está muy extendido en cámaras, videocámaras, telescopios y binoculares. Existen varios métodos para conseguir la estabilización de la imagen; sin embargo, son dos los principales y más utilizados para conseguir imágenes estables

- **Sistemas de estabilización mecánica**

- **Estabilizador de imagen mecánico ubicado en la óptica**

Normalmente es un sistema mecánico localizado en el objetivo -aparte del cuerpo de la cámara- que incorpora dos superficies ópticas flotantes paralelas al interior del objetivo, que actúan como un tipo de prisma flexible. Cuando la cámara se mueve, el movimiento es detectado mediante acelerómetros o giroscopios, y el sistema genera un movimiento en el sistema de lentes de estabilización. Esto altera el ángulo de la luz que atraviesa el prisma y envía la imagen al sensor en la dirección opuesta al movimiento que realiza la cámara, estabilizando la imagen antes de ser procesada. Ya que la imagen completa del sensor es usada con la estabilización de imagen óptica, no se obtiene pérdida de calidad de la misma. Sistemas comerciales famosos de estabilización óptica son Canon IS (Image Stabilization), Nikon VR (Vibration Reduction) y Panasonic Lumix (y Leica) Mega OIS (Optical Image Stabilizer).

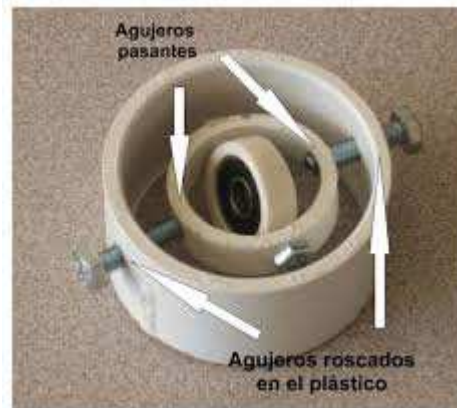


FIGURA No. 19: Estabilizador mecánico

Fuente: (MECÁNICO, 2015)

- **Estabilizador de imagen mecánico por desplazamiento del sensor de imagen**

Comparable al método anterior, la detección se logra mediante acelerómetros o giroscopios, todos ubicados en el cuerpo de la cámara; sin embargo, en lugar de aplicar un movimiento sobre los elementos ópticos del objetivo, se mueve el sensor de imagen para compensar el movimiento. Utilizado en varias cámaras fotográficas digitales, incluyendo Sony Alpha (heredado de Konica Minolta), Fujifilm, Olympus, Ricoh Caplio y Casio Exilim y Pentax. Algunos fabricantes del mercado fotográfico SLR, han declarado que este sistema es menos efectivo que la estabilización ubicada en el objetivo debido a que en la medición se utiliza solamente la longitud del cuerpo de la cámara (el cual es más corto que la distancia cámara-objetivo), aunque los fabricantes que lo defienden argumentan la ventaja de poder utilizar la estabilización con cualquier tipo de óptica, existiendo la posibilidad de estabilizar la imagen de objetivos antiguos.

- **Sistemas de estabilización Digital**

- **Estabilización de imagen por recorte**

Es un sistema electrónico utilizado normalmente en vídeo, que actúa directamente sobre la imagen obtenida en el sensor de la cámara. En este tipo

de sistemas, la superficie de la imagen útil es ligeramente menor que la superficie de la imagen. Cuando la cámara se mueve, el encuadre menor se desplaza entre el área mayor del sensor, tratando de compensar el movimiento. El sistema electrónico se encarga de determinar el índice de la fila y la columna de la imagen capturada por el sensor que debe presentarse como primera fila y primera columna de la imagen útil. Si por ejemplo, la cámara se mueve ligeramente a un lado, el encuadre digital se moverá en la dirección opuesta, cancelando el efecto del movimiento en el sensor de la cámara. Aunque la técnica funciona efectivamente cancelando movimientos limitados de cámara, al reducir el área aprovechable del sensor, se sacrifican la resolución, y la claridad de la imagen.

- **Estabilización de imagen por reducción del tiempo de exposición**

En algunas cámaras digitales, la estabilización de imagen funciona a través del uso de sensibilidades ISO más altas que la sensibilidad escogida por el usuario, complementada con una velocidad de obturación más alta. Esto permite que las imágenes digitalizadas, al capturar una fracción menor de tiempo que en la toma original se vean menos afectadas por movimientos externos, aunque esto significa en la mayoría de casos mayor presencia de ruido en la toma y una velocidad de obturación que no corresponde a la escogida por el usuario.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO

Este capítulo se centra en el diseño y construcción de un mecanismo estabilizador para la cámara de los drones. Basándose en el uso y acondicionamiento de los sensores los cuales a su vez van a estar conectados a un medio de control el cual será el encargado de emitir las señales correspondientes a los actuadores, puesto que hemos considerado para la construcción del medio mecánico o mecanismo un material liviano hemos elegido a la impresión 3D.

3.1. Parámetros considerados para el diseño

3.1.1. Impresión 3D

Para empezar el diseño del mecanismo se parte con la elección del material a utilizar para la posterior impresión 3D.

Como sabemos los plásticos de las impresiones al ser distintos presentan diferentes propiedades mecánicas, cabe resaltar que lo que más se tomó en cuenta para el diseño es el peso que el mecanismo tendrá, dentro de los plásticos presentes para la impresión destacan los siguientes.

- **ABS**

Acrilonitrilo Butadieno Estireno, es el más barato entre los plásticos más utilizados. Produce gases generalmente tolerables, que pueden ser peligrosos para personas o animales domésticos muy sensibles.

El ABS es bastante versátil: Permite lijarse, admite también el pulido con baño de acetona y realizar un acabado muy liso, se puede pegar con facilidad y su color es mate.



FIGURA No. 20: Plástico ABS.

Fuente: (Tecnología de Plásticos, 1991)

Entre sus características podemos destacar las siguientes:

TABLA 4

Características ABS.

Parámetro	
Temperatura fusión	215-250°C
Temperatura plataforma	90-103°C
Biodegradable	NO
Reciclable	SI
Observación	Necesario el uso de Cinta kapton o laca sobre superficie de cristal.

- **PLA**

Ácido Poliláctico o Poliláctido. Plástico biodegradable procedente de maíz o patata. Esto significa que, con el paso del tiempo y el efecto de los elementos, el plástico pierde las propiedades iniciales hasta su descomposición en elementos químicos simples, aunque esto puede tardar más de cien años. Además es reciclable, por lo que es posible su reutilización

después de un proceso adecuado. No necesita plataforma caliente, aunque en raras ocasiones puede producirse *warping* durante el proceso de enfriamiento. Importante diferenciar el “PLA flexible” del normal, que necesita otra configuración para ser impreso (diferente temperatura y una superficie de cristal es lo más recomendable para el PLA flexible). Los colores son en su mayoría transparentes y brillantes.



FIGURA No. 21: Plástico PLA (Pololu, 2014).

Fuente: (Tecnología de Plásticos, 1991)

Entre sus características podemos destacar las siguientes:

TABLA 5

Características PLA.

Parámetro	
Temperatura fusión	160-230°C
Temperatura plataforma	Temperatura Ambiente - 60°C
Biodegradable	SI
Reciclable	SI
Observación	En plataforma, cinta azul de pintor para mejor adhesión

- **PVA**

Alcohol Polivinilo, es un plástico especial usado en impresoras de cabezas múltiples usado como estructura de soporte para zonas críticas susceptibles de caer y es ideal para objetos de formas complejas o para aplicaciones especiales. Es soluble en agua y la absorbe en gran cantidad, por lo que es ciertamente problemático en situaciones de alta humedad ambiental.

En una impresora dual, de dos extrusoras, podrías utilizar una de ellas para imprimir PLA o ABS, mientras usas la otra para crear los soportes en PVA soluble. Luego es sencillo retirar estos soportes con un baño de agua durante unas horas.



FIGURA No. 22: Plástico PVA (Pololu, 2014).

Fuente: (Tecnología de Plásticos, 1991)

Entre sus características podemos destacar las siguientes:

TABLA 6

Características PVA.

Parámetro	
Temperatura fusión	180-200°C
Temperatura plataforma	50°C
Biodegradable	Soluble en agua

Reciclable	Si
Observación	En plataforma, cinta azul de pintor para mejor adhesión

- **PC**

También llamado Policarbonato, es un material preferido en la fabricación de Revestimientos plásticos, Cubiertas Plásticas y Techos de Policarbonato por sus excelentes cualidades en durabilidad, resistencia y economía. Entre los Tipos de Plásticos, el Policarbonato presenta claras ventajas comparado con otros materiales tradicionales de mayor costo como el vidrio y el acero inoxidable. Dentro de la impresión 3D no se lo utiliza mucho porque los plásticos expuestos anteriormente presentan mejor calidad y durabilidad.



FIGURA No. 23: Plástico PC (Pololu, 2014).

Fuente: (Tecnología de Plásticos, 1991)

Entre sus características podemos destacar las siguientes:

TABLA 7

Características PC.

Parámetro	
Temperatura fusión	280-305°C
Temperatura plataforma	85-50°C
Biodegradable	No
Reciclable	Si
Observación	En plataforma, cinta Kapton para mejor adhesión.

- **Nylon**

Es termoplástico, ya que al calentarse se ablanda. Tiene una buena resistencia a los aceites, las grasas, los solventes y los álcalis, pero no a los ácidos que le hidrolizan, su viscosidad de fundido es muy baja, lo cual puede acarrear dificultades en la transformación industrial, y su exposición al intemperie puede causar una fragilización y un cambio de color salvo si hay estabilización o protección previa. Al nylon se le puede agregar fibra de vidrio para proporcionar un incremento en la rigidez.



FIGURA No. 24: Plástico Nylon.

Fuente: (Tecnología de Plásticos, 1991)

Entre sus características podemos destacar las siguientes:

TABLA 8

Características Nylon

Parámetro	
Temperatura fusión	240-245°C
Temperatura plataforma	Temperatura Ambiente
Biodegradable	No
Reciclable	Si
Observación	Tiende a encogerse, problemas de curvado, aunque algunas marcas han conseguido reducir el grado de <i>warping</i> con sus compuestos.

Compuestos Especiales

- Laybrick

Material patentado de FormFutura, con unas características muy especiales. Es una mezcla de polímero y polvo de yeso que conferirá una textura muy especial a las piezas que imprimas, dependiendo de la temperatura a la que sometas al material durante la impresión. A temperaturas alrededor de 165°, conseguirás una superficie lisa. Si lo llevas a 210° obtendrás un tacto rugoso.



FIGURA No. 25: Plástico Laybrick (Pololu, 2014).

Fuente: (Tecnología de Plásticos, 1991)

Entre sus características podemos destacar las siguientes:

TABLA 9**Características Laybrick.**

Parámetro	
Temperatura fusión	160-220°C
Temperatura plataforma	Temperatura Ambiente
Biodegradable	No
Reciclable	No
Observación	Sin problema de warping y puede lijarse y pintarse sin problema.

- **Laywoo-D3**

Otro más dentro del catálogo de FormFutura. Su composición de polímero y 40% de polvo de madera le da una textura muy interesante. Cuanta más temperatura se le aplica, más oscuro queda. Después de imprimir con este material, tu habitación se llenará de aroma a madera.



FIGURA No. 26: Plástico Laywoo-D3.

Fuente: (Tecnología de Plásticos, 1991)

Entre sus características podemos destacar las siguientes:

TABLA 10

Características Laywoo-D3.

Parámetro	
Temperatura fusión	175-250°C
Temperatura plataforma	Temperatura Ambiente
Biodegradable	Si
Reciclable	Si
Observación	Sin problema de warping y puede lijarse y pintarse sin problema.

- **T-Glase**

Es un compuesto polímero propio de la marca Taulman. Con unas propiedades de transparencia muy llamativas, este material sobresale por sus

aplicaciones en el sector de la alimentación, por su gran compatibilidad contrastada.



FIGURA No. 27: Plástico T-Glase.

Fuente: (Tecnología de Plásticos, 1991)

Entre sus características podemos destacar las siguientes:

TABLA 11

Características T-Glase.

Parámetro	
Temperatura fusión	298-312°C
Temperatura plataforma	Temperatura Ambiente
Biodegradable	No
Reciclable	Si
Observación	Aprobado por la FDA para el uso en contacto con alimentos. De momento el único material que pasa el test de la FDA.

- **Filaflex**

Un producto desarrollado en España y que puedes encontrar en Recreus. Las características especiales de este material requieren algunas modificaciones en las piezas de la extrusora o una velocidad de impresión más baja para evitar atascos de filamento.



FIGURA No. 28: Plástico Filaflex (Pololu, 2014).

Fuente: (Tecnología de Plásticos, 1991)

Entre sus características podemos destacar las siguientes:

TABLA 12

Características T-Glase.

Parámetro	
Temperatura fusión	220-230°C
Temperatura plataforma	Temperatura Ambiente
Biodegradable	Si
Reciclable	Si
Observación	El mejor material hasta el momento en características de flexibilidad.

3.1.2. Selección de material

Para el desarrollo e impresión de nuestro mecanismo decidimos escoger el plástico PLA, no solo por sus características mecánicas si no por el hecho de que en el Ecuador la mayoría de empresas que ofrecen este servicio solo nos daban las opciones de ABS, PLA y Nylon, la opción de Nylon fue descartada por el tiempo y costo de impresión

- **PLA**

El ácido poli-láctico es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico. Es un material altamente versátil, que se hace a partir de recursos renovables al 100%, como son la maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón. Este ácido tiene muchas características equivalentes e incluso mejores que muchos plásticos derivados del petróleo, lo que hace que sea eficaz para una gran variedad de usos.

- **HISTORIA**

El PLA no es un material nuevo, nos acompaña desde hace unas décadas.

En 1932 Wallace Carothers, científico para Dupont, obtuvo un producto de poco peso molecular calentando ácido láctico al vacío. En 1954, después de otras mejoras, Dupont patentó el proceso de Carothers.

Un impedimento importante en el desarrollo del polímero ha sido el elevado coste de producción. Pero gracias a los avances en la fermentación de la glucosa para obtener ácido láctico, ha experimentado una bajada importante el coste de producción del ácido láctico y por consiguiente, un interés creciente en el polímero.

Cargill fue una de las primeras compañías que desarrolló los polímeros de ácido poliláctico. Cargill comenzó a investigar la tecnología de producción de PLA en 1987, y su producción en planta data de 1992. En 1997 Cargill se asoció con la

empresa Dow Chemical Company, creando LLC de los polímeros de Cargill (CDP), instalado en Blair, Nebraska.

Hay planes para construir una planta adicional en Europa en un futuro.

- **USOS**

El PLA es un polímero versátil que tiene muchas aplicaciones, incluyéndose en la industria textil, en la industria médica y sobretodo en la del empaquetado.

Se tienen 4 tipos de ácidos polilácticos disponibles para empaquetar, cada uno de ellos con características especiales.

- 4041D; gran estabilidad hasta los 265°F (130°C)
- 4031D: también se utiliza a gran temperatura hasta 130°C
- 1100D: se utiliza para hacer tazones, las cajas de las patatas fritas, empaquetado de congelado vegetal.
- 2000D: se utiliza en envases transparentes de alimentos, para fabricar tazas, envases de leche.
- Dentro de la industria textil, son conocidas las aplicaciones del PLA para la creación de telas empleadas en la tapicería, la elaboración de trapos y la confección de toldos y cubiertas resistentes a la luz U.V.
- El PLA se ha convertido en un material muy importante en la industria médica, donde lleva funcionando más de 25 años. Por sus características el PLA se ha convertido en un candidato ideal para implantes en los huesos o en los tejidos (cirugía ortopédica, facial, de pecho, abdomen).

- **CARÁCTERÍSTICAS**

El PLA es un polímero permanente e inodoro, es claro y brillante como el polietileno (se utiliza para fabricar baterías y juguetes). Resistente a la humedad y a la grasa. Tiene características de barrera del sabor y del olor similares al

plástico de polietileno tereftalato, usado para las bebidas no alcohólicas y para otros productos no alimenticios.

La fuerza extensible y el módulo de elasticidad del PLA son también comparable al polietileno. Pero es más hidrofílico que el polietileno, tiene una densidad más baja. Es estable a la luz U.V., dando como resultado telas que no se decoloran. Su inflamabilidad es demasiado baja.

El PLA se puede formular para ser rígido o flexible y puede ser polimerizado con otros materiales. El PLA se puede hacer con diversas características mecánicas dependiendo del proceso de fabricación seguido.

TABLA 13

Propiedades PLA.

Característica	PLA DEL CDP	PLA de Kuraray	Rayón	Lyocell	Poliéster
Densidad (g/cm ³)	1.25	1.27	1.51	1.52	1.38
Punto de fusión (°C)	120-170	170	Ninguno	Ninguno	260
Cuenta (dtex)	1.7 (e.g.)	1.7	1.7	1.7	1.7
Tenacidad (cN/tex)	50	25-45	20-25	40-45	35-65
Alargamiento (%)	35	N/A	18-22	14-16	15-40
Recobro de la humedad (%)	0.4 - 0.6	0.48	13	12	0.4

Fuente: (Siegwart, 2011)

TABLA 14

Propiedades PLA.

Propiedad	PLLA	PET	PA 6
Tenacidad (g/dtex)	4,0-5,5	4,0-5,5	4,0-5,5
Elongación	20-35	20-35	20-35
Módulo (g/dtex)	60-70	90-120	20-40
Densidad (g/cm ³)	1,27	1,40	1,15
Cristalinidad (%)	83,5	78,6	42,0
Tm (°C)	175	256	222
Tg (°C)	58	69	50
Encogimiento (%) (agua a ebullición)	8-15	8-15	8-15
Recuperación de humedad (%)	0,6	0,4	4,5

Fuente: (Siegwart, 2011)

3.1.3. Diseño del mecanismo

Para el desarrollo del mecanismo, se decidió realizar la transmisión de movimiento de manera directa es decir por acople directo, esta decisión se la tomo con el principal motivo de ahorrar peso para evitar una carga directa al dron.

- **MECANISMO**

Como punto principal para el diseño del mecanismo tomamos en cuenta el sentido de giro que presenta el dron y los puntos de mayor falencia para la posterior estabilización de la cámara.

Como se sabe el dron que se procedió a utilizar es el “Phantom-2”, a continuación se presenta una imagen del mismo.



FIGURA No. 29: Drone Phantom 2

Se procedió a realizar pruebas de vuelo para analizar los puntos en donde mayor inestabilidad se presentaba en la cámara, como principal conclusión se tomó en cuenta que la mayor desestabilización se daba principalmente al momento de girar el drone sobre los ejes x e y , se tomó en cuenta el siguiente sistema de referencia.

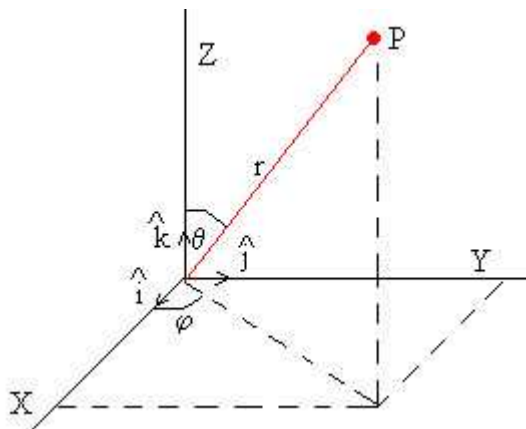


FIGURA No. 30: Sistema de referencia (Pololu, 2014).

Otro principal punto a tomar en cuenta para el diseño de nuestro mecanismo son las vibraciones producidas por el viento cuando el drone se encuentra en vuelo o el drone aterriza. Para solucionar este problema se procedió a utilizar dos tipos de almohadillas como soporte, las primeras fueron instaladas en la base del drone para su aterrizaje y las segundas se procedieron a utilizar en la base del drone.



FIGURA No. 31: Almohadillas de la base



FIGURA No. 32: Almohadillas de la base al estabilizador

Otro parámetro que se procedió a tomar en cuenta para el desarrollo del mecanismo estabilizador es la forma de la base que presentaba el drone, por lo que para lograr un acople perfecto se procedió a tomar como base a esta mismo, en la imagen se aprecia la base del drone.



FIGURA No. 33: Base del Drone Phantom 2

DISEÑO DE LA BASE DEL ESTABILIZADOR

Como se mencionó anteriormente, el principal parámetro para el diseño de la base de nuestro estabilizador fue la forma que presenta la base del drone phantom 2, de aquí nace todo el diseño CAM.



FIGURA No. 34: Base del Drone Phantom 2

- **DISEÑO MECANISMO 1 PARA BASE**

El principal parámetro que se tomó en cuenta para el diseño de dicho mecanismo es el peso que debe de tener el mismo, sin dejar a un lado la robustez y el modelo del mismo, el accionador estará con acople directo para evitar sistemas de transmisión y el peso generado por los mismos.

Tomando en cuenta todos estos parámetros para el diseño incluyendo los parámetros de vibración y en especial el parámetro de la base de la cámara, el diseño para el mecanismo en la base quedo de la siguiente manera.

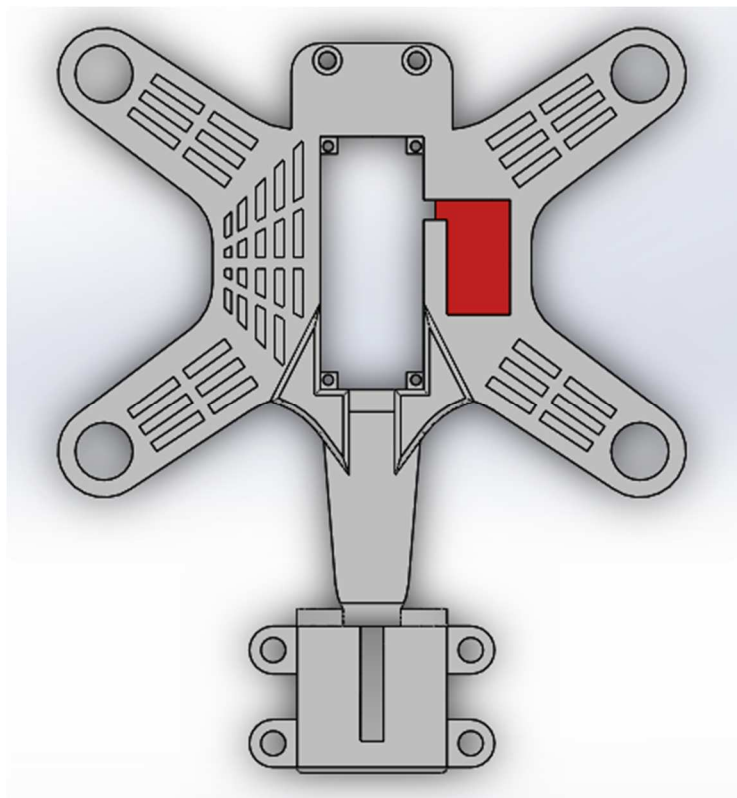


FIGURA No. 35: Mecanismo Base vista superior

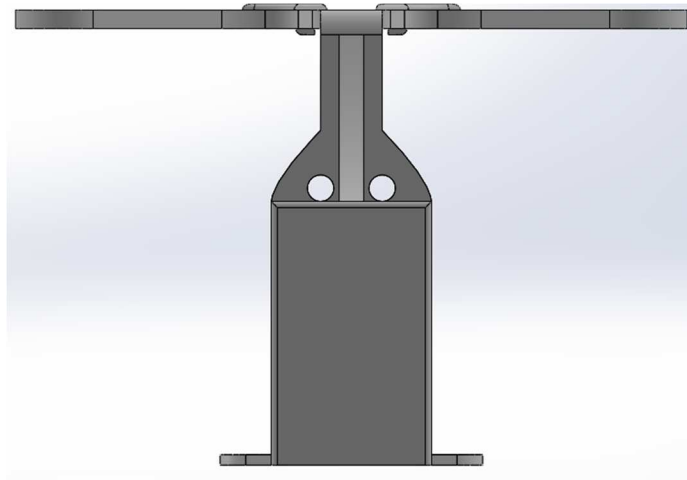


FIGURA No. 36: Mecanismo Base vista frontal

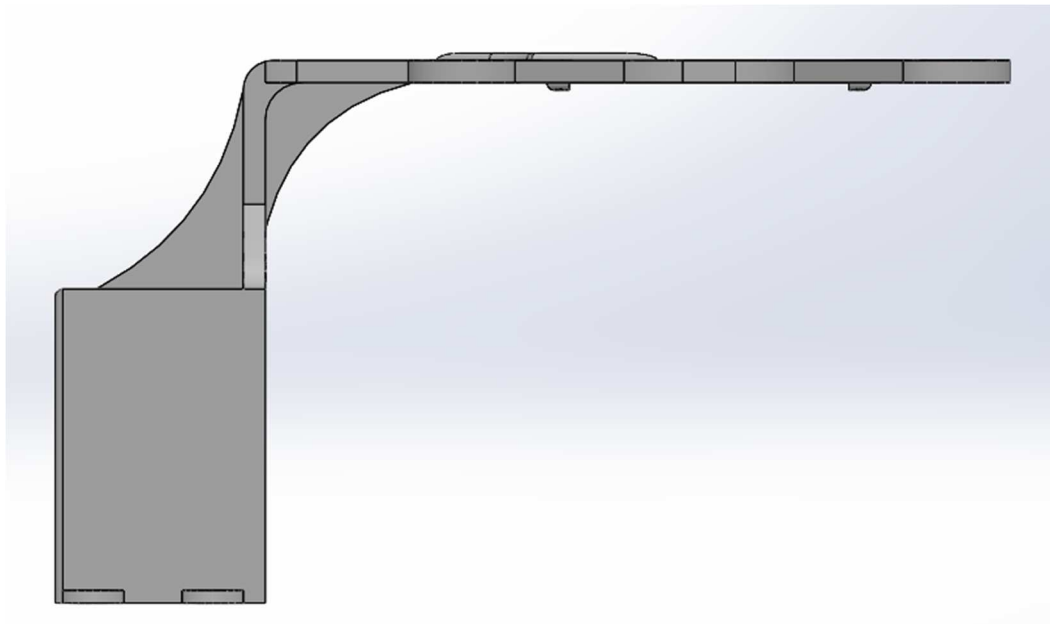


FIGURA No. 37: Mecanismo Base vista lateral

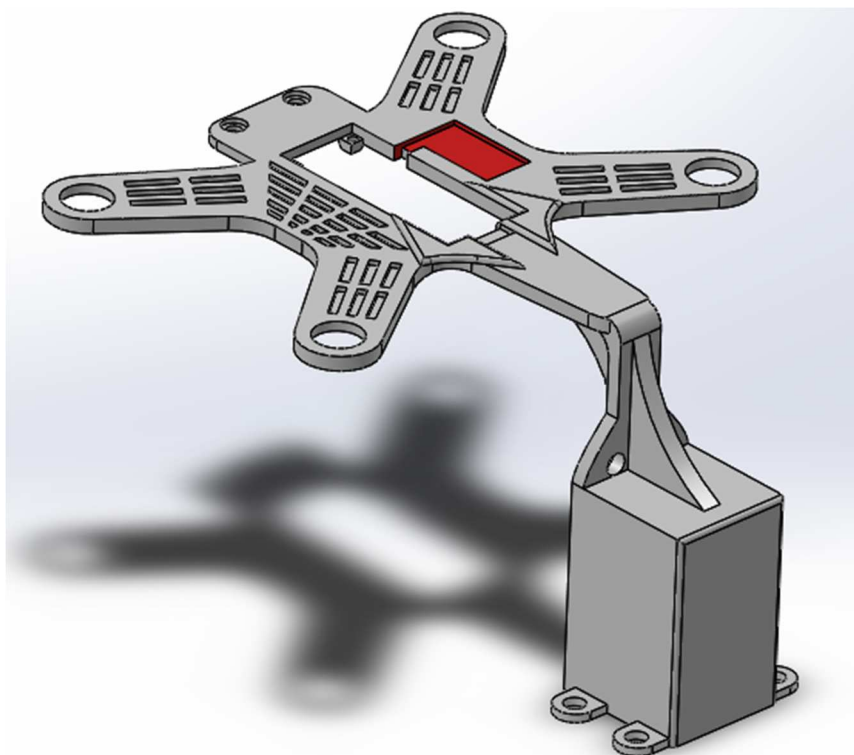


FIGURA No. 38: Mecanismo Base vista isométrica

Como se puede observar en las anteriores imágenes dentro del diseño del mecanismo de la Base para ayudar a liberar peso se procedió a realizar ciertos vaciados sin afectar la robustez de nuestro mecanismo.

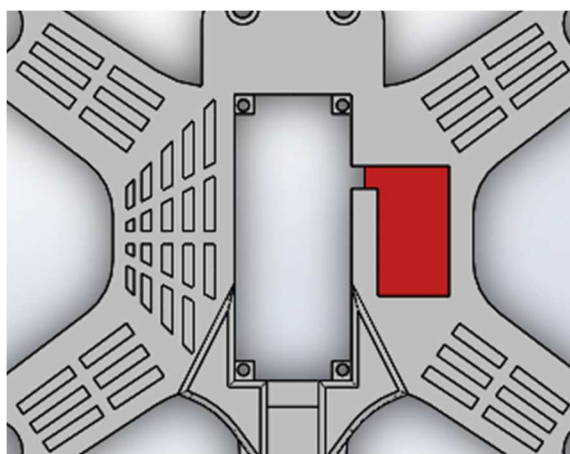


FIGURA No. 39: Vaciados realizados en la Base.

Para reforzar la robustez y aliviar esfuerzos dentro de la estructura se procedió a diseñar los siguientes nervios los cuales serán los encargados de absorber la mayoría de esfuerzos que se pueden generar por el peso de la carga en el estabilizador.

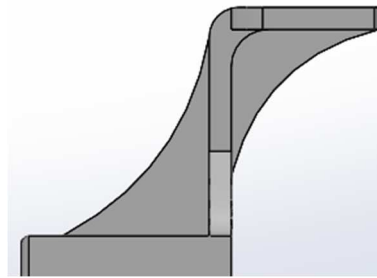


FIGURA No. 40: Nervios realizados en la Base.

Los nervios van desde la parte superior de la carcasa del servomotor al molde de acople en la base de la cámara tanto internamente como externamente, como se puede ver claramente en la figura 35.

- **Análisis de Esfuerzos en el mecanismo de la Base**

Dentro del siguiente capítulo se procedió analizar los esfuerzos generados por la carga en el mecanismo de la Base.

Como base para la carga tomamos a la carga máxima que puede levantar el drone la cual se puede verificar en el manual del mismo.

Aeronave	
Temperatura de trabajo	-10°C to 50°C
Consumo de potencia	5.6W
Batería	Batería inteligente DJI
Peso (Sin batería)	1000g
Peso de despegue	≤ 1300g
Precisión de vuelo estático (listo para volar)	Vertical: 0.8m; Horizontal: 2.5m
Máx. velocidad de rotación	200°/s
Máx. Ángulo de inclinación	35°
Máx. Velocidad Ascenso/Descenso	6m/s
Máx. Velocidad de vuelo	15m/s (No Recomendado)
Máx. Dimension horizontal	350mm

FIGURA No. 41: Parámetros Drone

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 1300g}$$

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 1.3kg}$$

Procedemos a transformar nuestra carga máxima a Nétwones, tomando como referencia a $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

$$\mathbf{Carga\ (N) = Carga\ maxima * gravedad \quad (Ec. 1)}$$

$$\mathbf{Carga\ (N) = 1.3\ kg * 9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$\mathbf{Carga\ (N) = 12.74\ N}$$

Ya con el dado de la carga máxima procedimos a fijar nuestro material que en este caso es PLA.

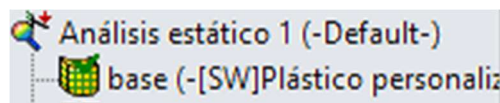


FIGURA No. 42: Material Aplicado a nuestro mecanismo

Después de aplicar el material, se procedió a fijar nuestro mecanismo para lo cual utilizamos las aperturas de nuestro modelo.

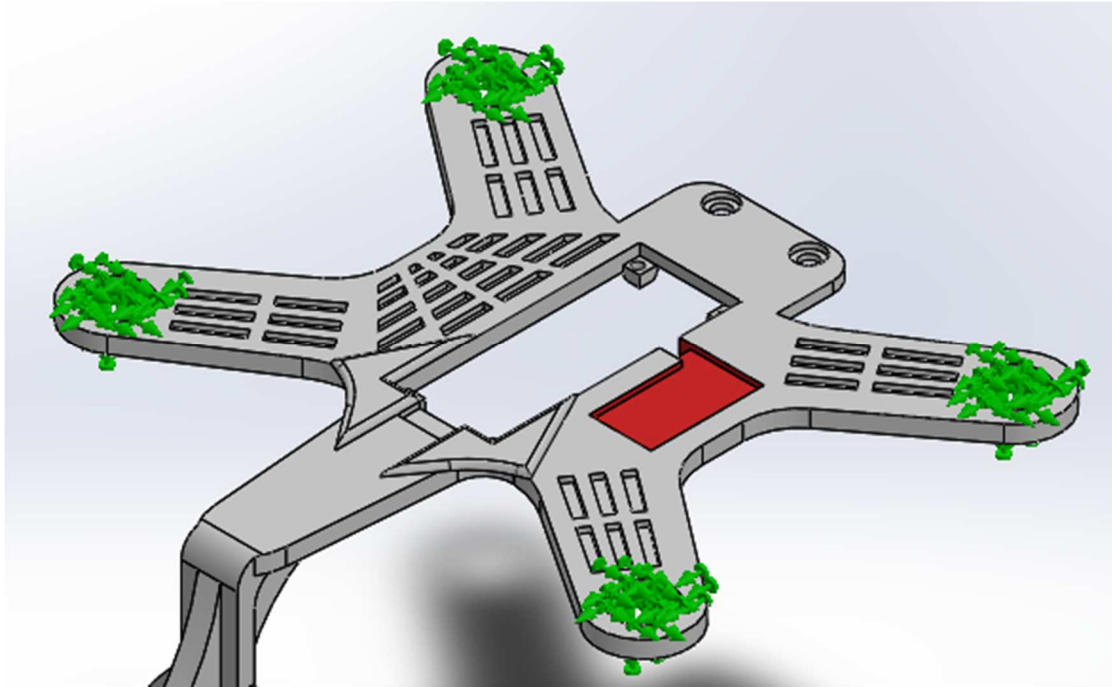
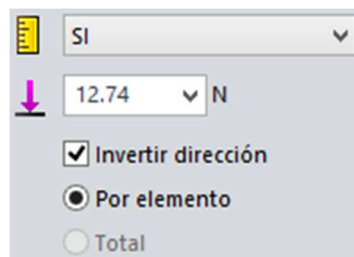


FIGURA No. 43: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo

Ya con las sujeciones fijas de nuestro modelo establecidas, se procedió aplicar la carga en nuestro modelo.



44FIGURA No. 44: Configuración del valor de la carga

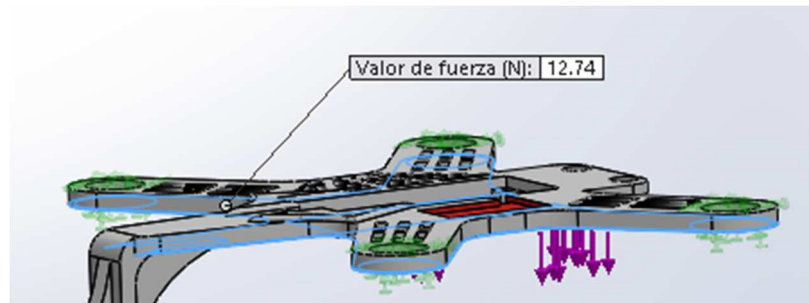


FIGURA No. 45: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo

Después de aplicar las cargas se procedió a realizar el mallado en conjunto para el análisis de los esfuerzos en nuestro modelo.

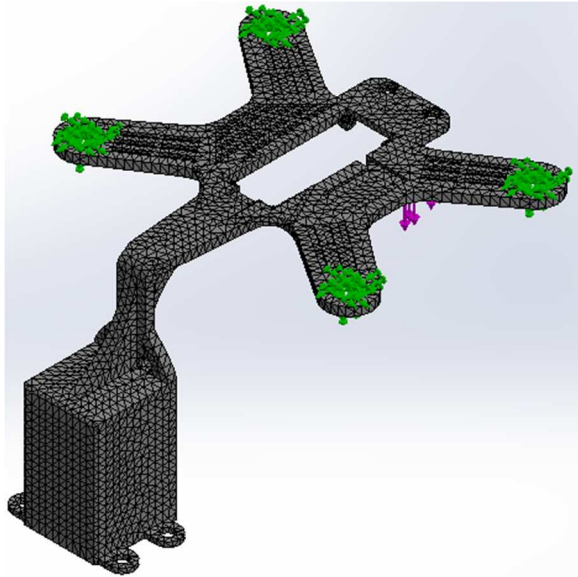


FIGURA No. 46: Mecanismo de la base mallado

Después de tener configurados todos nuestros parámetros se procedió a realizar el estudio de los esfuerzos obteniendo los siguientes resultados.

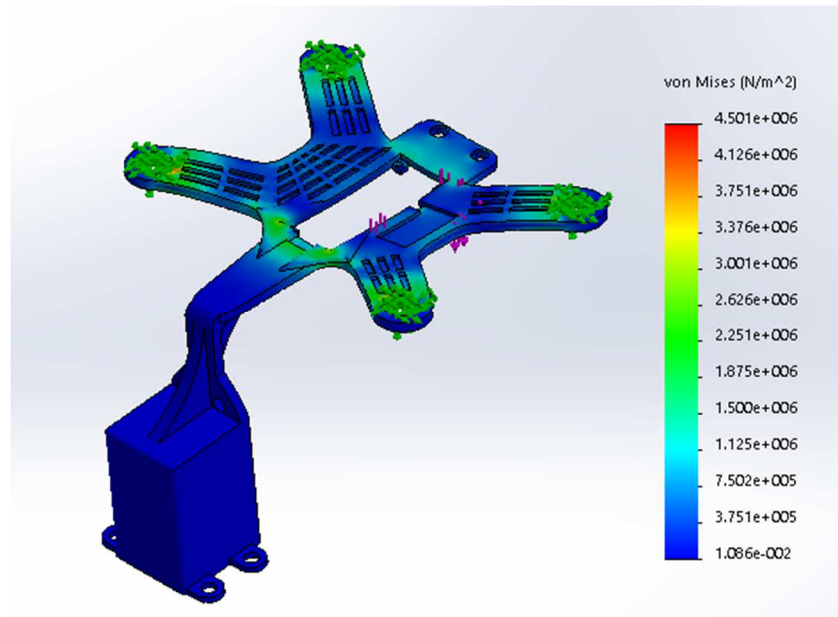


FIGURA No. 47: Tensiones generados por la carga en el mecanismo

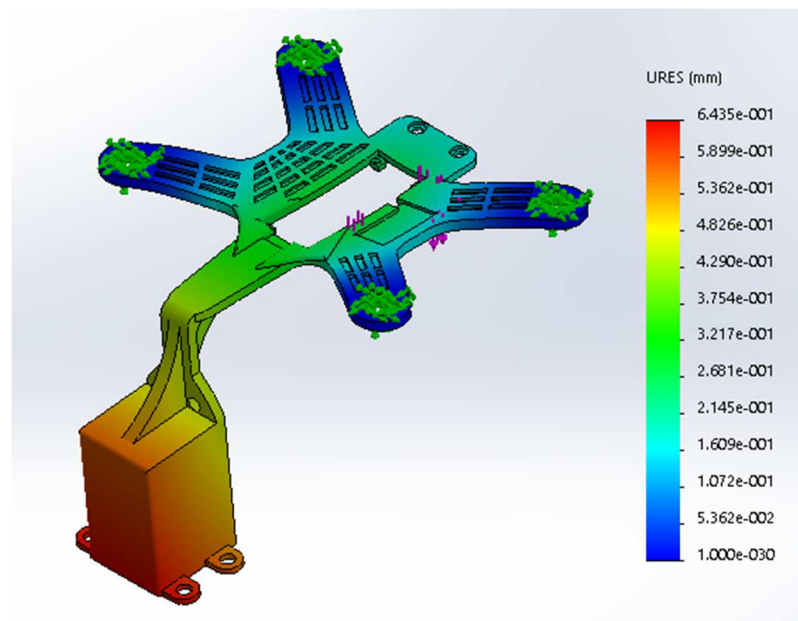


FIGURA No. 48: Desplazamientos generados por la carga en el mecanismo

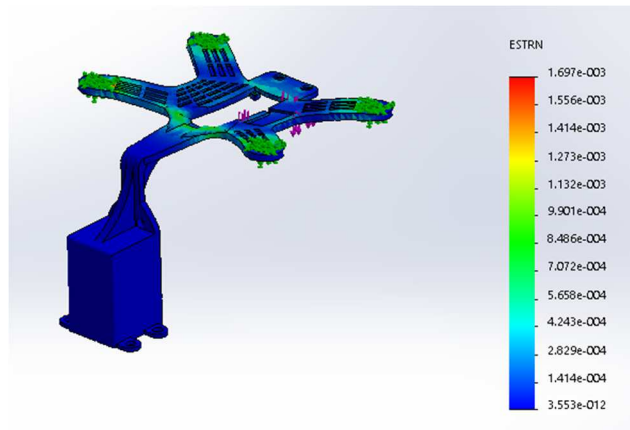


FIGURA No. 49: Deformaciones Unitarias generados por la carga en el mecanismo

Para verificar que nuestro material soporta la carga seleccionada se procedió a calcular el factor de seguridad tomando como referencia el factor de 1.

Se lo realizo en dos partes la primera es el estudio del factor de seguridad en los puntos por debajo del valor de 1 y el otro es el estudio del factor de seguridad distribuidamente en el modelo.

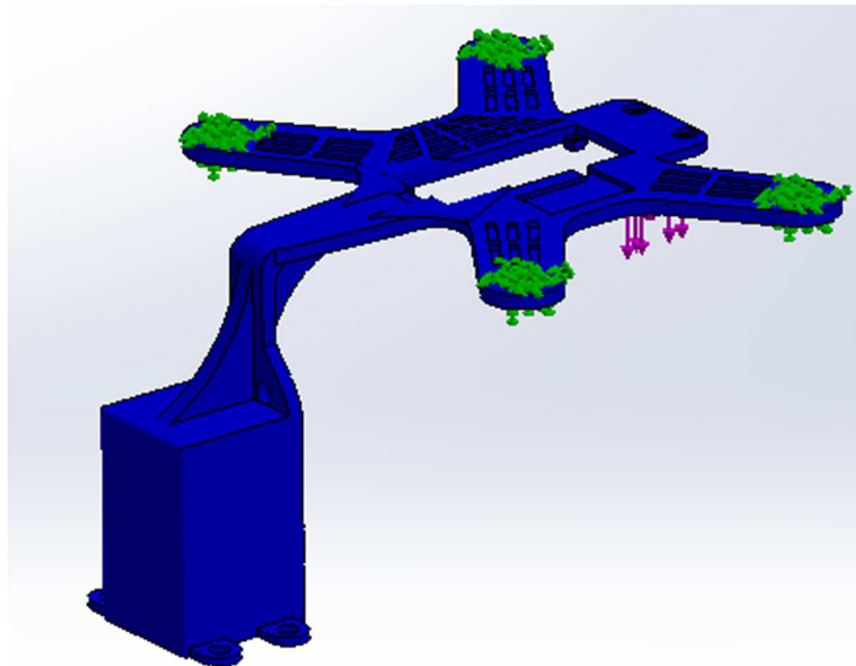


FIGURA No. 50: Factor Seguridad por debajo del límite (1)

Nombre del modelo: base
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Default-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Rojo < FOS = 1 < Azul

FIGURA No. 51: Resultado del análisis de FOS

Como se puede observar en el resultado de la figura 51:

$$\text{Rojo} < \text{FOS} = 1 < \text{Azul}$$

Nos quiere decir que las áreas que se encuentran en peligro o por debajo del factor de seguridad son las pintadas de rojo, como se observa en la imagen 45 todo el mecanismo es de color azul por lo que podemos concluir que todos los puntos muestreados presentan un valor mayor a 1, lo que nos quiere decir que el mecanismo no fallara.

Para estar seguros de nuestro estudio procedimos a correr el estudio de Factor de Seguridad distribuido.

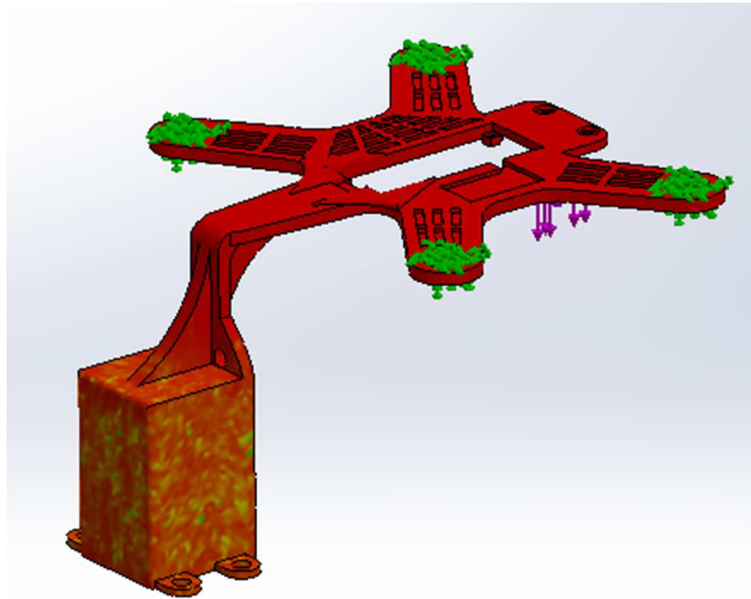


FIGURA No. 52: Resultado del análisis de FOS

Nombre del modelo:base
Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Default-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 12

FIGURA No. 53: Resultado del análisis de FOS

Como se puede observar en la figura 48, el factor de seguridad mínimo es de valor 12 por lo tanto queda concluido que el mecanismo no fallara a la carga máxima lo que cualquier valor por debajo del mismo está permitido.

- **DISEÑO MECANISMO 1 PARA EL EJE X**

El principal parámetro que se tomó en cuenta para el diseño de dicho mecanismo es el peso que debe de tener el mismo, sin dejar a un lado la robustez y el modelo del mismo, el accionador estará con acople directo para evitar sistemas de transmisión y el peso generado por los mismos.

Tomando en cuenta todos estos parámetros para el diseño incluyendo los parámetros de vibración y en especial el parámetro de la base de la cámara, el diseño para el mecanismo en el eje X quedo de la siguiente manera.

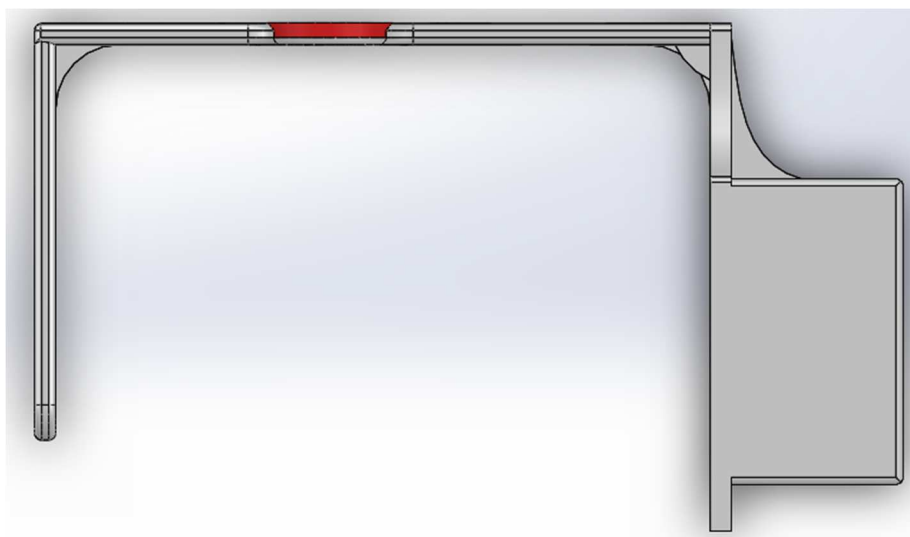


FIGURA No. 54: Mecanismo eje X vista superior

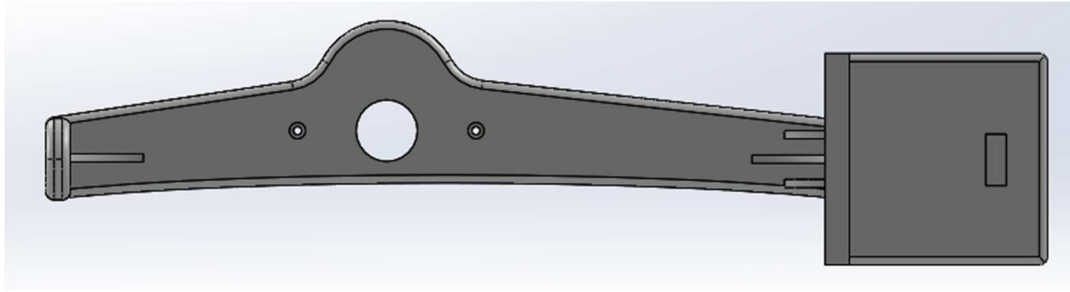


FIGURA No. 55: Mecanismo eje X vista frontal

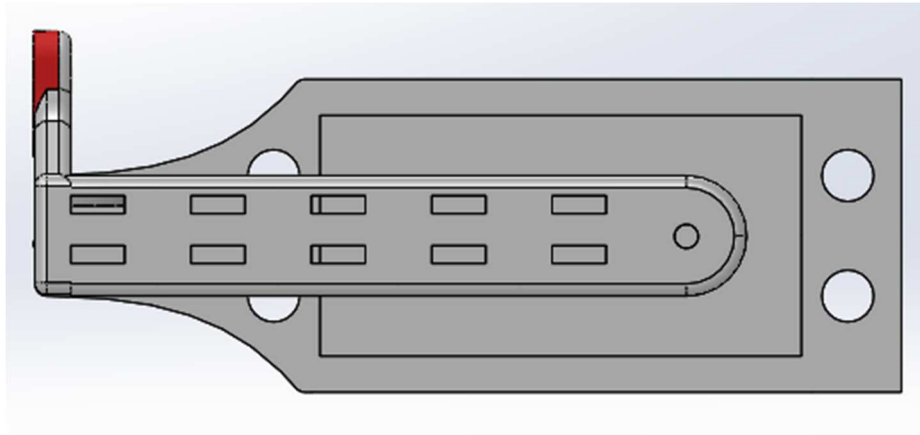


FIGURA No. 56: Mecanismo eje X vista lateral

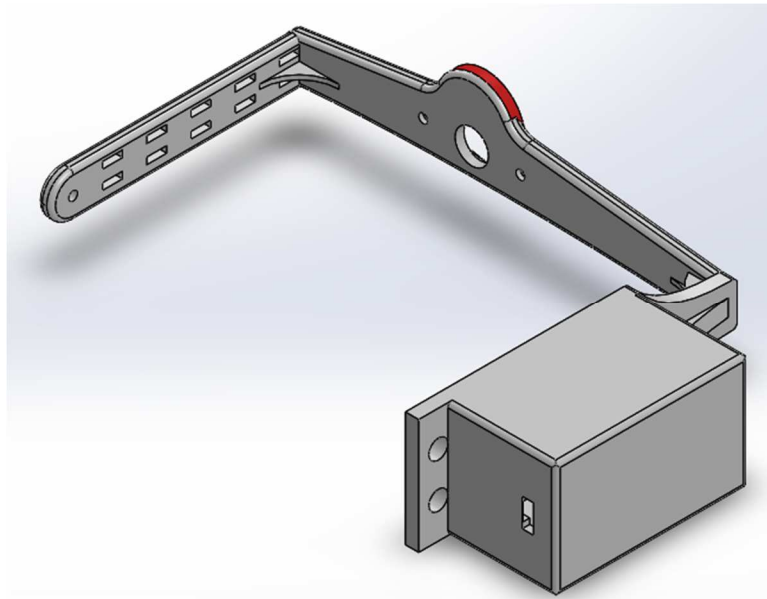


FIGURA No. 57: Mecanismo eje X vista isométrica

Puesto que el peso y la robustez son dos de los parámetros que más debemos de tomar en cuenta para el diseño de todos los mecanismos, se realizó el mismo procedimiento que para el mecanismo de la base, es decir para aliviar peso se realizó un vaciado y para dar mayor soporte al estabilizador se agregaron nervios tanto internamente como externamente, al igual que aumentar la tolerancia de esfuerzos.

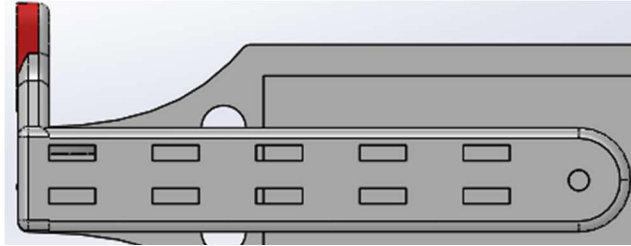


FIGURA No. 58: Vaciados mecanismo eje X

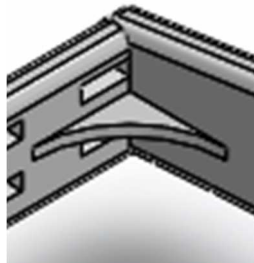


FIGURA No. 59: Nervios mecanismo eje X

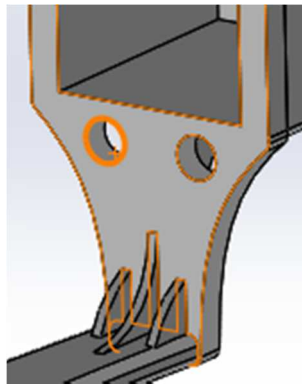


FIGURA No. 60: Nervios mecanismo eje X

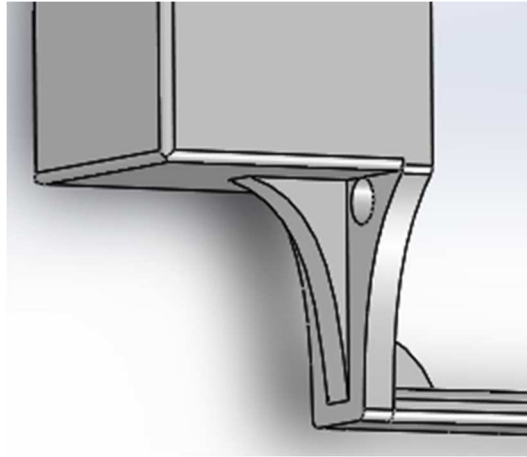


FIGURA No. 61: Nervios mecanismo eje X

- **Análisis de Esfuerzos en el mecanismo del eje X**

Dentro del siguiente capítulo se procedió analizar los esfuerzos generados por la carga en el mecanismo del eje X, como base para la carga tomamos a la carga máxima que va a estar presente en el mecanismo, que en este caso es peso del servomotor.

La marca del servomotor que utilizamos es el HS-31, del cual podemos obtener los siguientes datos.

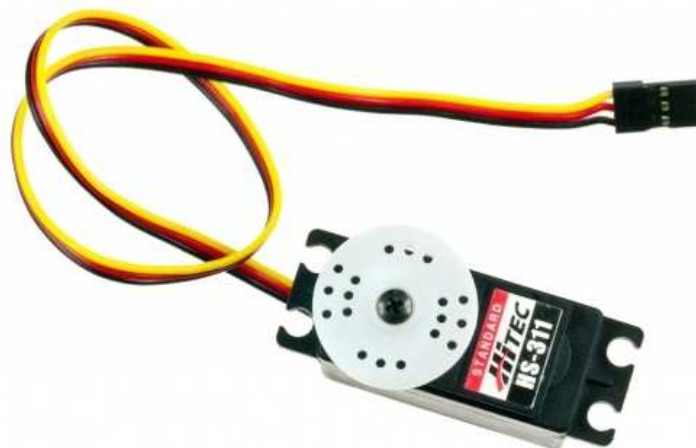


FIGURA No. 62: Servomotor HS-311

Detailed Specifications
Control System: +Pulse Width Control 1500usec Neutral
Required Pulse: 3-5 Volt Peak to Peak Square Wave
Operating Voltage: 4.8-6.0 Volts
Operating Temperature Range: -20 to +60 Degree C
Operating Speed (4.8V): 0.19sec/60° at no load
Operating Speed (6.0V): 0.15sec/60° at no load
Stall Torque (4.8V): 42 oz/in (3.0 kg/cm)
Stall Torque (6.0V): 51 oz/in (3.7 kg/cm)
Current Drain (4.8V): 7.4mA/idle, 160mA no load operating
Current Drain (6.0V): 7.7mA/idle, 180mA no load operating
Dead Band Width: 5usec
Operating Angle: 45° one side pulse traveling 450usec
Direction: Multi-directional
Motor Type: Cored Metal Brush
Potentiometer Drive: 4 Slider/Direct Drive
Bearing Type: Top Resin Bushing
Gear Type: Nylon
Continuous Rotation Modifiable: Yes
Connector Wire Length: 11.81" (300mm)
Weight: 1.52oz (43g)

FIGURA No. 63: Datasheet Servomotor HS-311.

Fuente: (Siegwart, 2011)

Como se puede observar en la imagen 57, el peso del motor es de 43g lo cual se procedió a tomar como mi carga máxima para este mecanismo.

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 43g}$$

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 0.043kg}$$

Procedemos a transformar nuestra carga máxima a Nétwtones, tomando como referencia a $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

$$\mathbf{Carga\ (N) = Carga\ maxima * gravedad\ (Ec. 2)}$$

$$\mathbf{Carga\ (N) = 0.043\ kg * 9.8\ \frac{m}{s^2}}$$

$$\mathbf{Carga\ (N) = 0.421\ N}$$

Ya con el dado de la carga máxima procedimos a fijar nuestro material que en este caso es PLA.

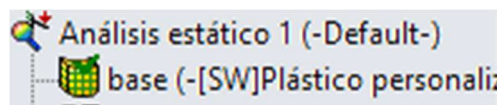


FIGURA No. 64: Material Aplicado a nuestro mecanismo

Después de aplicar el material, se procedió a fijar nuestro mecanismo para lo cual utilizamos las aperturas de nuestro modelo.

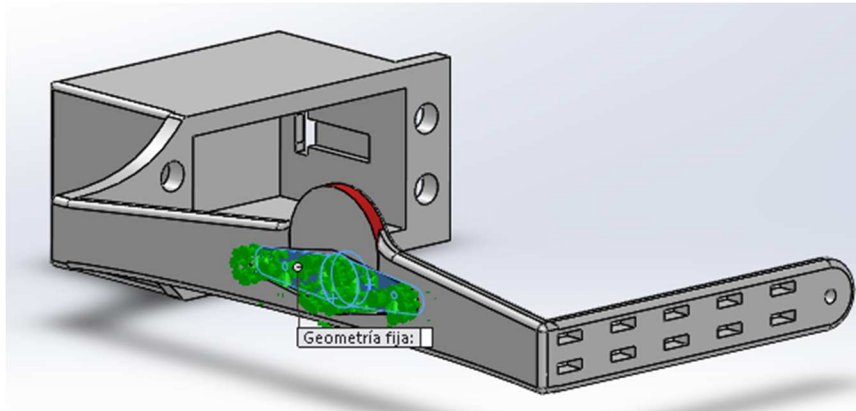


FIGURA No. 65: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo

Ya con las sujeciones fijas de nuestro modelo establecidas, se procedió a aplicar la carga en nuestro modelo.

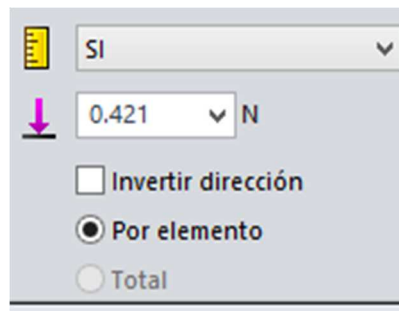


FIGURA No. 66: Configuración del valor de la carga

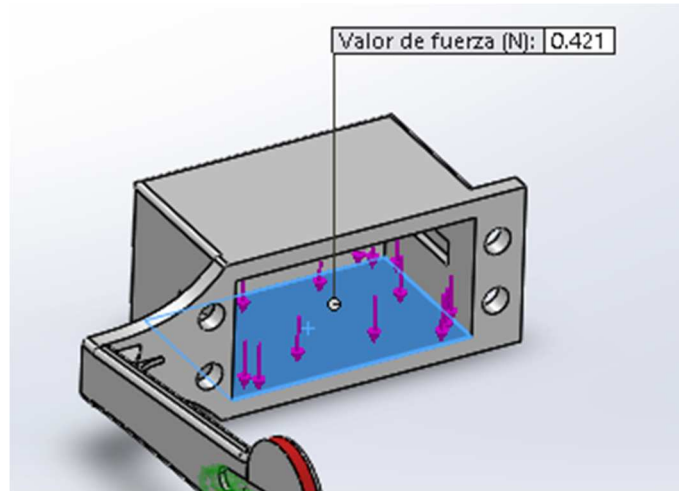


FIGURA No. 67: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo

Después de aplicar las cargas se procedió a realizar el mallado en conjunto para el análisis de los esfuerzos en nuestro modelo.

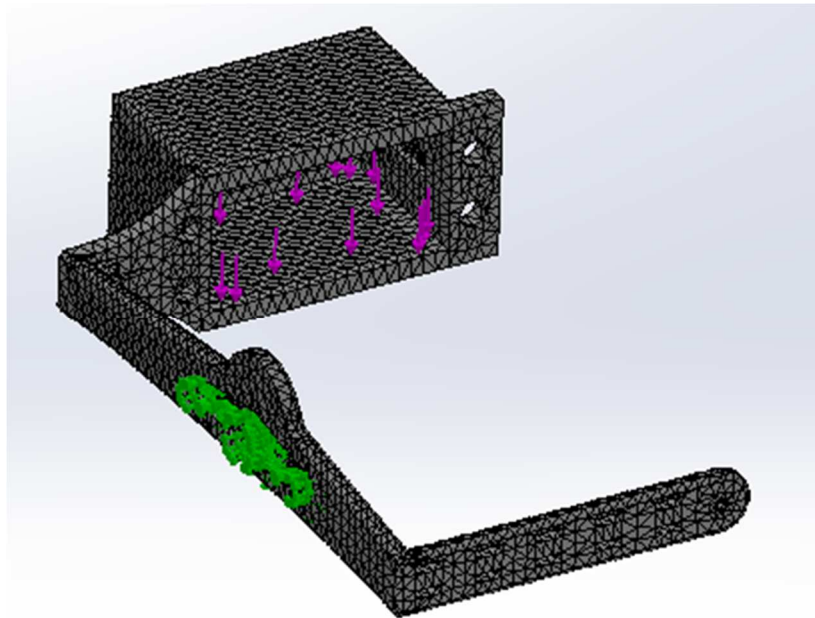


FIGURA No. 68: Mecanismo de la base mallado

Después de tener configurados todos nuestros parámetros se procedió a realizar el estudio de los esfuerzos obteniendo los siguientes resultados.

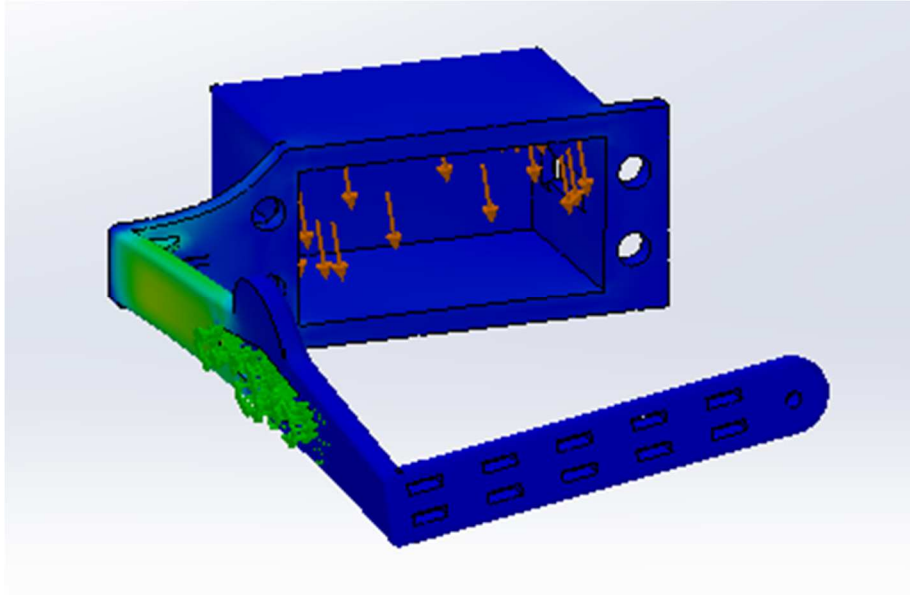


FIGURA No. 69: Tensiones generados por la carga en el mecanismo

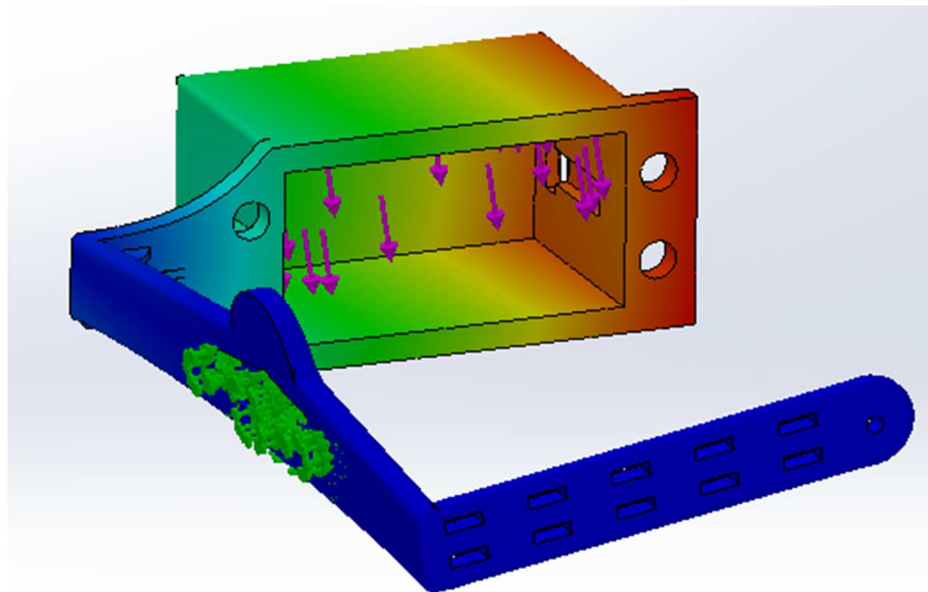


FIGURA No. 70: Desplazamientos generados por la carga en el mecanismo

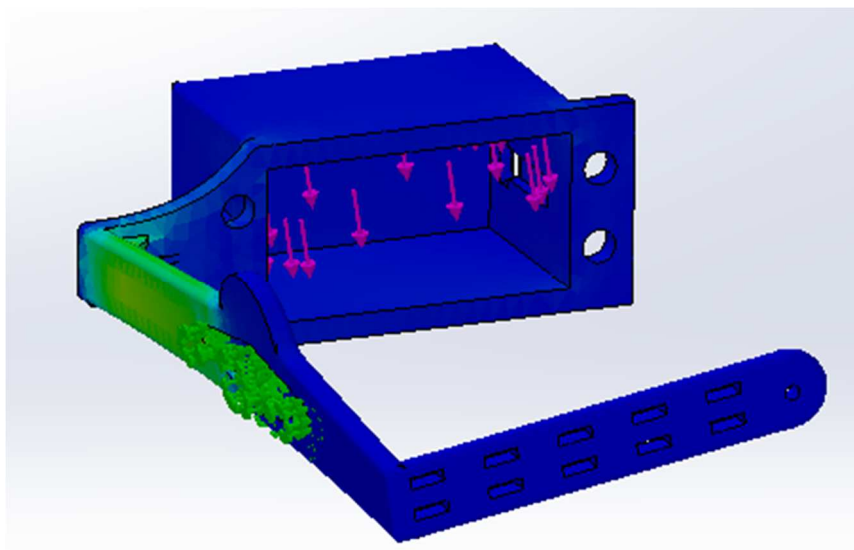


FIGURA No. 71: Deformaciones Unitarias generados por la carga en el mecanismo

Para verificar que nuestro material soporta la carga seleccionada se procedió a calcular el factor de seguridad tomando como referencia el factor de 1.

Se lo realizo en dos partes la primera es el estudio del factor de seguridad en los puntos por debajo del valor de 1 y el otro es el estudio del factor de seguridad distribuidamente en el modelo.

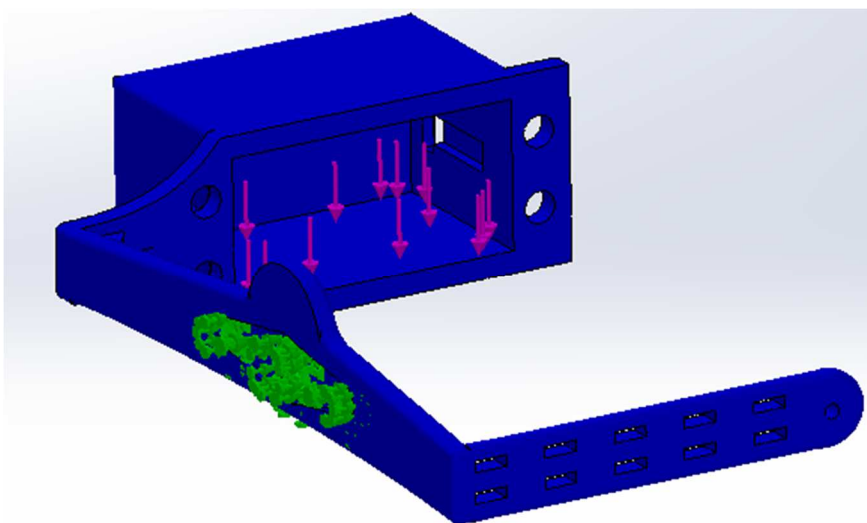


FIGURA No. 72: Factor Seguridad por debajo del límite (1)

Nombre del modelo:Primer Eje
 Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Default-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Rojo < FOS = 1 < Azul

FIGURA No. 73: Resultado del análisis de FOS

Como se puede observar en el resultado de la figura 46:

$$\text{Rojo} < \text{FOS} = 1 < \text{Azul}$$

Nos quiere decir que las áreas que se encuentran en peligro o por debajo del factor de seguridad son las pintadas de rojo, como se observa en la imagen 66 todo el mecanismo es de color azul por lo que podemos concluir que todos los puntos muestreados presentan un valor mayor a 1, lo que nos quiere decir que el mecanismo no fallara.

Para estar seguros de nuestro estudio procedimos a correr el estudio de Factor de Seguridad distribuido.

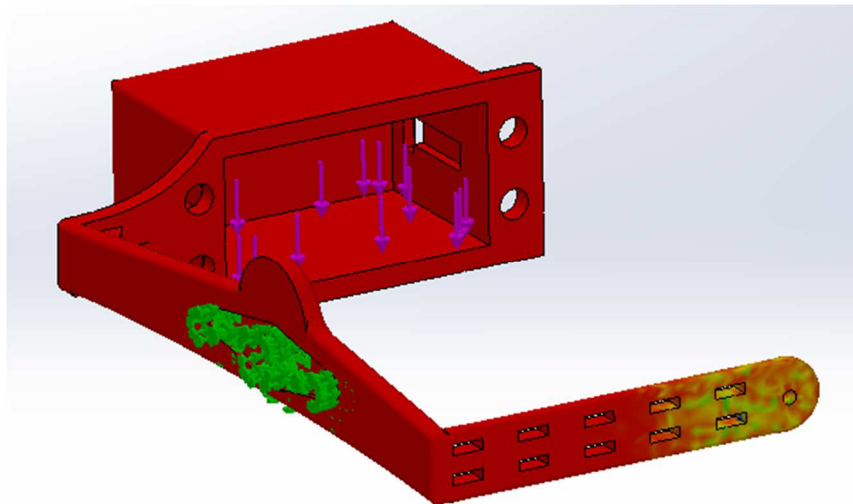


FIGURA No. 74: Resultado del análisis de FOS

Nombre del modelo:Primer Eje
 Nombre de estudio:Análisis estático 1{-Default-}
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 30

FIGURA No. 75: Resultado del análisis de FOS

Como se puede observar en la figura 69, el factor de seguridad mínimo es de valor 30 por lo tanto queda concluido que el mecanismo no fallara a la carga máxima lo que cualquier valor por debajo del mismo está permitido.

- **DISEÑO MECANISMO 1 PARA EL EJE Y**

El principal parámetro que se tomó en cuenta para el diseño de dicho mecanismo es el peso que debe de tener el mismo, sin dejar a un lado la robustez y el modelo del mismo, el accionador estará con acople directo para evitar sistemas de transmisión y el peso generado por los mismos.

Tomando en cuenta todos estos parámetros para el diseño incluyendo los parámetros de vibración y en especial el parámetro de la base de la cámara, el diseño para el mecanismo en el eje X quedo de la siguiente manera.

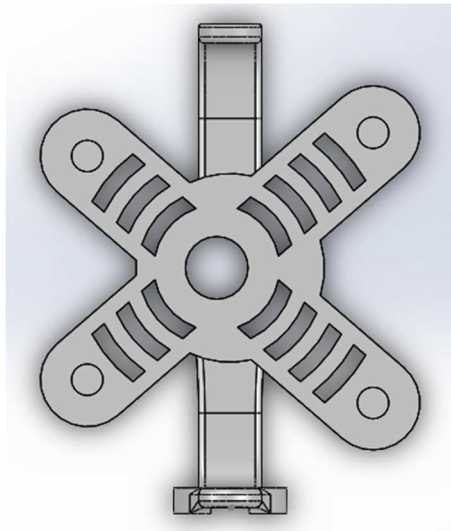


FIGURA No. 76: Mecanismo eje Y vista superior

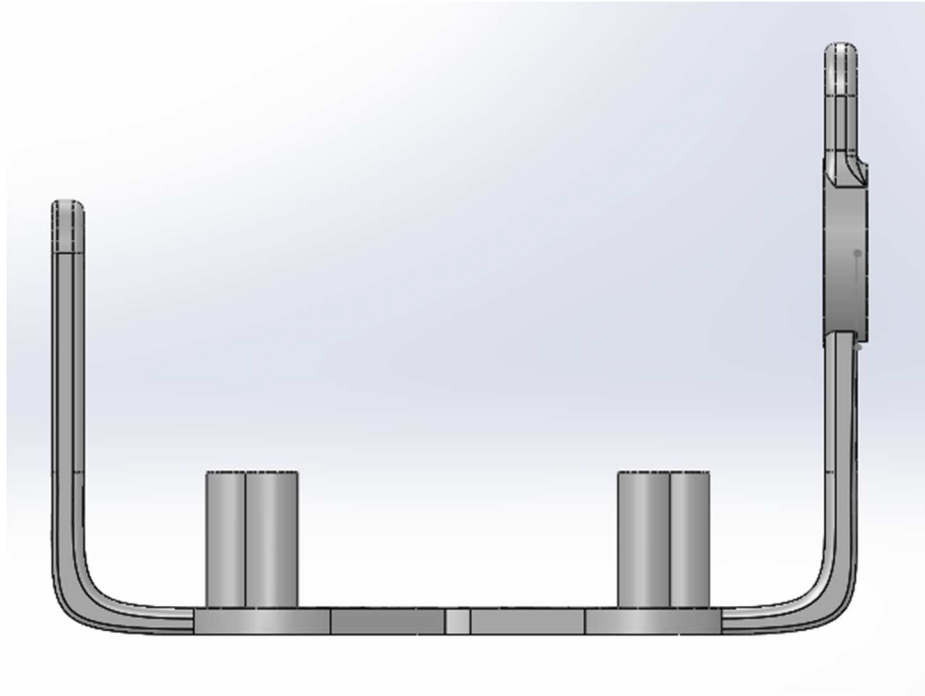


FIGURA No. 77: Mecanismo eje Y vista frontal

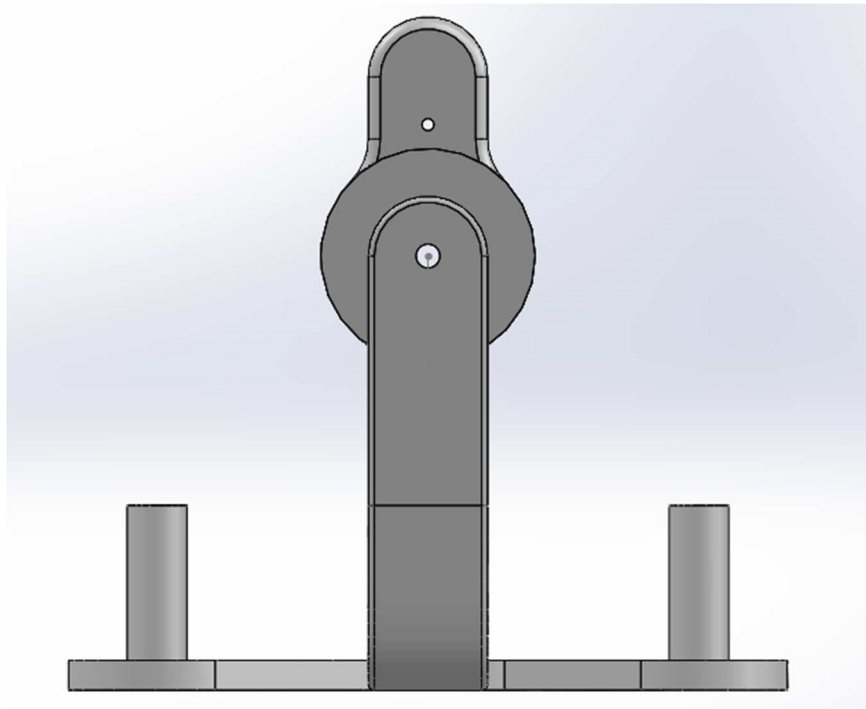


FIGURA No. 78: Mecanismo eje Y vista lateral

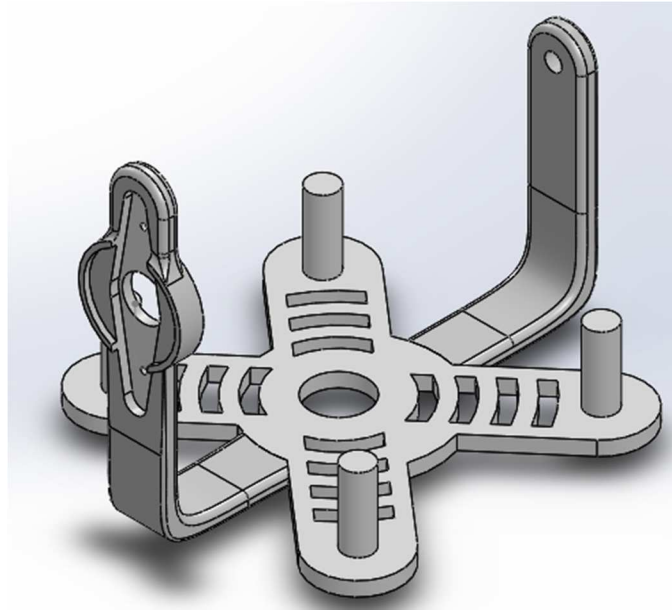


FIGURA No. 79: Mecanismo eje Y vista isométrica

Puesto que el peso y la robustez son dos de los parámetros que más debemos de tomar en cuenta para el diseño de todos los mecanismos, se realizó el mismo procedimiento que para el mecanismo de la base, es decir para aliviar peso se realizó un vaciado y para dar mayor soporte al estabilizador se agregaron nervios tanto internamente como externamente, al igual que aumentar la tolerancia de esfuerzos.

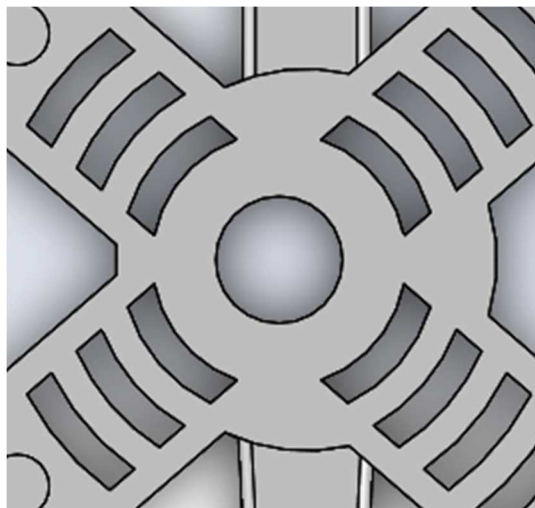


FIGURA No. 80: Vaciados mecanismo eje Y

- **Análisis de Esfuerzos en el mecanismo 1 del eje Y**

Dentro del siguiente capítulo se procedió analizar los esfuerzos generados por la carga en el mecanismo del eje Y.

Como base para la carga tomamos a la carga máxima que va a estar presente en el mecanismo, que en este caso es el peso generado por la cámara.

La cámara es propia del Drone y para pesarla nos ayudamos de una balanza.



FIGURA No. 81: Servomotor HS-311 (Pololu, 2014).

Fuente: (Siegwart, 2011)

El peso de la cámara es de 300gr lo que tomaremos como referencia de nuestra carga máxima para el mecanismo del eje Y.

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 300g}$$

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 0.3kg}$$

Procedemos a transformar nuestra carga máxima a Nétwtones, tomando como referencia a $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

$$\mathbf{Carga\ (N) = Carga\ maxima * gravedad\ (Ec.3)}$$

$$\mathbf{Carga\ (N) = 0.3\ kg * 9.8\ \frac{m}{s^2}}$$

$$\mathbf{Carga\ (N) = 2.94\ N}$$

Ya con el dato de la carga máxima procedimos a fijar nuestro material que en este caso es PLA.

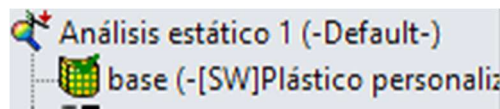


FIGURA No. 82: Material Aplicado a nuestro mecanismo

Después de aplicar el material, se procedió a fijar nuestro mecanismo para lo cual utilizamos las aperturas de nuestro modelo.

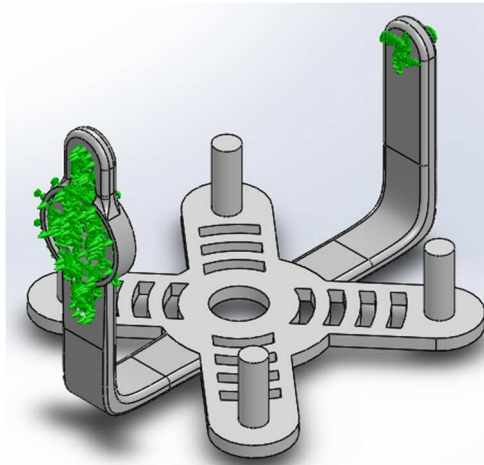


FIGURA No. 83: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo

Ya con las sujeciones fijas de nuestro modelo establecidas, se procedió aplicar la carga en nuestro modelo.

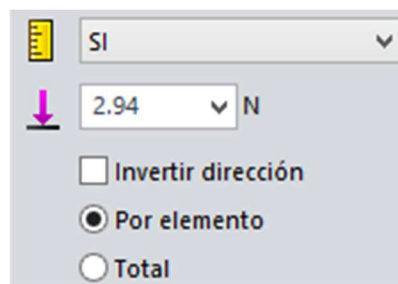


FIGURA No. 84: Configuración del valor de la carga

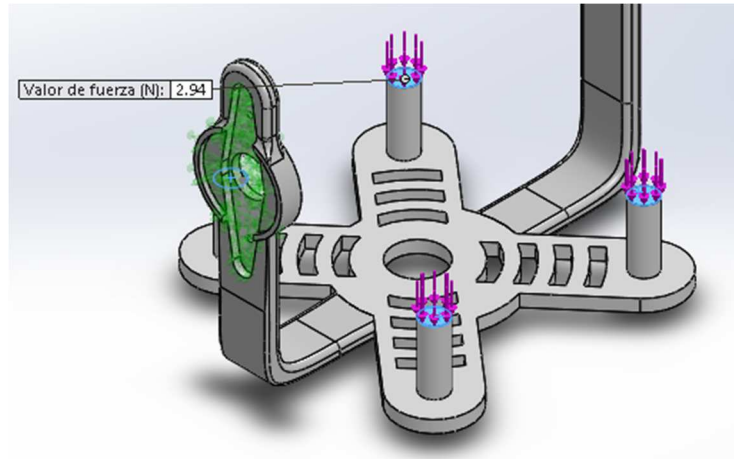


FIGURA No. 85: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo

Después de aplicar las cargas se procedió a realizar el mallado en conjunto para el análisis de los esfuerzos en nuestro modelo.

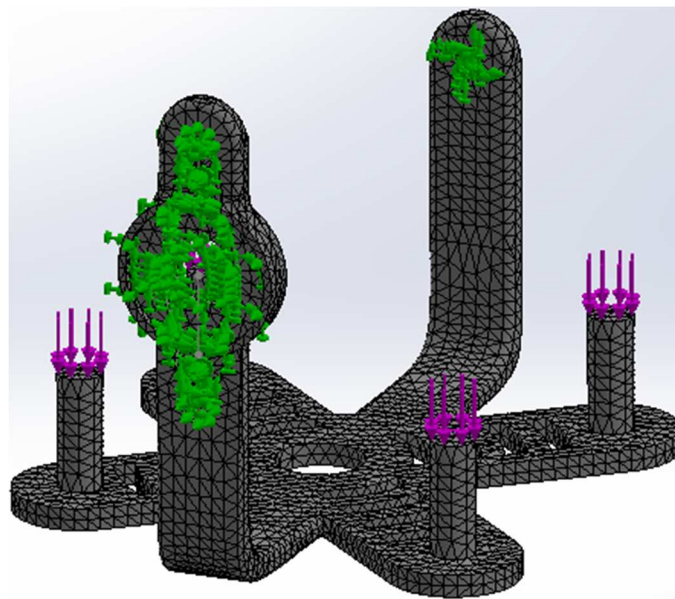


FIGURA No. 86: Mecanismo eje Y mallado

Después de tener configurados todos nuestros parámetros se procedió a realizar el estudio de los esfuerzos obteniendo los siguientes resultados.

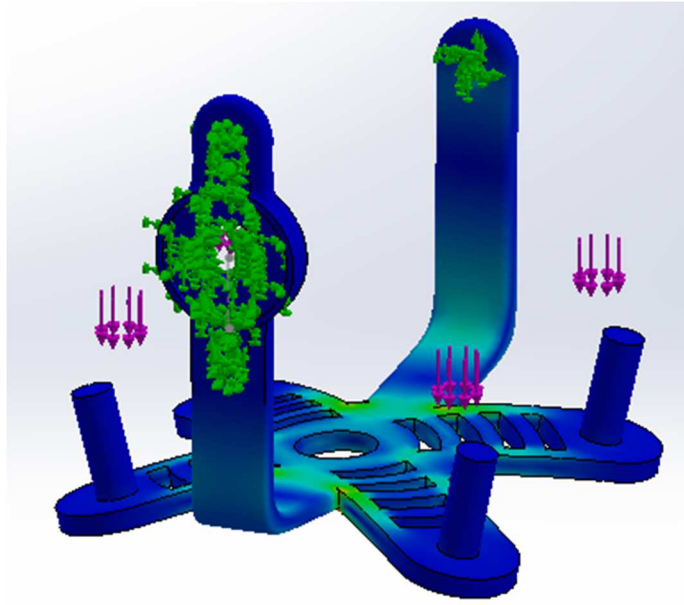


FIGURA No. 87: Tensiones generados por la carga en el mecanismo

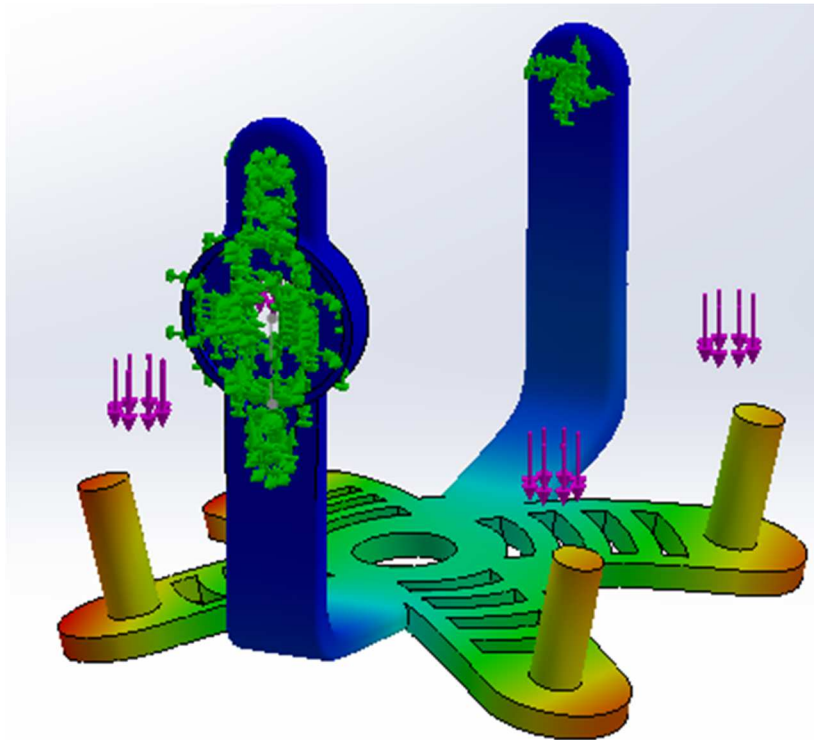


FIGURA No. 88: Desplazamientos generados por la carga en el mecanismo.

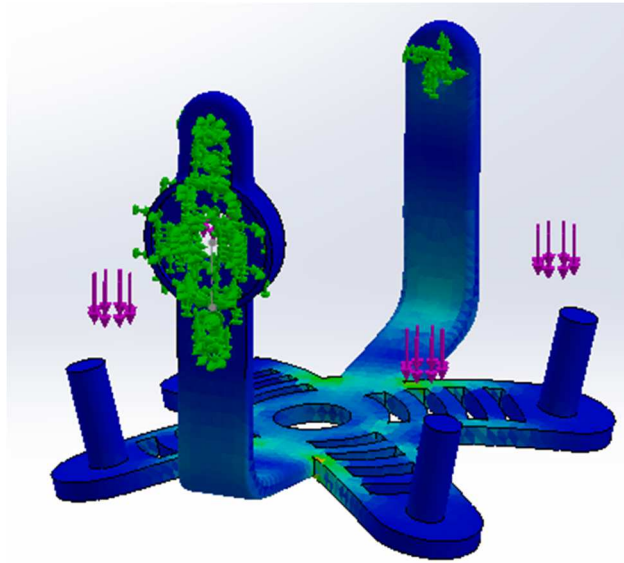


FIGURA No. 89: Deformaciones Unitarias generados por la carga en el mecanismo.

Para verificar que nuestro material soporta la carga seleccionada se procedió a calcular el factor de seguridad tomando como referencia el factor de 1.

Se lo realizo en dos partes la primera es el estudio del factor de seguridad en los puntos por debajo del valor de 1 y el otro es el estudio del factor de seguridad distribuidamente en el modelo.

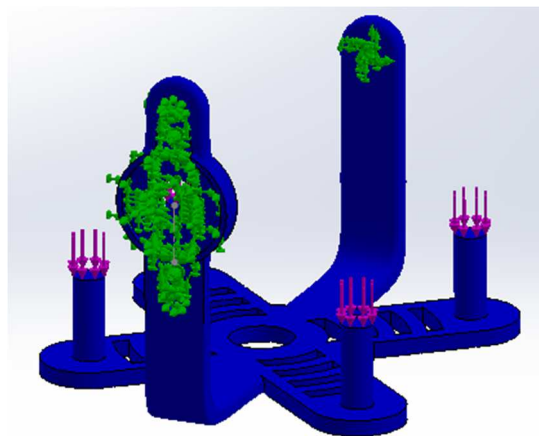


FIGURA No. 90: Factor Seguridad por debajo del límite (1).




Nombre del modelo: Segundo Eje   
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Default-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Rojo < FOS = 1 < Azul

FIGURA No. 91: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en el resultado de la figura 85:

$$\text{Rojo} < \text{FOS} = 1 < \text{Azul}$$

Nos quiere decir que las áreas que se encuentran en peligro o por debajo del factor de seguridad son las pintadas de rojo, como se observa en la imagen 66 todo el mecanismo es de color azul por lo que podemos concluir que todos los puntos muestreados presentan un valor mayor a 1, lo que nos quiere decir que el mecanismo no fallara.

Para estar seguros de nuestro estudio procedimos a correr el estudio de Factor de Seguridad distribuido.

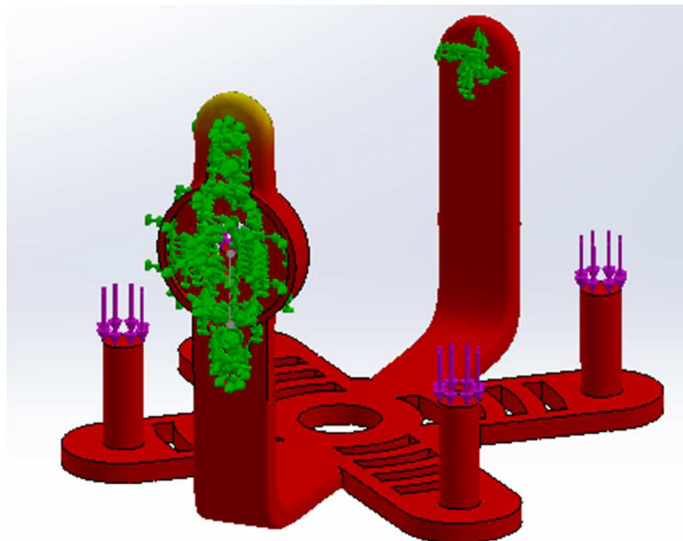


FIGURA No. 92: Resultado del análisis de FOS.

Nombre del modelo: Segundo Eje
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Default-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2.9



FIGURA No. 93: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en la figura 87, el factor de seguridad mínimo es de valor 2.9 por lo tanto queda concluido que el mecanismo no fallara a la carga máxima lo que cualquier valor por debajo del mismo está permitido.

- **DISEÑO MECANISMO 2 PARA BASE**

Para el diseño de la base en el mecanismo 2 se conservó el diseño de la primera, es decir se mantuvieron las mismas medidas y acotaciones.

- **DISEÑO MECANISMO 2 PARA EL EJE X**

El principal parámetro que se tomó en cuenta para el diseño de dicho mecanismo es el peso que debe de tener el mismo, sin dejar a un lado la robustez y el modelo del mismo, el accionador estará con acople directo para evitar sistemas de transmisión y el peso generado por los mismos.

Tomando en cuenta todos estos parámetros para el diseño incluyendo los parámetros de vibración y en especial el parámetro de la base de la cámara, el diseño para el mecanismo en el eje X quedo de la siguiente manera.

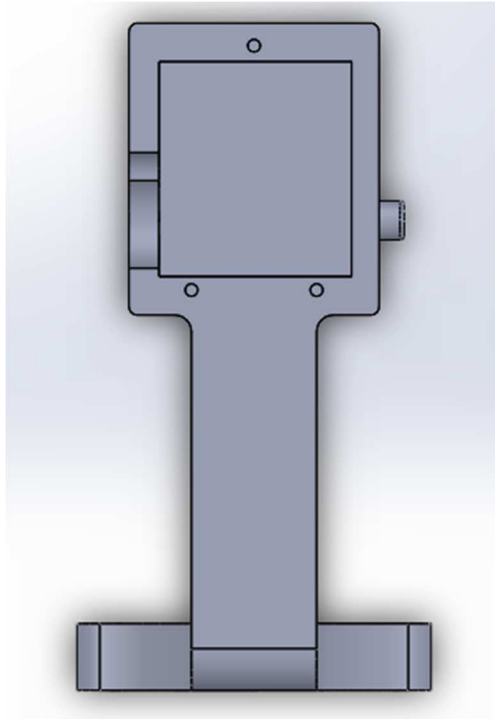


FIGURA No. 94: Mecanismo eje X vista superior.

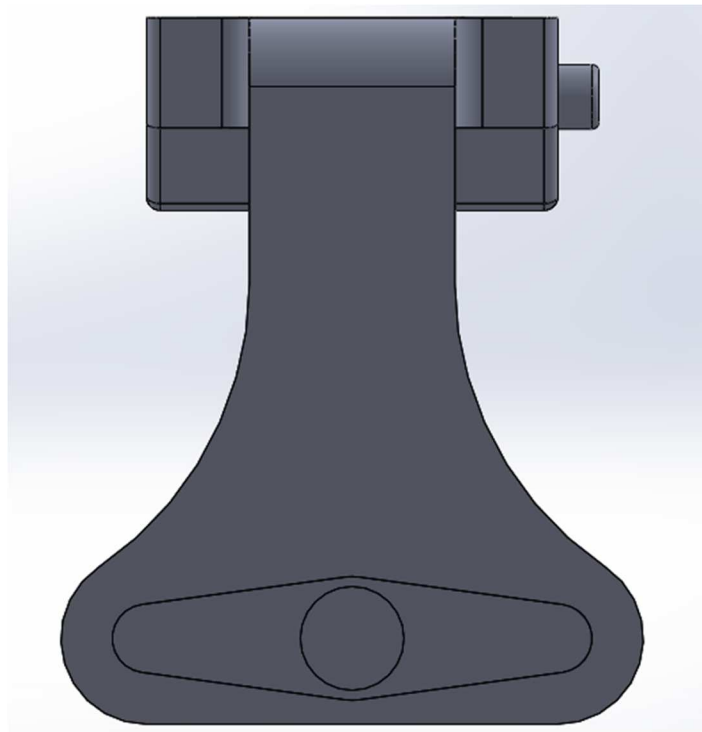


FIGURA No. 95: Mecanismo eje X vista frontal.

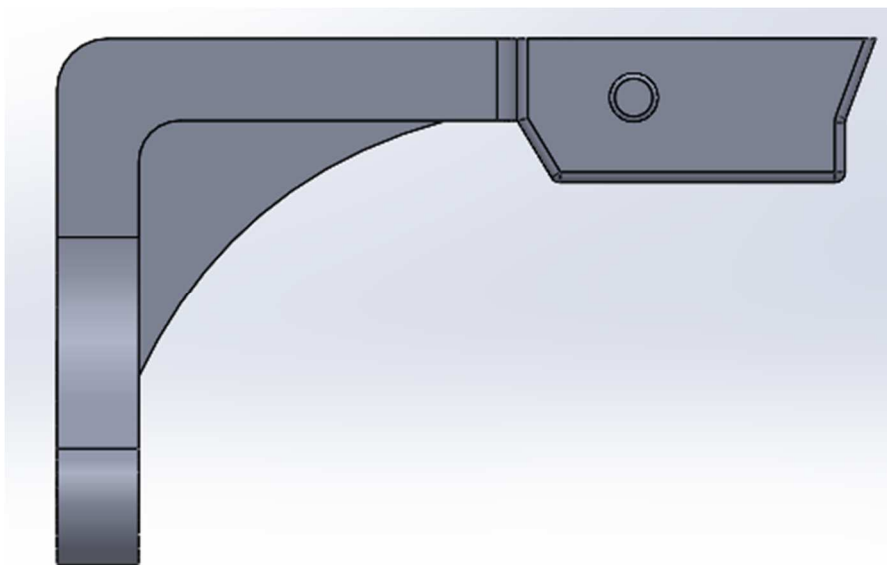


FIGURA No. 96: Mecanismo eje X vista lateral.

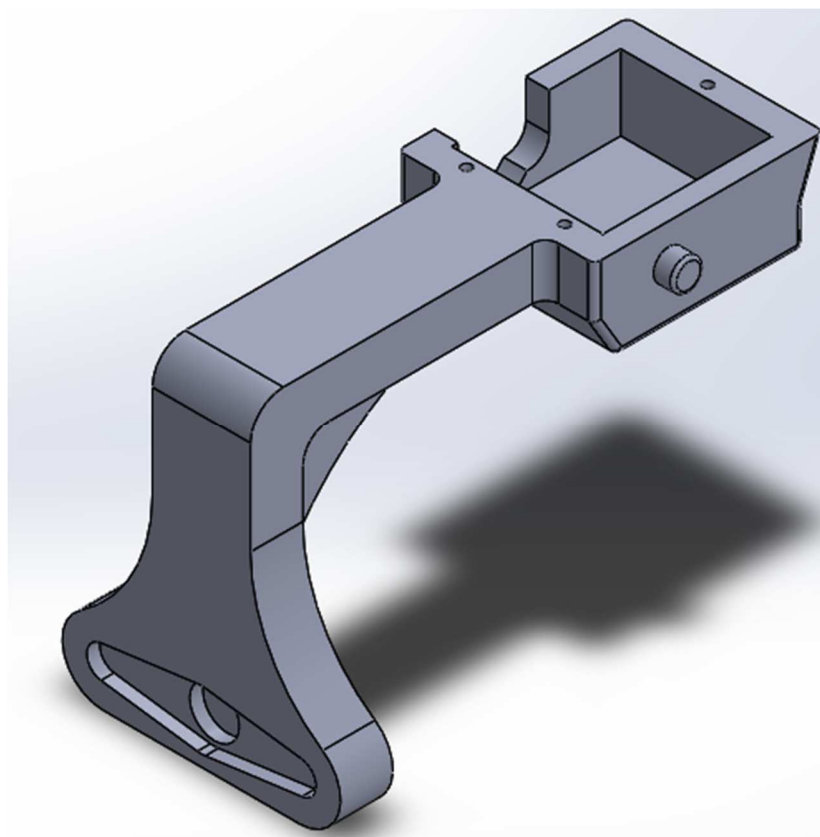


FIGURA No. 97: Mecanismo eje X vista isométrica.

Puesto que el peso y la robustez son dos de los parámetros que más debemos de tomar en cuenta para el diseño de todos los mecanismos, se realizó el mismo procedimiento que para el mecanismo de la base, es decir para aliviar peso se

realizó un vaciado y para dar mayor soporte al estabilizador se agregaron nervios tanto internamente como externamente, al igual que aumentar la tolerancia de esfuerzos.

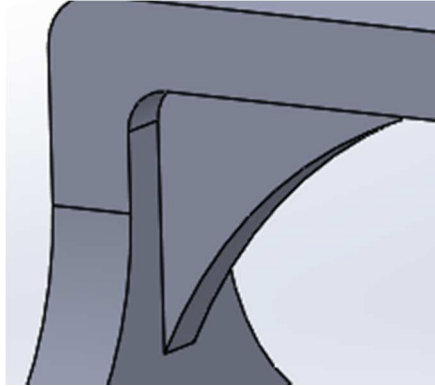


FIGURA No. 98: Nervios mecanismo eje X.

- **Análisis de Esfuerzos en el mecanismo del eje X**

Dentro del siguiente capítulo se procedió analizar los esfuerzos generados por la carga en el mecanismo del eje X, como base para la carga tomamos a la carga máxima que va a estar presente en el mecanismo, que en este caso es peso del servomotor.

La marca del servomotor que utilizamos es el HS-31, del cual podemos obtener los siguientes datos.



FIGURA No. 99: Servomotor UK- Warehouse.

Operating Voltage: 4.8-6.0V
Stall Torque: 1.5kgf.cm(21.0oz.in) at 4.8v
Operating Speed: 0.14sec/60deg at 4.8v
Weight: 8.0g(.28oz)
Size:25x8.7x21.6mm(.98x.34x.85in)*Horns and screws included.PRODUCT ID: VS-12M

FIGURA No. 100: Datasheet Servomotor UK- Warehouse.

Como se puede observar en la imagen 113, el peso del motor es de 8g lo cual se procedió a tomar como mi carga máxima para este mecanismo.

$$\text{Carga Maxima} = 8g$$

$$\text{Carga Maxima} = 0.008kg$$

Procedemos a transformar nuestra carga máxima a Nétwones, tomando como referencia a $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

$$\text{Carga (N)} = \text{Carga maxima} * \text{gravedad} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\text{Carga (N)} = 0.008 kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$\text{Carga (N)} = 0.0784 N$$

Ya con el dado de la carga máxima procedimos a fijar nuestro material que en este caso es PLA.

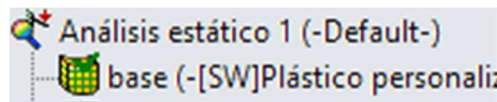


FIGURA No. 101: Material Aplicado a nuestro mecanismo.

Después de aplicar el material, se procedió a fijar nuestro mecanismo para lo cual utilizamos las aperturas de nuestro modelo.

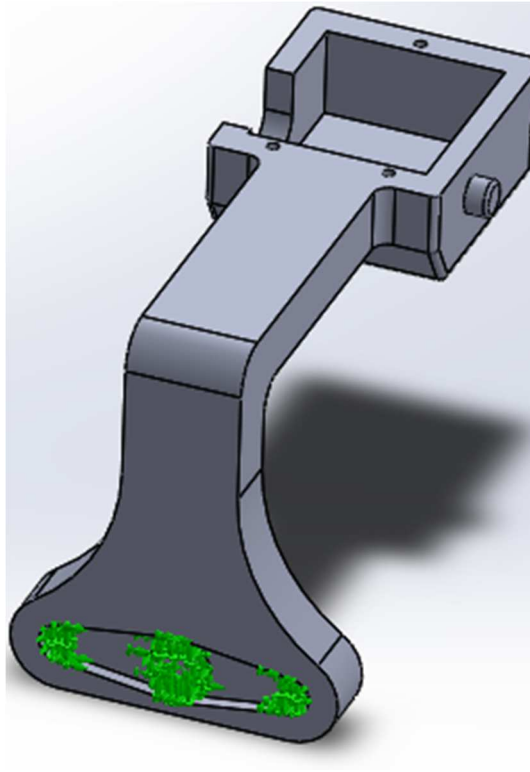


FIGURA No. 102: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.

Ya con las sujeciones fijas de nuestro modelo establecidas, se procedió aplicar la carga en nuestro modelo.

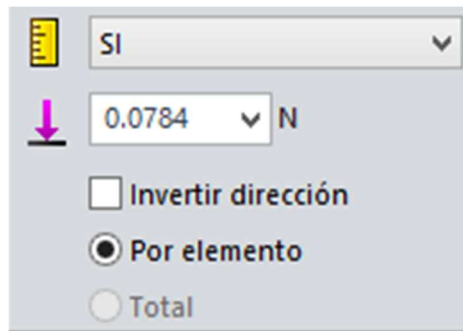


FIGURA No. 103: Configuración del valor de la carga.

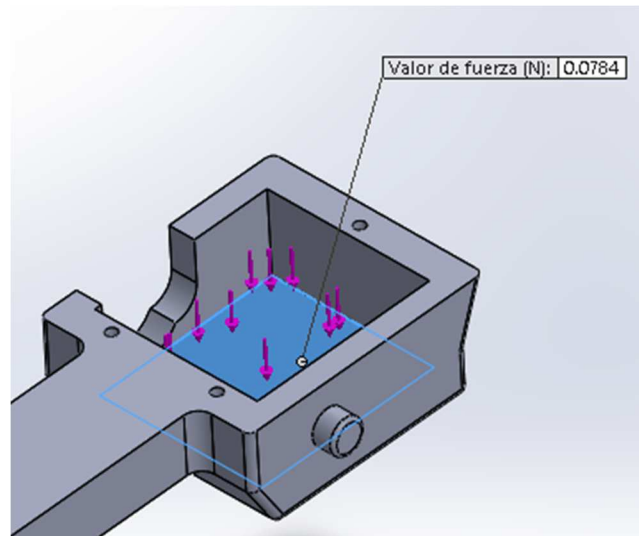


FIGURA No. 104: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo.

Después de aplicar las cargas se procedió a realizar el mallado en conjunto para el análisis de los esfuerzos en nuestro modelo.

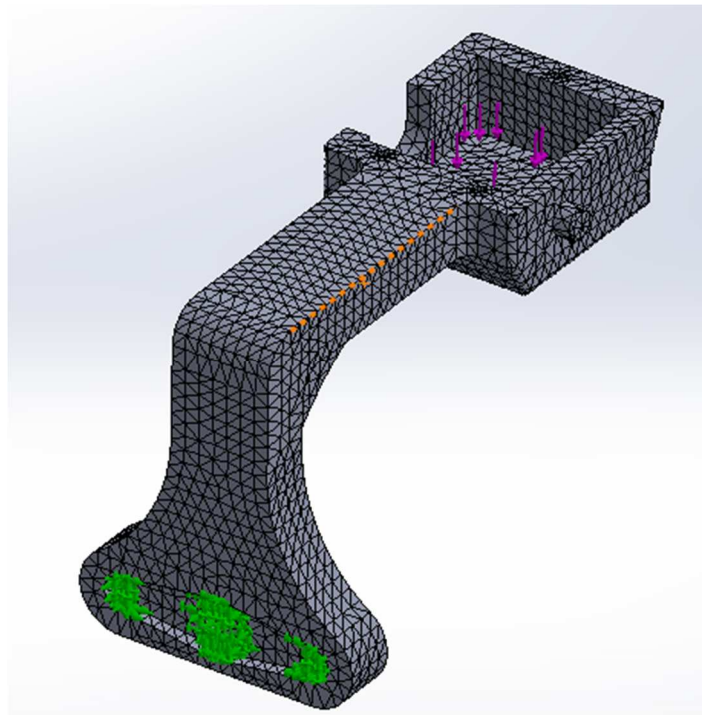


FIGURA No. 105: Mecanismo de la base mallado.

Después de tener configurados todos nuestros parámetros se procedió a realizar el estudio de los esfuerzos obteniendo los siguientes resultados.

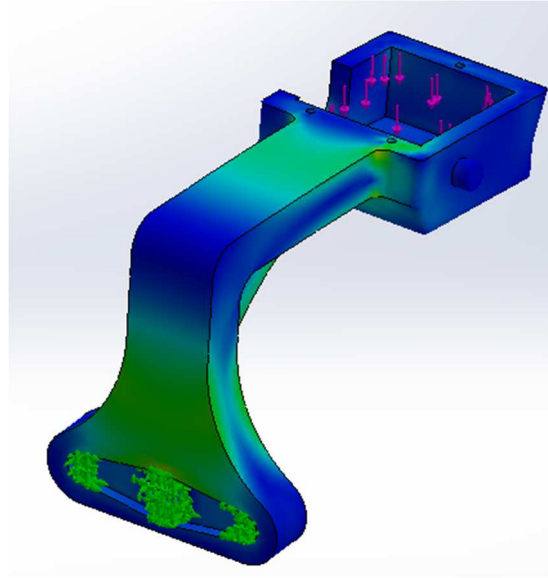


FIGURA No. 106: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.

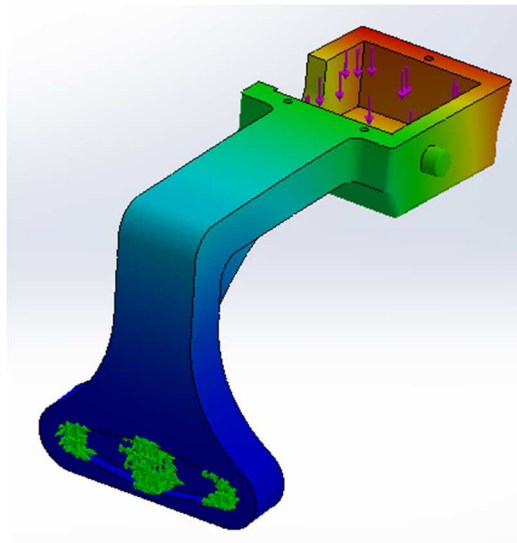


FIGURA No. 107: Desplazamientos generados por la carga en el mecanismo.

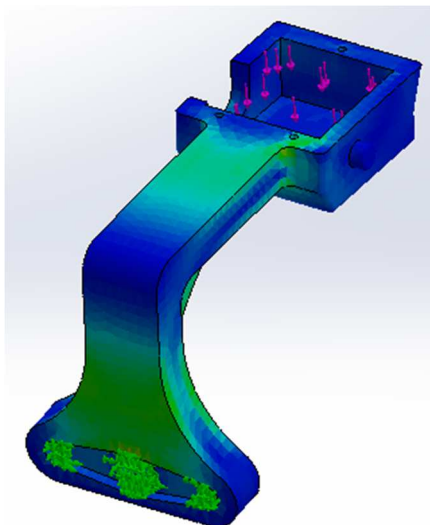


FIGURA No. 108: Deformaciones Unitarias generados por la carga en el mecanismo.

Para verificar que nuestro material soporta la carga seleccionada se procedió a calcular el factor de seguridad tomando como referencia el factor de 1.

Se lo realizo en dos partes la primera es el estudio del factor de seguridad en los puntos por debajo del valor de 1 y el otro es el estudio del factor de seguridad distribuidamente en el modelo.

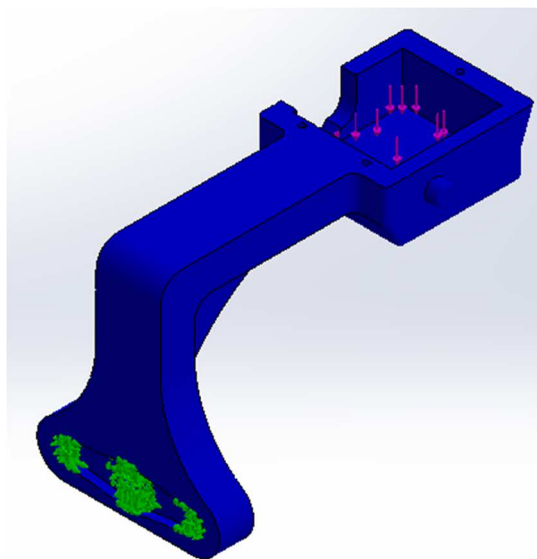


FIGURA No. 109: Factor Seguridad por debajo del límite (1).

Nombre del modelo:segundoeje
 Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Rojo < FOS = 1 < Azul

FIGURA No. 110: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en el resultado de la figura 123:

$$\text{Rojo} < \text{FOS} = 1 < \text{Azul}$$

Nos quiere decir que las áreas que se encuentran en peligro o por debajo del factor de seguridad son las pintadas de rojo, como se observa en la imagen 66 todo el mecanismo es de color azul por lo que podemos concluir que todos los puntos muestreados presentan un valor mayor a 1, lo que nos quiere decir que el mecanismo no fallara.

Para estar seguros de nuestro estudio procedimos a correr el estudio de Factor de Seguridad distribuido.

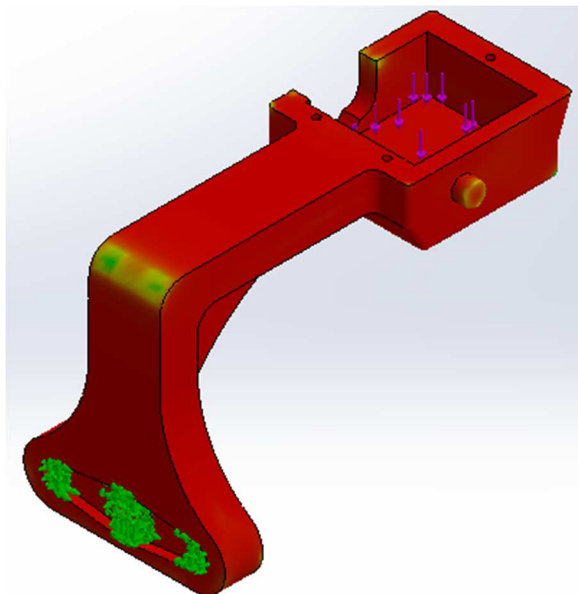


FIGURA No. 111: Resultado del análisis de FOS.

Nombre del modelo:segundoeje
Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1.7e+003

FIGURA No. 112: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en la figura 125, el factor de seguridad mínimo es de valor 1700 por lo tanto queda concluido que el mecanismo no fallara a la carga máxima lo que cualquier valor por debajo del mismo está permitido.

- **DISEÑO MECANISMO 2 PARA EL EJE Y**

A diferencia del anterior modelo de mecanismo en este quisimos evitarnos el hecho de generar otra pieza para poder acoplar el mecanismo del eje Y, la idea principal es alivianar el peso del mecanismo en general y un acople directo.

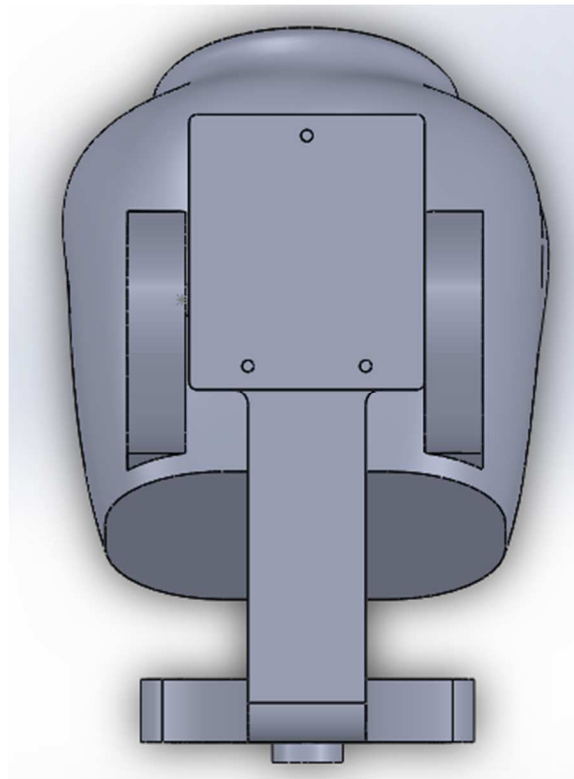


FIGURA No. 113: Mecanismo eje Y vista superior.

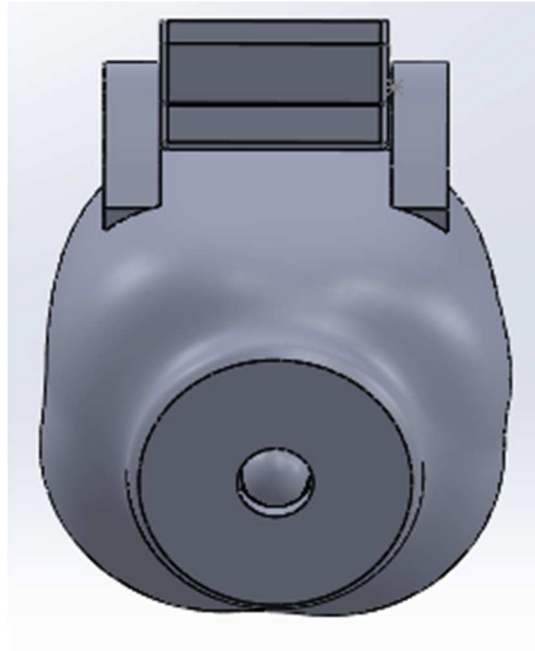


FIGURA No. 114: Mecanismo eje Y vista frontal.

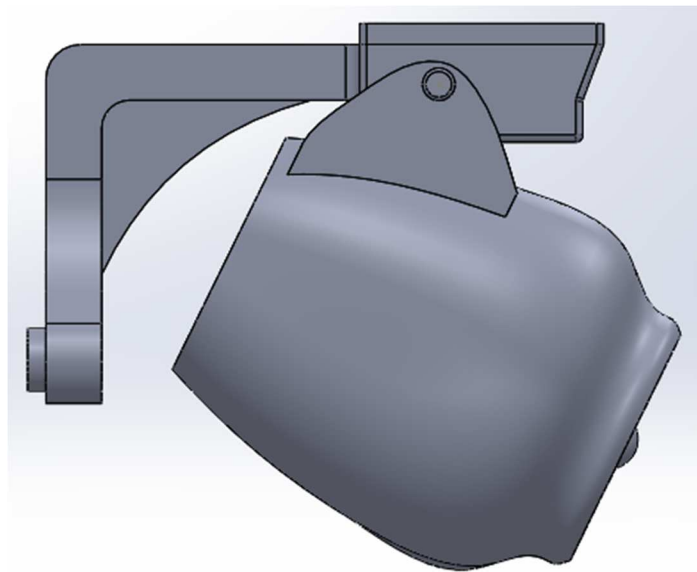


FIGURA No. 115: Mecanismo eje Y vista lateral.

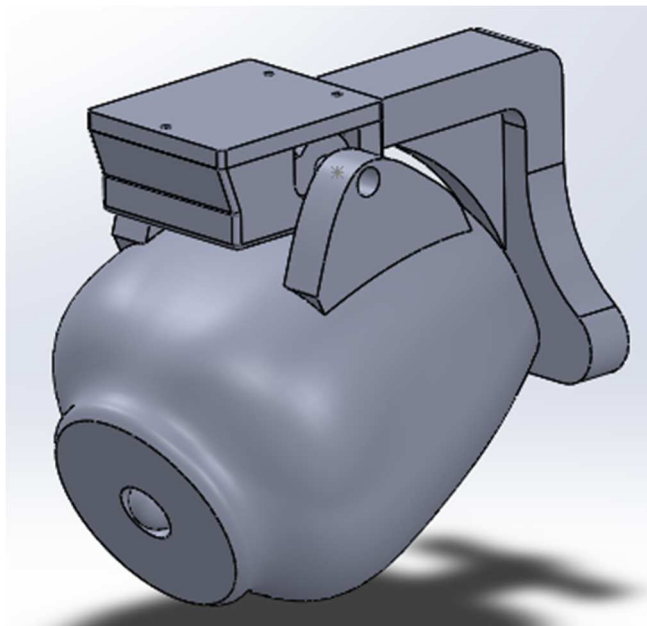


FIGURA No. 116: Mecanismo eje Y vista isométrica.

Puesto que en el segundo diseño del mecanismo se eliminó prácticamente un acople el peso bajo considerablemente, también se debe de considerar el hecho de que ahora el peso que está soportando la caja es el del nuevo servomotor cuyo peso es de 8g ya no 49 como en el caso del servo HS-311.

En el caso de los nervios se mantuvieron los nervios que realizamos en el diseño del eje X.

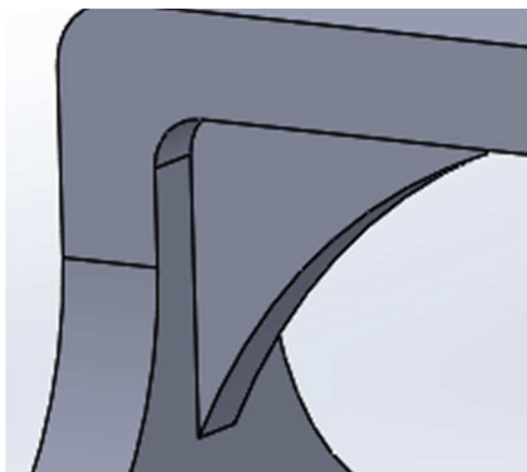


FIGURA No. 117: Nervios mecanismo eje X.

- **Análisis de Esfuerzos en el mecanismo 2 del eje Y**

Dentro del siguiente capítulo se procedió analizar los esfuerzos generados por la carga en el mecanismo del eje Y.

Como base para la carga tomamos a la carga máxima que va a estar presente en el mecanismo, que en este caso es el peso generado por la cámara.

La cámara es propia del Drone y para pesarla nos ayudamos de una balanza.



FIGURA No. 118: Servomotor HS-311.

Fuente: (Siegwart, 2011)

El peso de la cámara es de 300gr lo que tomaremos como referencia de nuestra carga máxima para el mecanismo del eje Y.

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 300g}$$

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 0.3kg}$$

Procedemos a transformar nuestra carga máxima a Nétwtones, tomando como referencia a $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

$$\mathbf{Carga\ (N) = Carga\ maxima * gravedad \quad (Ec. 5)}$$

$$\mathbf{Carga\ (N) = 0.3\ kg * 9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$\mathbf{Carga\ (N) = 2.94\ N}$$

Ya con el dato de la carga máxima procedimos a fijar nuestro material que en este caso es PLA.

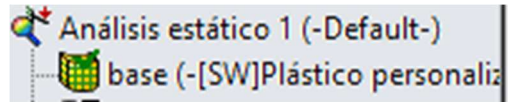


FIGURA No. 119: Material Aplicado a nuestro mecanismo

Después de aplicar el material, se procedió a fijar nuestro mecanismo para lo cual utilizamos las aperturas de nuestro modelo.

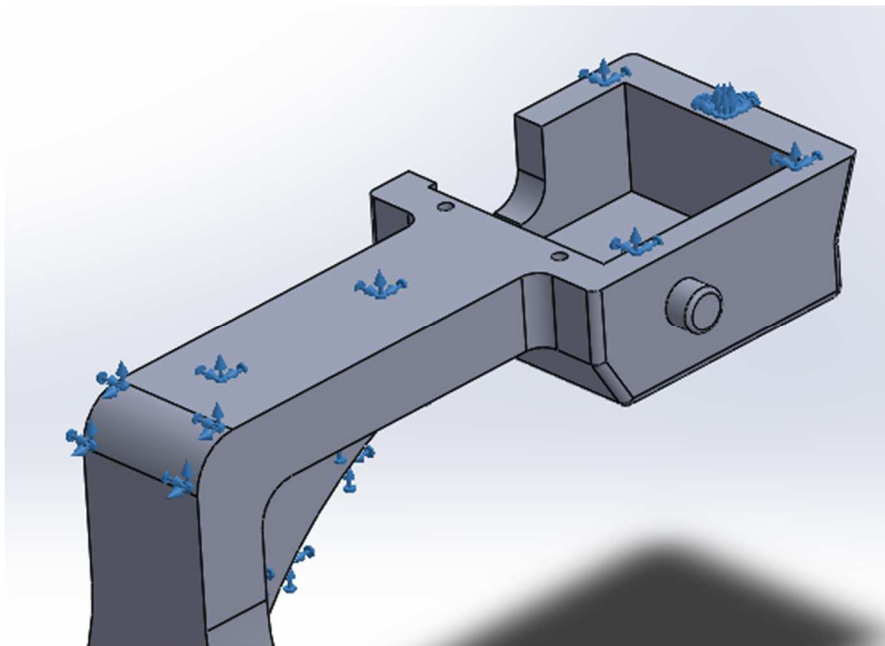


FIGURA No. 120: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo

Ya con las sujeciones fijas de nuestro modelo establecidas, se procedió aplicar la carga en nuestro modelo.

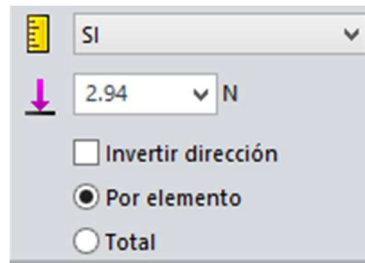


FIGURA No. 121: Configuración del valor de la carga.

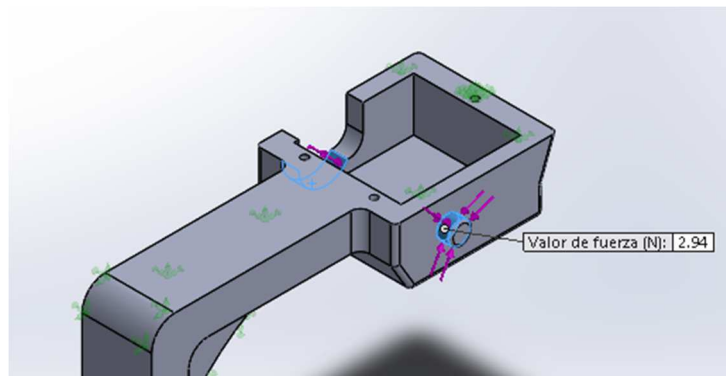


FIGURA No. 122: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo.

Después de aplicar las cargas se procedió a realizar el mallado en conjunto para el análisis de los esfuerzos en nuestro modelo.

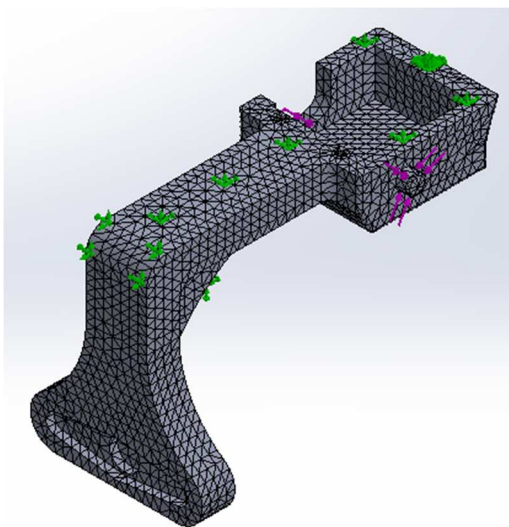


FIGURA No. 123: Mecanismo eje Y mallado.

Después de tener configurados todos nuestros parámetros se procedió a realizar el estudio de los esfuerzos obteniendo los siguientes resultados.

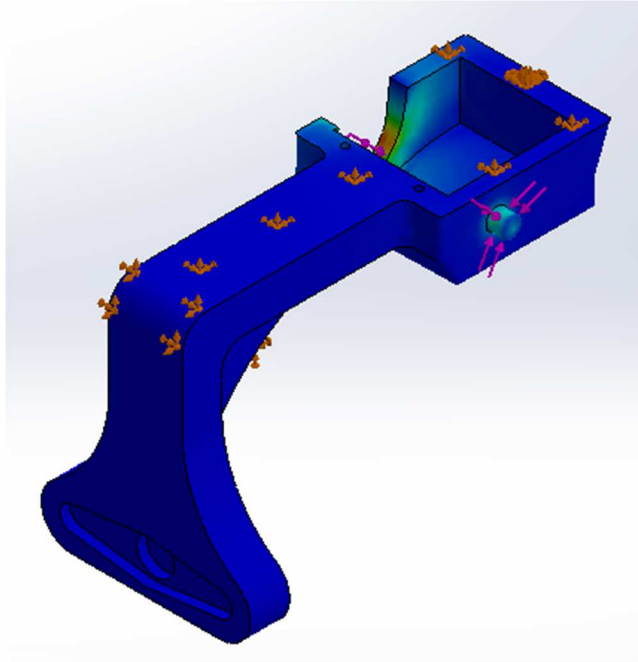


FIGURA No. 124: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.

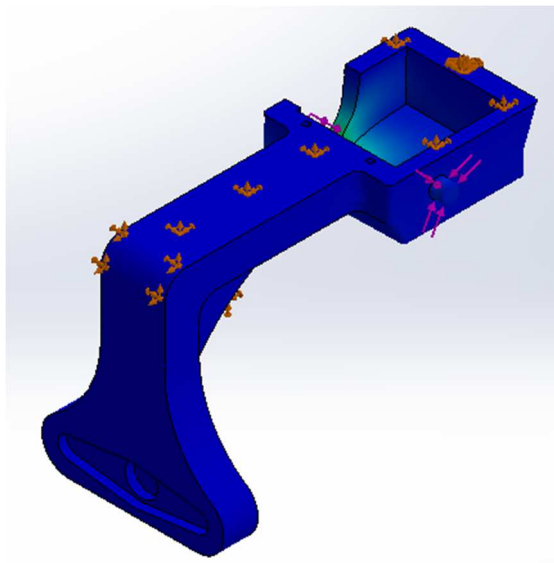


FIGURA No. 125: Desplazamientos generados por la carga en el mecanismo.

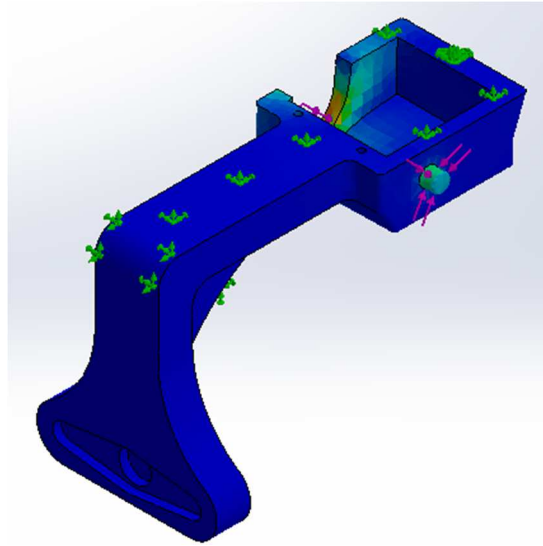


FIGURA No. 126: Deformaciones Unitarias generados por la carga en el mecanismo.

Para verificar que nuestro material soporta la carga seleccionada se procedió a calcular el factor de seguridad tomando como referencia el factor de 1.

Se lo realizo en dos partes la primera es el estudio del factor de seguridad en los puntos por debajo del valor de 1 y el otro es el estudio del factor de seguridad distribuidamente en el modelo.

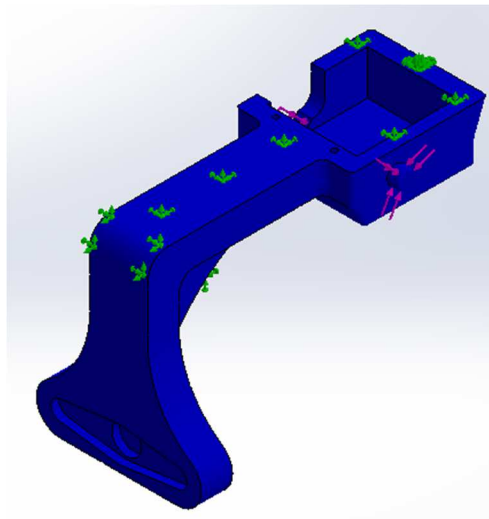


FIGURA No. 127: Factor Seguridad por debajo del límite (1).

Nombre del modelo:segundoeje
 Nombre de estudio:Análisis estático 2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Rojo < FOS = 1 < Azul

FIGURA No. 128: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en el resultado de la figura 141:

$$\text{Rojo} < \text{FOS} = 1 < \text{Azul}$$

Nos quiere decir que las áreas que se encuentran en peligro o por debajo del factor de seguridad son las pintadas de rojo, como se observa en la imagen 140 todo el mecanismo es de color azul por lo que podemos concluir que todos los puntos muestreados presentan un valor mayor a 1, lo que nos quiere decir que el mecanismo no fallara.

Para estar seguros de nuestro estudio procedimos a correr el estudio de Factor de Seguridad distribuido.

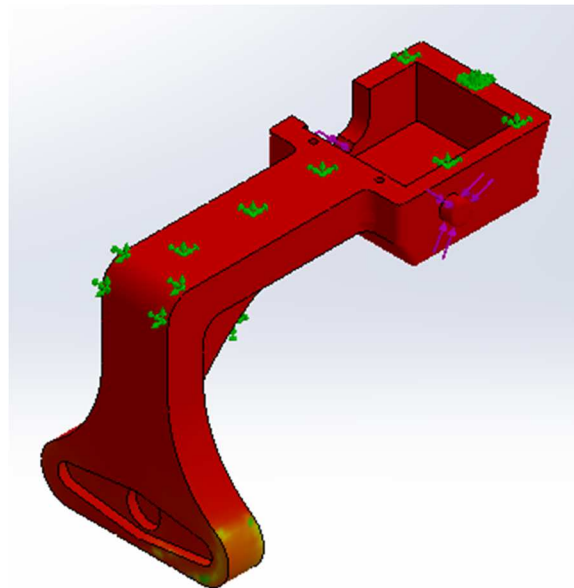


FIGURA No. 129: Resultado del análisis de FOS.




Nombre del modelo:segundo eje   
 Nombre de estudio:Análisis estático 2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2.9e+002

FIGURA No. 130: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en la figura 143, el factor de seguridad mínimo es de valor 290 por lo tanto queda concluido que el mecanismo no fallara a la carga máxima lo que cualquier valor por debajo del mismo está permitido.

- **DISEÑO MECANISMO 3 PARA BASE**

El principal parámetro que se tomó en cuenta para el diseño de dicho mecanismo es el peso que debe de tener el mismo, sin dejar a un lado la robustez y el modelo del mismo, el accionador estará con acople directo para evitar sistemas de transmisión y el peso generado por los mismos.

Tomando en cuenta todos estos parámetros para el diseño incluyendo los parámetros de vibración y en especial el parámetro de la base de la cámara, el diseño para el mecanismo en la base quedo de la siguiente manera.

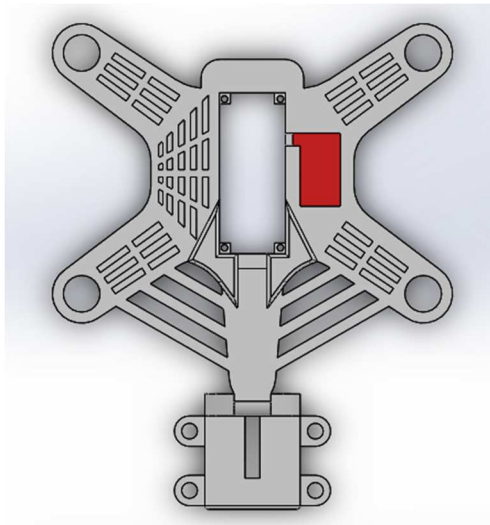


FIGURA No. 131: Mecanismo Base vista superior.

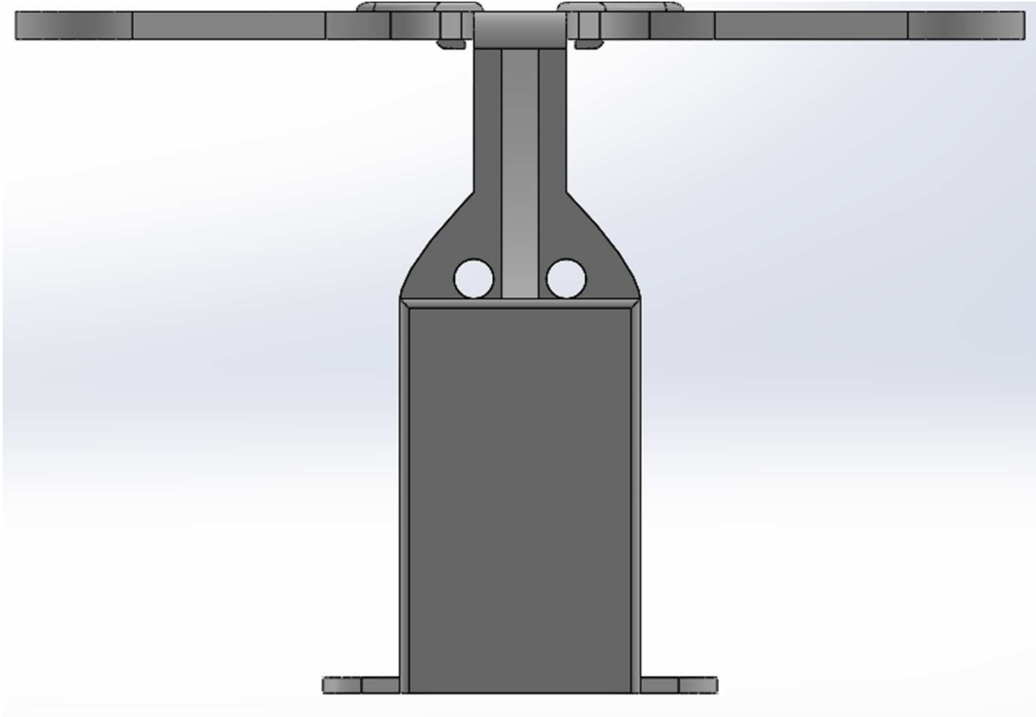


FIGURA No. 132: Mecanismo Base vista frontal.

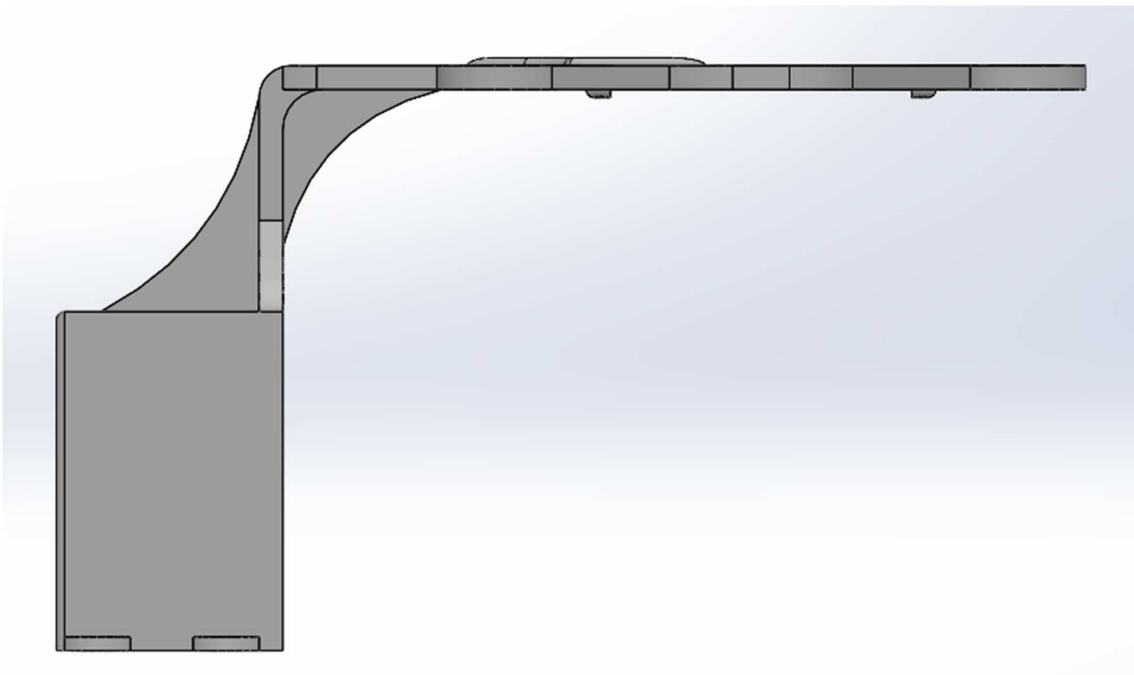


FIGURA No. 133: Mecanismo Base vista lateral.

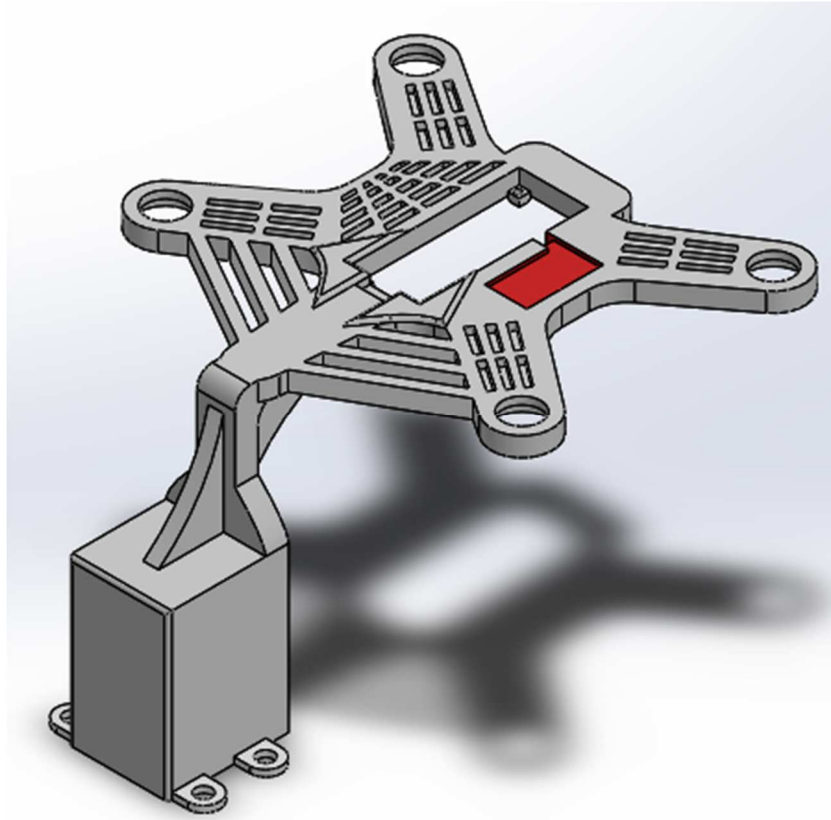


FIGURA No. 134: Mecanismo Base vista isométrica.

Como se puede observar en las anteriores imágenes dentro del diseño del mecanismo de la Base para ayudar a liberar peso se procedió a realizar ciertos vaciados sin afectar la robustez de nuestro mecanismo.

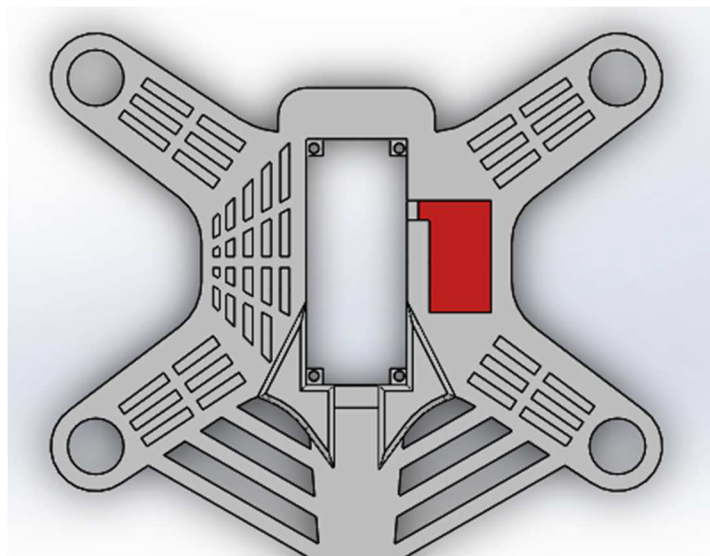


FIGURA No. 135: Vaciados realizados en la Base

Para reforzar la robustez y aliviar esfuerzos dentro de la estructura se procedió a diseñar los siguientes nervios los cuales serán los encargados de absorber la mayoría de esfuerzos que se pueden generar por el peso de la carga en el estabilizador.

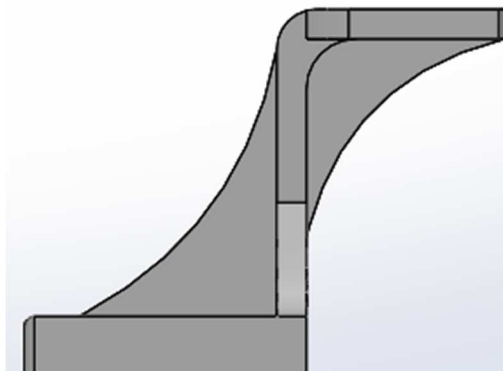


FIGURA No. 136: Nervios realizados en la Base.

Los nervios van desde la parte superior de la carcasa del servomotor al molde de acople en la base de la cámara tanto internamente como externamente, como se puede ver claramente en la figura 35.

- **Análisis de Esfuerzos en el mecanismo de la Base**

Dentro del siguiente capítulo se procedió analizar los esfuerzos generados por la carga en el mecanismo de la Base.

Como base para la carga tomamos a la carga máxima que puede levantar el dron la cual se puede verificar en el manual del mismo.

Aeronave	
Temperatura de trabajo	-10°C to 50°C
Consumo de potencia	5.6W
Batería	Batería inteligente DJI
Peso (Sin batería)	1000g
Peso de despegue	≤1300g
Precisión de vuelo estático (listo para volar)	Vertical: 0.8m; Horizontal: 2.5m
Máx. velocidad de rotación	200°/s
Máx. Ángulo de inclinación	35°
Máx. Velocidad Ascenso/Descenso	6m/s
Máx. Velocidad de vuelo	15m/s (No Recomendado)
Máx. Dimension horizontal	350mm

FIGURA No. 137: Parámetros Drone.

$$Carga\ Maxima = 1300g$$

$$Carga\ Maxia = 1.3kg$$

Procedemos a transformar nuestra carga máxima a Nétwones, tomando como referencia a $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

$$Carga\ (N) = Carga\ maxima * gravedad\ (Ec.6)$$

$$Carga\ (N) = 1.3\ kg * 9.8\ \frac{m}{s^2}$$

$$Carga\ (N) = 12.74\ N$$

Ya con el dado de la carga máxima procedimos a fijar nuestro material que en este caso es PLA.

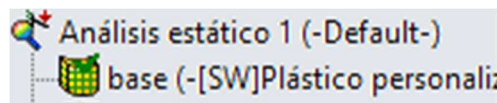


FIGURA No. 138: Material Aplicado a nuestro mecanismo.

Después de aplicar el material, se procedió a fijar nuestro mecanismo para lo cual utilizamos las aperturas de nuestro modelo.

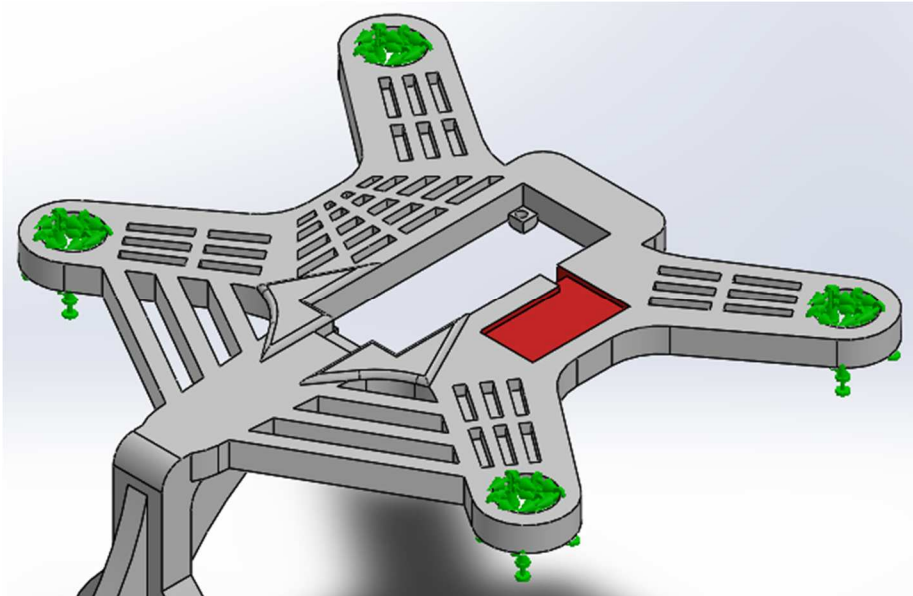


FIGURA No. 139: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.

Ya con las sujeciones fijas de nuestro modelo establecidas, se procedió aplicar la carga en nuestro modelo.

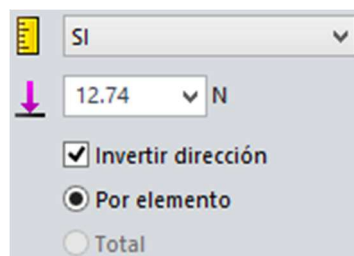


FIGURA No. 140: Configuración del valor de la carga.

Fuente: (Autores, 2015)

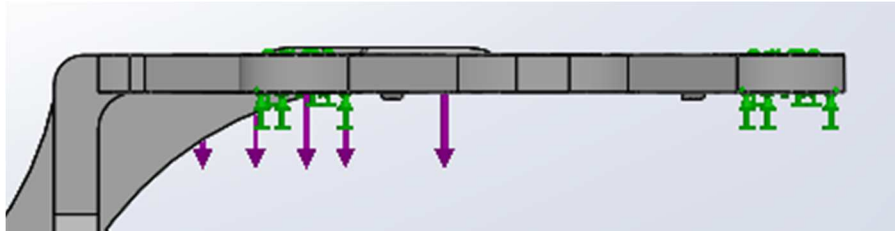


FIGURA No. 141: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo.

Después de aplicar las cargas se procedió a realizar el mallado en conjunto para el análisis de los esfuerzos en nuestro modelo.

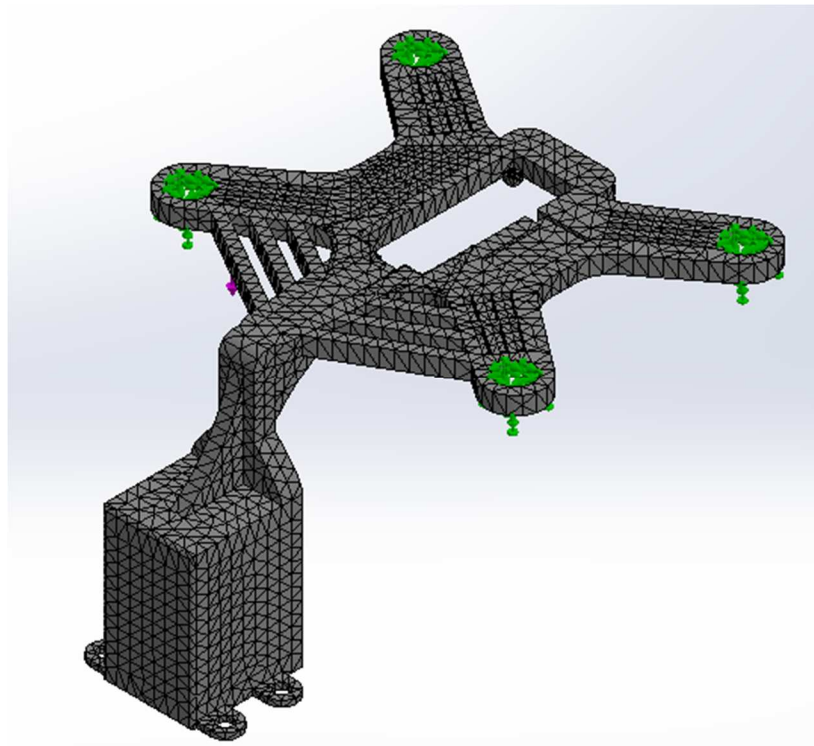


FIGURA No. 142: Mecanismo de la base mallado.

Después de tener configurados todos nuestros parámetros se procedió a realizar el estudio de los esfuerzos obteniendo los siguientes resultados.

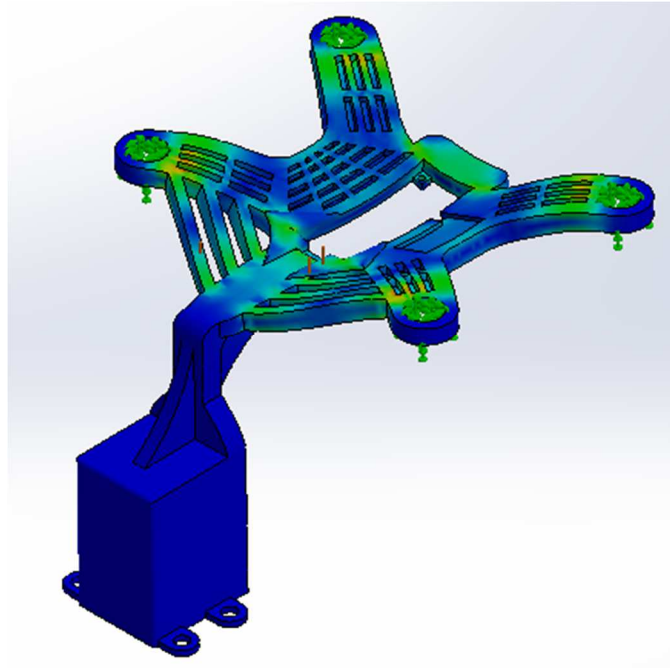


FIGURA No. 143: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.

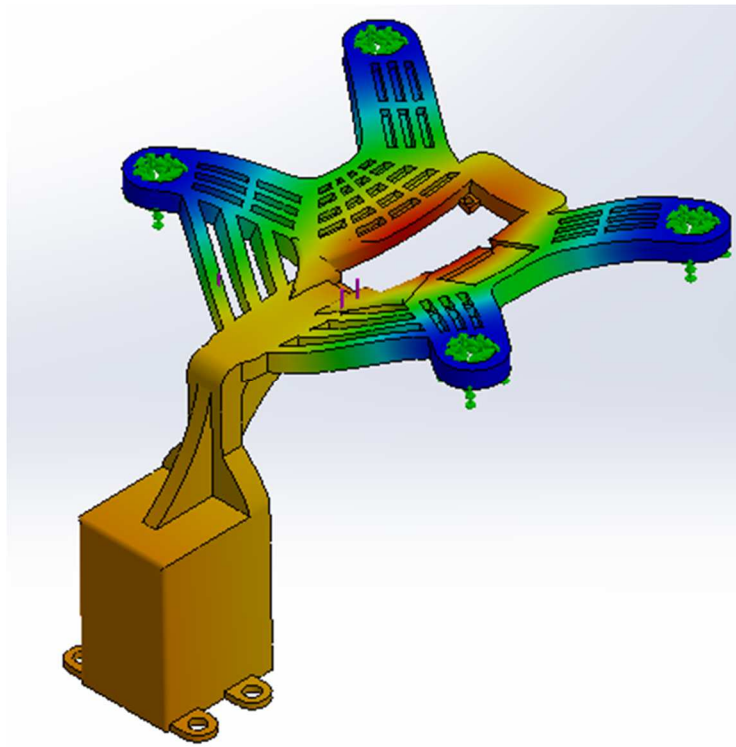


FIGURA No. 144: Desplazamientos generados por la carga en el mecanismo.

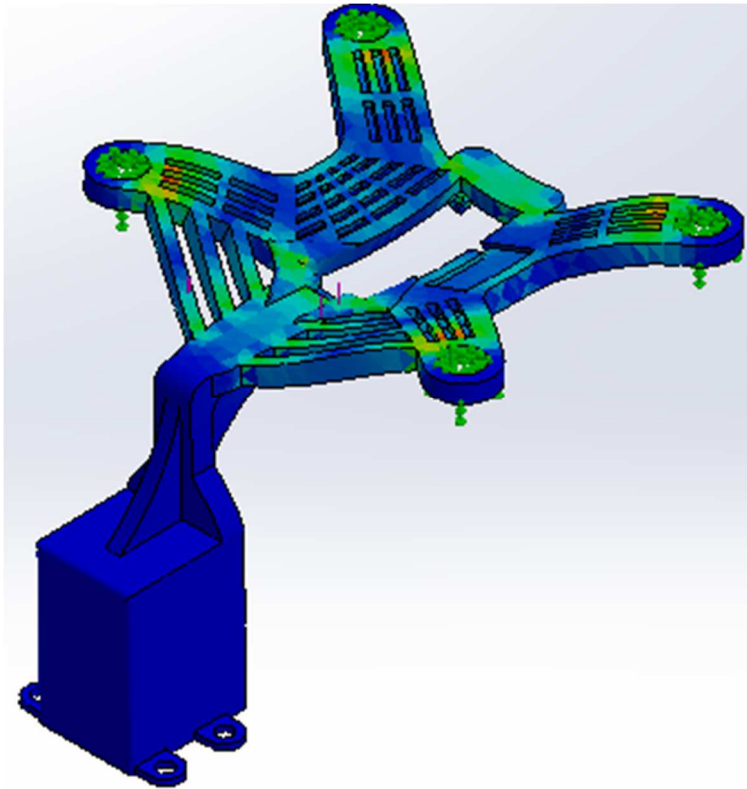


FIGURA No.145: Deformaciones Unitarias generados por la carga en el mecanismo.

Para verificar que nuestro material soporta la carga seleccionada se procedió a calcular el factor de seguridad tomando como referencia el factor de 1.

Se lo realizo en dos partes la primera es el estudio del factor de seguridad en los puntos por debajo del valor de 1 y el otro es el estudio del factor de seguridad distribuidamente en el modelo.

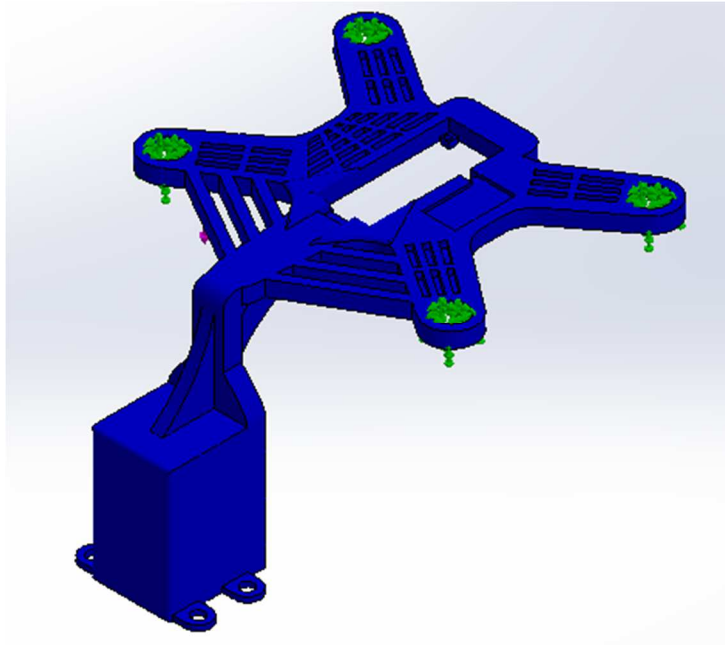


FIGURA No. 146: Factor Seguridad por debajo del límite (1).

Nombre del modelo: base
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Default-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Rojo < FOS = 1 < Azul

FIGURA No. 147: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en el resultado de la figura 160:

$$\text{Rojo} < FOS = 1 < \text{Azul}$$

Nos quiere decir que las áreas que se encuentran en peligro o por debajo del factor de seguridad son las pintadas de rojo, como se observa en la imagen 159 todo el mecanismo es de color azul por lo que podemos concluir que todos los puntos muestreados presentan un valor mayor a 1, lo que nos quiere decir que el mecanismo no fallara.

Para estar seguros de nuestro estudio procedimos a correr el estudio de Factor de Seguridad distribuido.

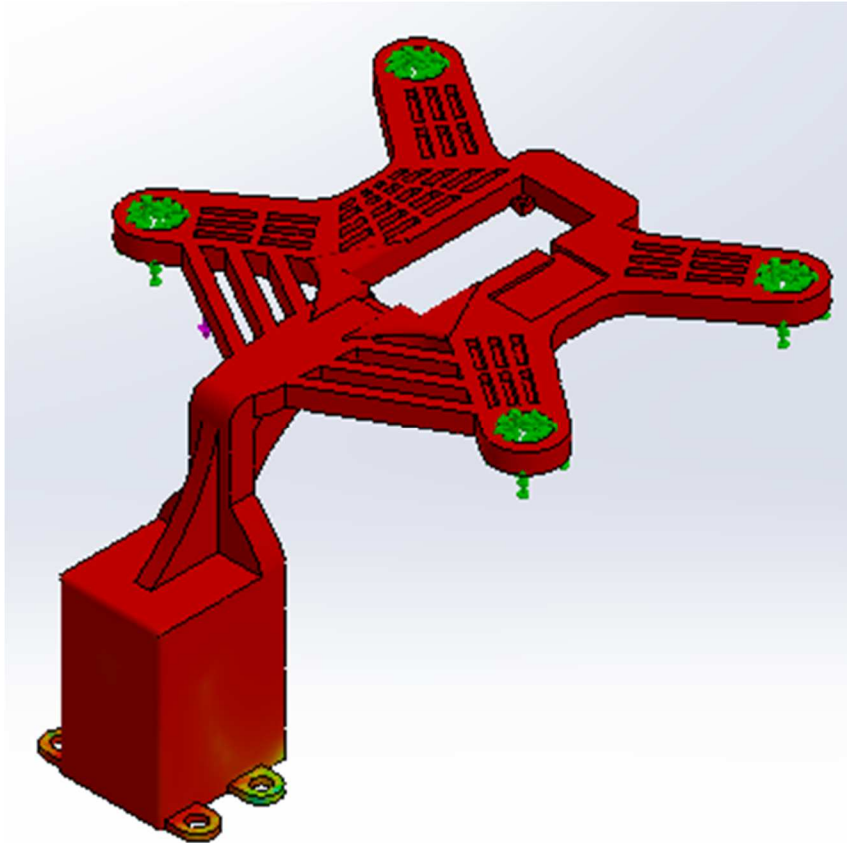


FIGURA No. 148: Resultado del análisis de FOS.




Nombre del modelo: base   
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Default-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 68

FIGURA No. 149: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en la figura 48, el factor de seguridad mínimo es de valor 68 por lo tanto queda concluido que el mecanismo no fallara a la carga máxima lo que cualquier valor por debajo del mismo está permitido.

- **DISEÑO MECANISMO 3 PARA EL EJE Y**

A diferencia del anterior modelo de mecanismo en este quisimos evitarnos el hecho de generar otra pieza para poder acoplar el mecanismo del eje Y, la idea principal es alivianar el peso del mecanismo en general y un acople directo.

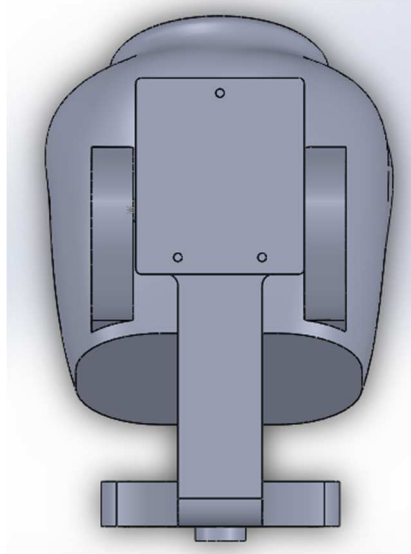


FIGURA No. 150: Mecanismo eje Y vista superior.

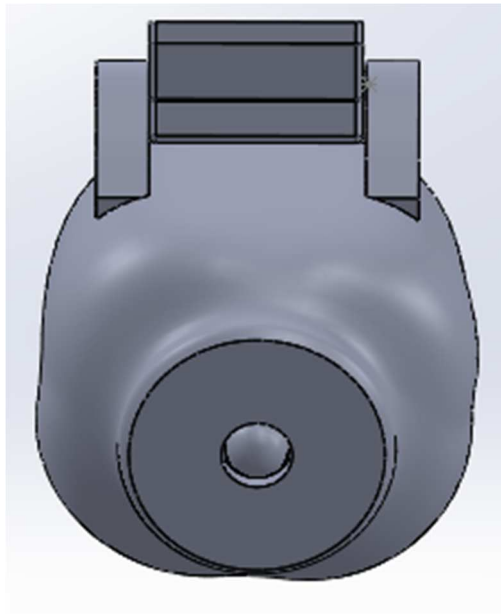


FIGURA No. 151: Mecanismo eje Y vista frontal.

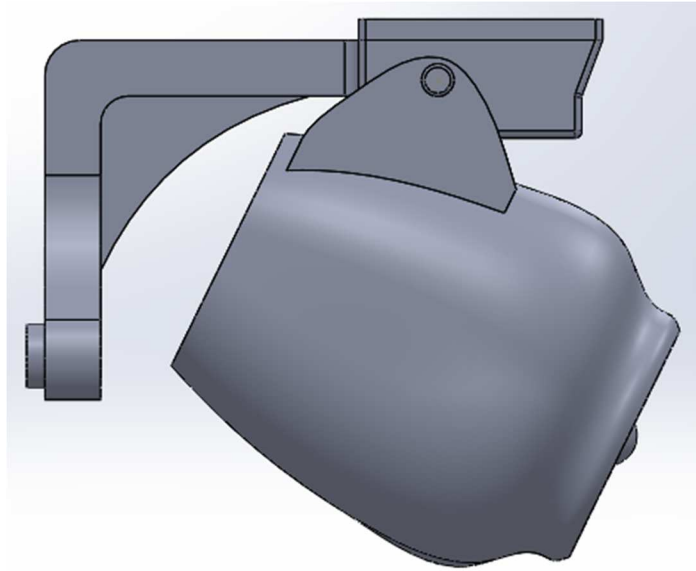


FIGURA No. 152: Mecanismo eje Y vista lateral.

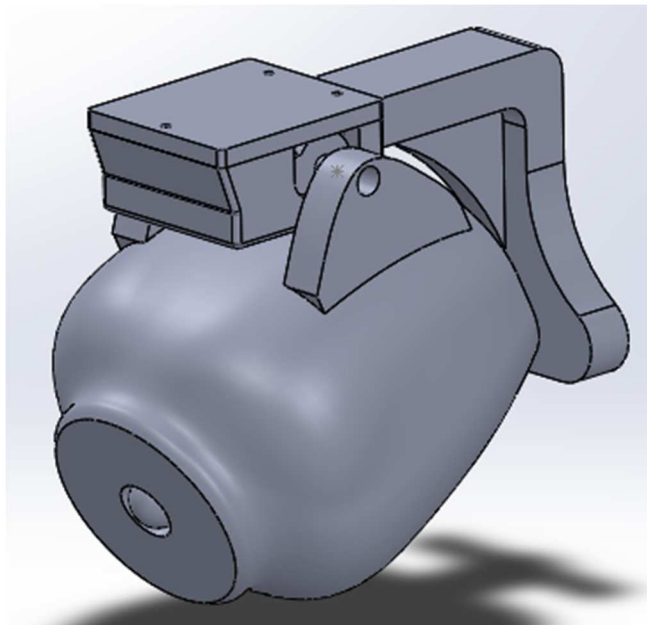


FIGURA No. 153: Mecanismo eje Y vista isométrica.

Puesto que en el segundo diseño del mecanismo se eliminó prácticamente un acople el peso bajo considerablemente, también se debe de considerar el hecho

de que ahora el peso que está soportando la caja es el del nuevo servomotor cuyo peso es de 8g ya no 49 como en el caso del servo HS-311.

En el caso de los nervios se mantuvieron los nervios que realizamos en el diseño del eje X.

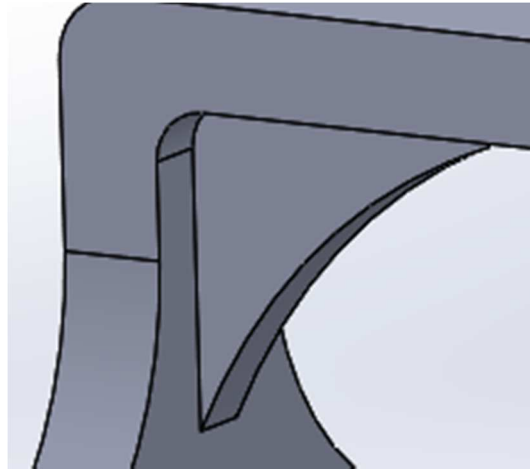


FIGURA No. 154: Nervios mecanismo eje X.

- **Análisis de Esfuerzos en el mecanismo 3 del eje Y**

Dentro del siguiente capítulo se procedió analizar los esfuerzos generados por la carga en el mecanismo del eje Y.

Como base para la carga tomamos a la carga máxima que va a estar presente en el mecanismo, que en este caso es el peso generado por la cámara.

La cámara es propia del Drone y para pesarla nos ayudamos de una balanza.



FIGURA No. 155: Servomotor HS-311.

Fuente: (Siegwart, 2011)

El peso de la cámara es de 300gr lo que tomaremos como referencia de nuestra carga máxima para el mecanismo del eje Y.

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 300g}$$

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 0.3kg}$$

Procedemos a transformar nuestra carga máxima a Nétwones, tomando como referencia a $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

$$\mathbf{Carga\ (N) = Carga\ maxima * gravedad\ (Ec. 7)}$$

$$\mathbf{Carga\ (N) = 0.3\ kg * 9.8\ \frac{m}{s^2}}$$

$$\mathbf{Carga\ (N) = 2.94\ N}$$

Ya con el dato de la carga máxima procedimos a fijar nuestro material que en este caso es PLA.

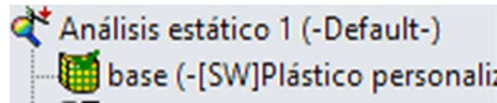


FIGURA No. 156: Material Aplicado a nuestro mecanismo.

Después de aplicar el material, se procedió a fijar nuestro mecanismo para lo cual utilizamos las aperturas de nuestro modelo.

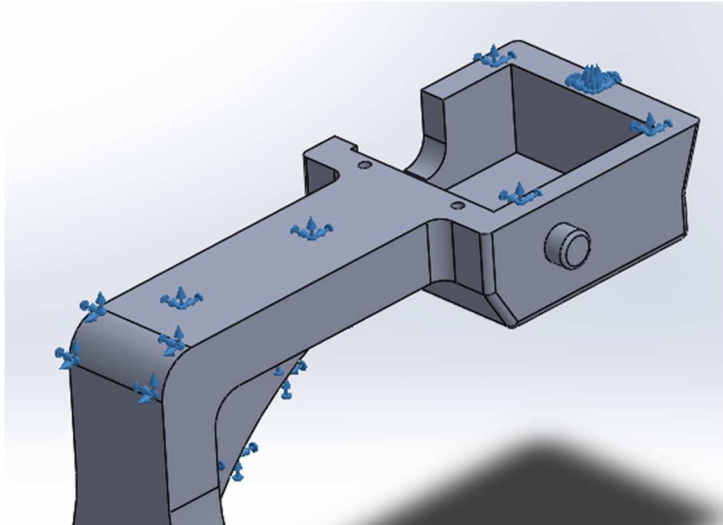


FIGURA No. 157: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.

Ya con las sujeciones fijas de nuestro modelo establecidas, se procedió aplicar la carga en nuestro modelo.

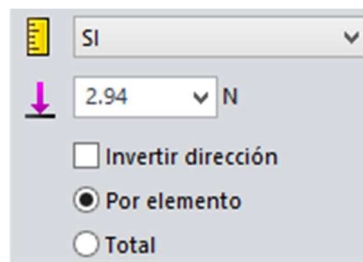


FIGURA No. 158: Configuración del valor de la carga.

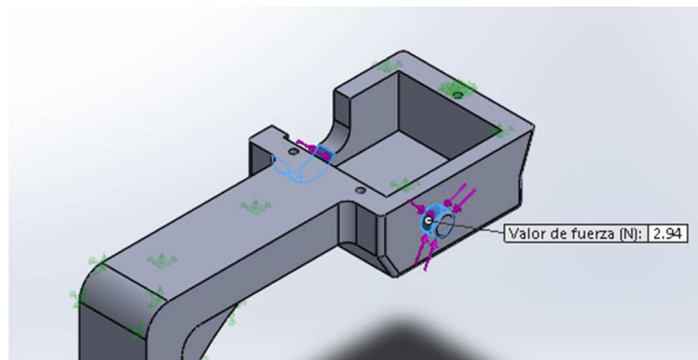


FIGURA No. 159: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo.

Después de aplicar las cargas se procedió a realizar el mallado en conjunto para el análisis de los esfuerzos en nuestro modelo.

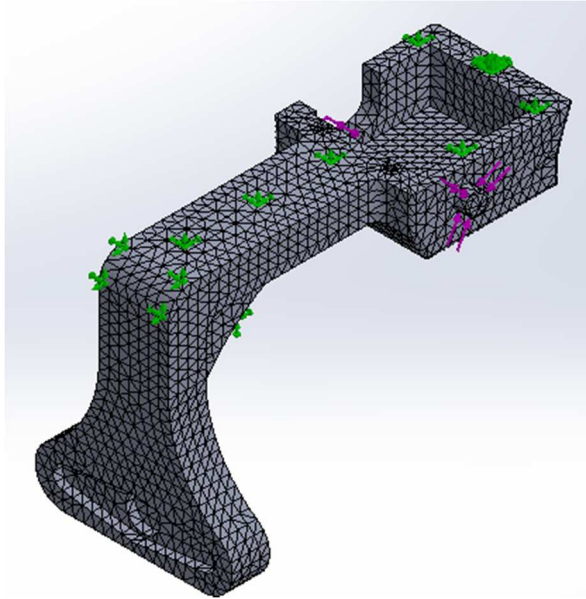


FIGURA No. 160: Mecanismo eje Y mallado.

Después de tener configurados todos nuestros parámetros se procedió a realizar el estudio de los esfuerzos obteniendo los siguientes resultados.

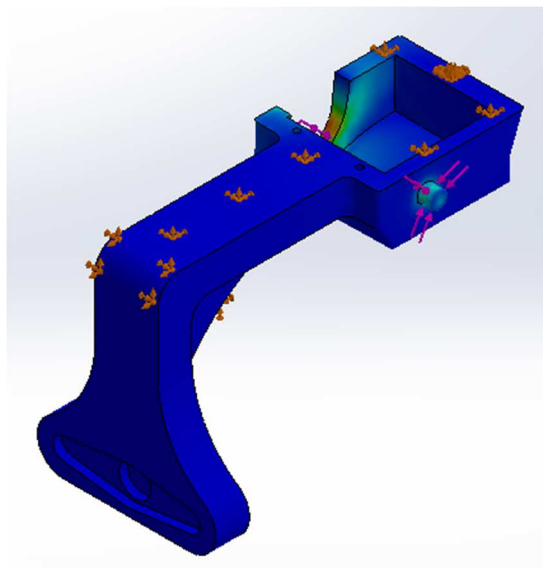


FIGURA No. 161: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.

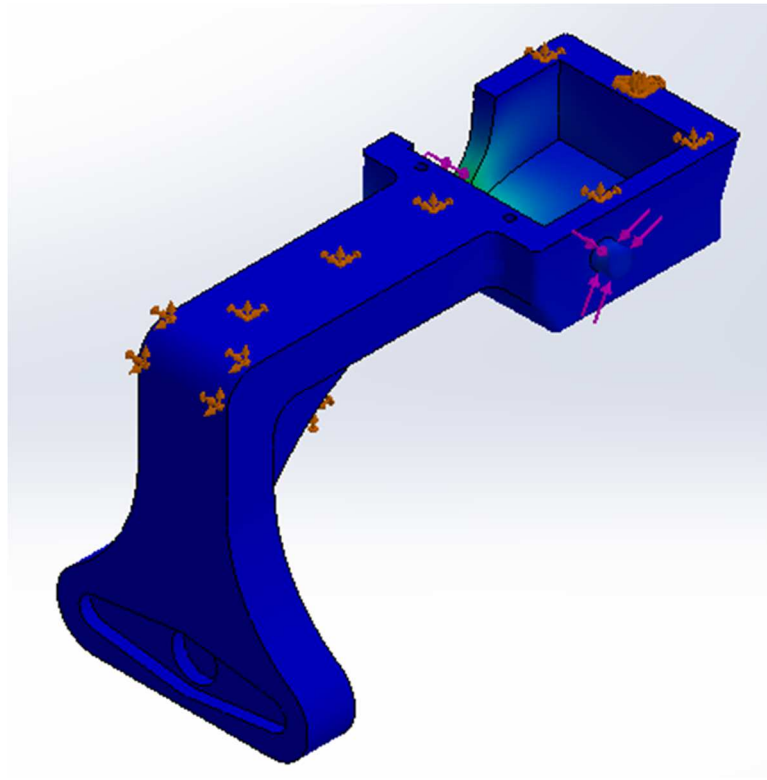


FIGURA No. 162: Desplazamientos generados por la carga en el mecanismo.

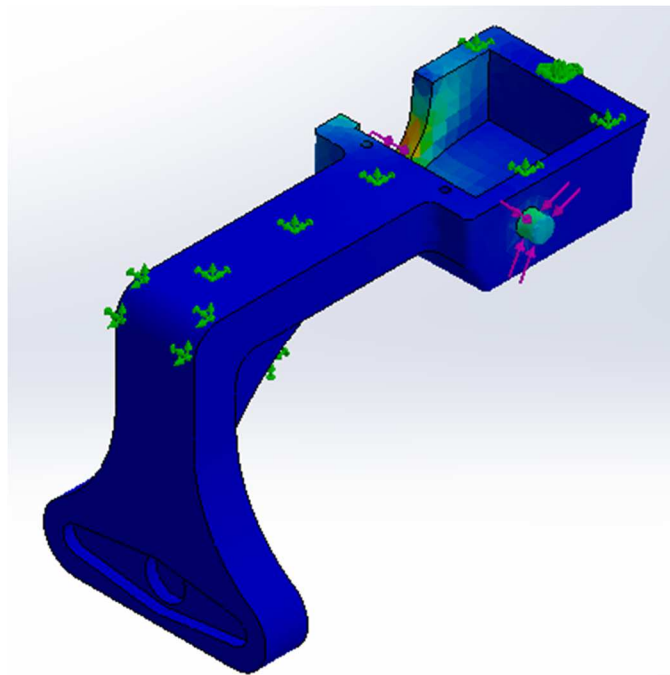


FIGURA No. 163: Deformaciones Unitarias generados por la carga en el mecanismo.

Para verificar que nuestro material soporta la carga seleccionada se procedió a calcular el factor de seguridad tomando como referencia el factor de 1.

Se lo realizo en dos partes la primera es el estudio del factor de seguridad en los puntos por debajo del valor de 1 y el otro es el estudio del factor de seguridad distribuidamente en el modelo.

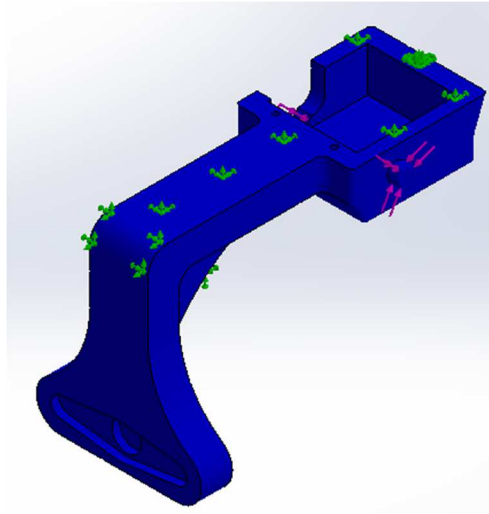


FIGURA No. 164: Factor Seguridad por debajo del límite (1).

Nombre del modelo:segundoeje
 Nombre de estudio:Análisis estático 2[-Predeterminado-]
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Rojo < FOS = 1 < Azul

FIGURA No. 165: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en el resultado de la figura 141:

$$\text{Rojo} < FOS = 1 < \text{Azul}$$

Nos quiere decir que las áreas que se encuentran en peligro o por debajo del factor de seguridad son las pintadas de rojo, como se observa en la imagen 140 todo el mecanismo es de color azul por lo que podemos concluir que todos los

puntos muestreados presentan un valor mayor a 1, lo que nos quiere decir que el mecanismo no fallara.

Para estar seguros de nuestro estudio procedimos a correr el estudio de Factor de Seguridad distribuido.

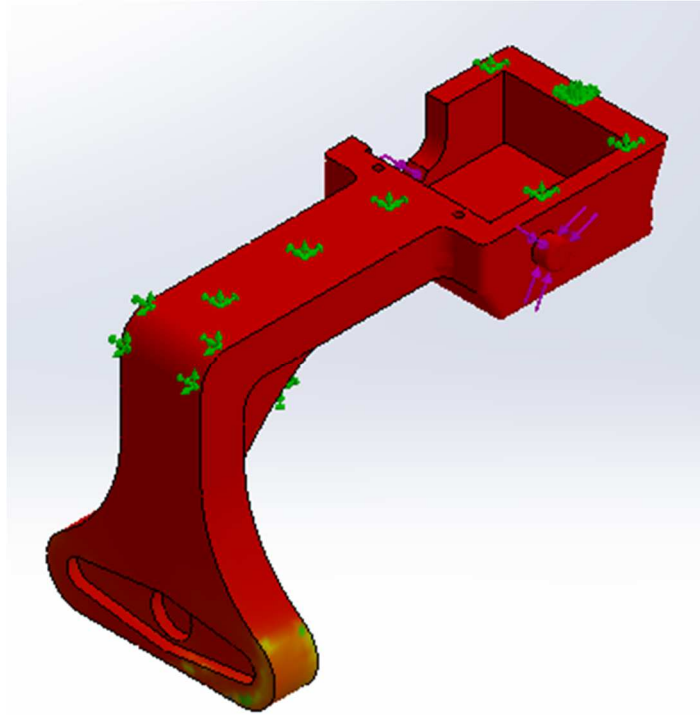


FIGURA No. 166: Resultado del análisis de FOS.

Nombre del modelo:segundoeje
 Nombre de estudio:Análisis estático 2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2.9e+002

FIGURA No. 167: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en la figura 180, el factor de seguridad mínimo es de valor 290 por lo tanto queda concluido que el mecanismo no fallara a la carga máxima lo que cualquier valor por debajo del mismo está permitido.

- **DISEÑO MECANISMO 3 PARA LA SUJESIÓN DE SENSOR Y BATERIA**

Al observar que en los anteriores modelos se obtuvieron problemas con la vibración presentada por los amortiguadores, se tomó la decisión de hacer un modelo solido el cual va a tener alojado en su interior al sensor y a la batería la cual va a ser la encargada de alimentar al controlador y a los servomotores.

Como principal parámetro de diseño tomamos en cuenta el diseño de nuestro drone por lo que el mecanismo realizado para la sujeción de los elementos antes mencionados se va encontrar alojado en la parte posterior del mismo, cabe resaltar que se sigue manteniendo los dos principales parámetros establecidos al principio de nuestro proyecto que son el tamaño y el peso de los elementos.

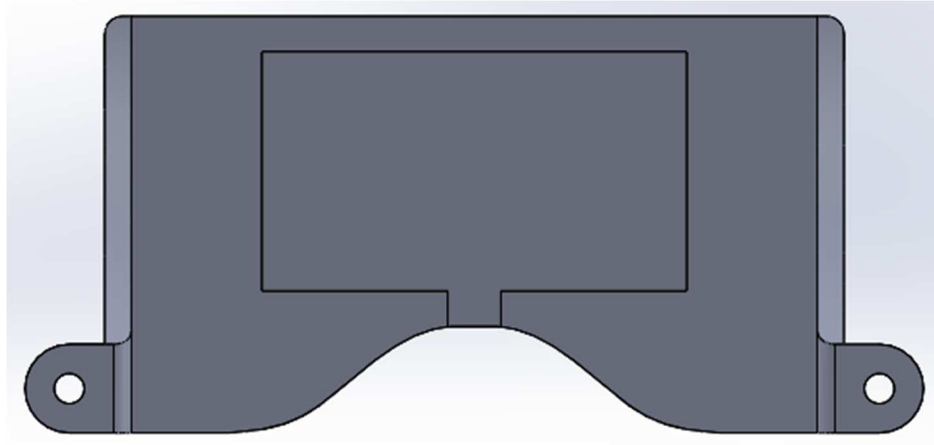


FIGURA No. 168: Mecanismo suspensión vista superior.

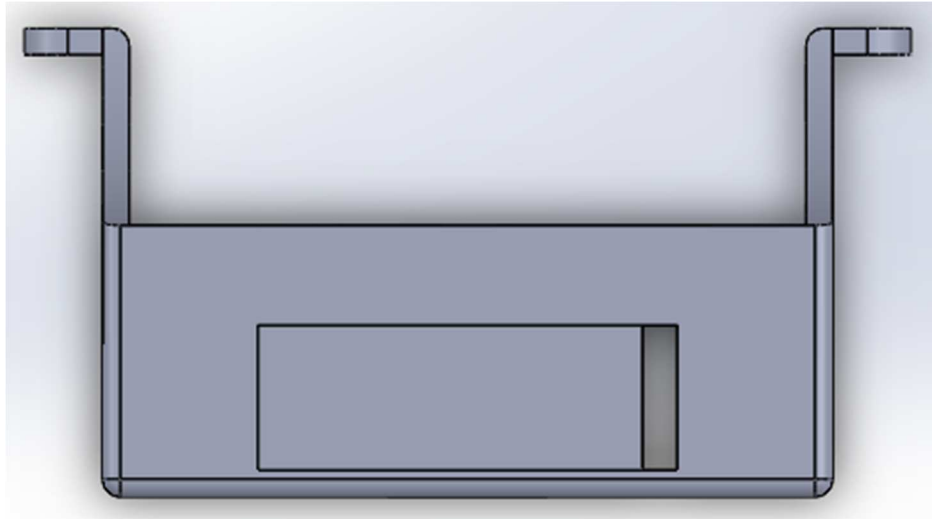


FIGURA No. 169: Mecanismo suspensión vista frontal.

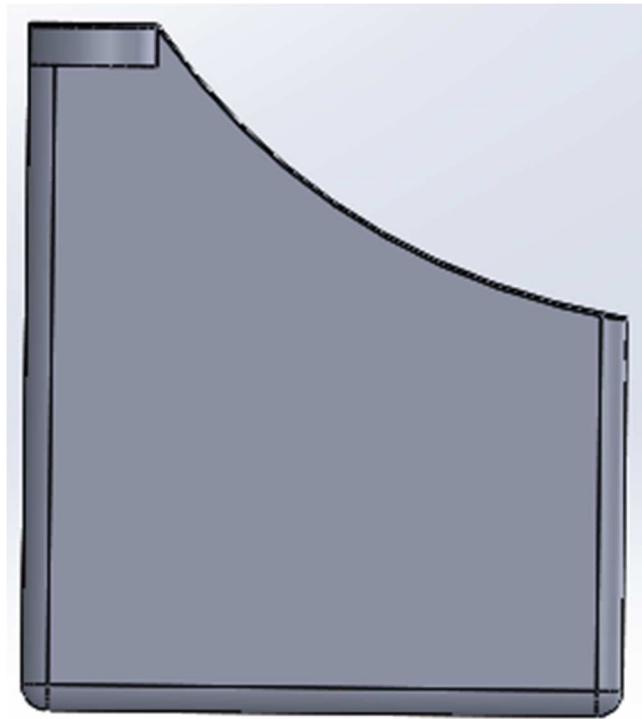


FIGURA No. 170: Mecanismo suspensión vista lateral.

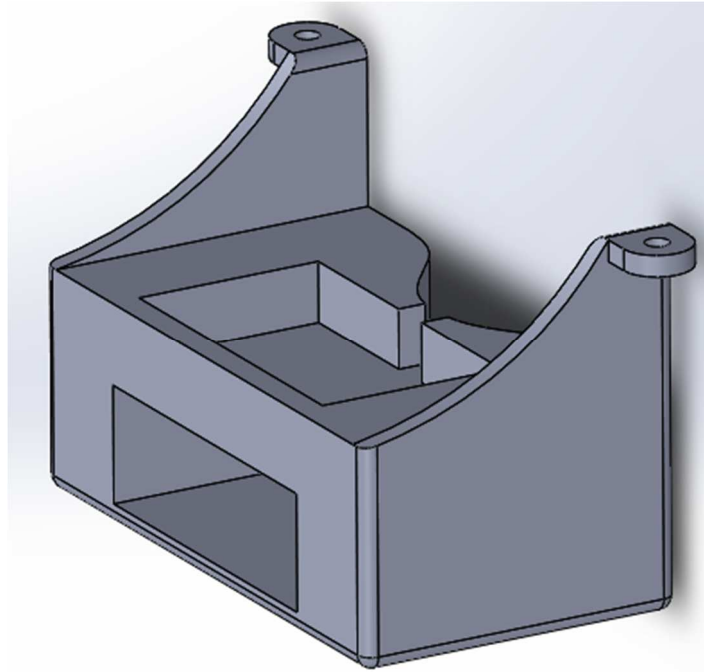


FIGURA No. 171: Mecanismo suspensión vista isométrica.

- **Análisis de Esfuerzos en el mecanismo 3 de sujeción**

Dentro del siguiente capítulo se procedió analizar los esfuerzos generados por las cargas en el mecanismo realizado para la sujeción del sensor y la batería.

Como base para la carga tomamos a la carga máxima que va a estar presente en el mecanismo, que en este caso es el peso generado por la batería y el sensor.

El peso de la batería es de 110 gr y el peso del sensor es de 22gr, por lo que para la carga máxima se tomó en cuenta la suma de los mismos.

$$\mathbf{Carga\ Maxima = peso\ bateria + peso\ sensor}$$

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 110 + 22}$$

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 132gr}$$

$$\mathbf{Carga\ Maxima = 0.132kg}$$

Procedemos a transformar nuestra carga máxima a Nétwones, tomando como referencia a $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

$$Carga (N) = Carga\ maxima * gravedad \quad (Ec. 8)$$

$$Carga (N) = 0.132\ kg * 9.8\ \frac{m}{s^2}$$

$$Carga (N) = 1.294\ N$$

Ya con el dato de la carga máxima procedimos a fijar nuestro material que en este caso es PLA.

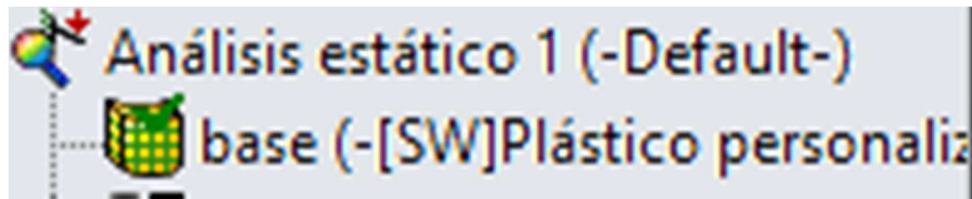


FIGURA No. 172: Material Aplicado a nuestro mecanismo.

Después de aplicar el material, se procedió a fijar nuestro mecanismo para lo cual utilizamos las aperturas de nuestro modelo.

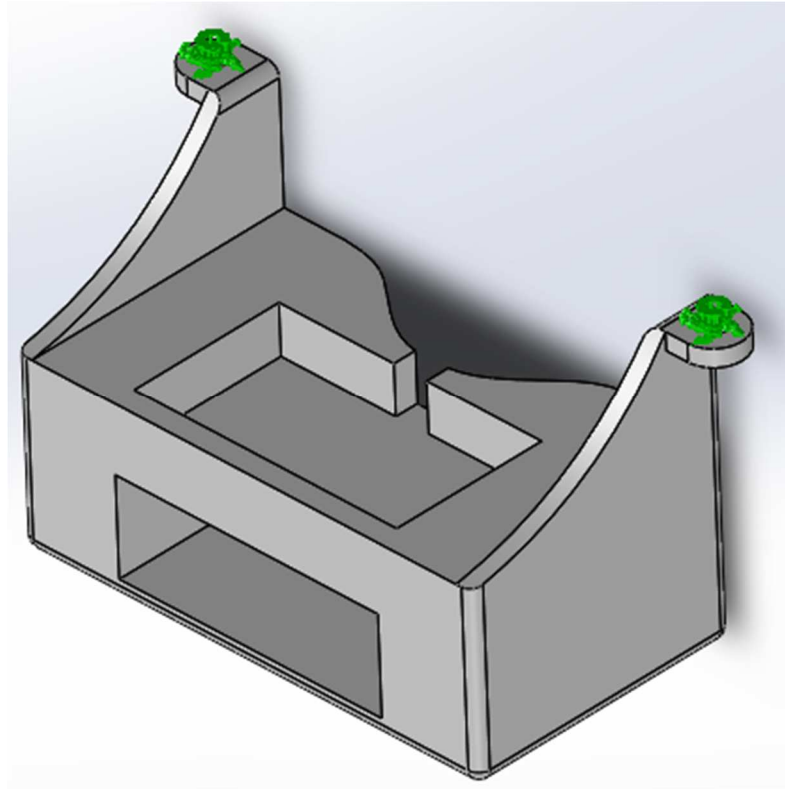


FIGURA No. 173: Sujeciones Fijas en nuestro mecanismo.

Ya con las sujeciones fijas de nuestro modelo establecidas, se procedió aplicar la carga en nuestro modelo.

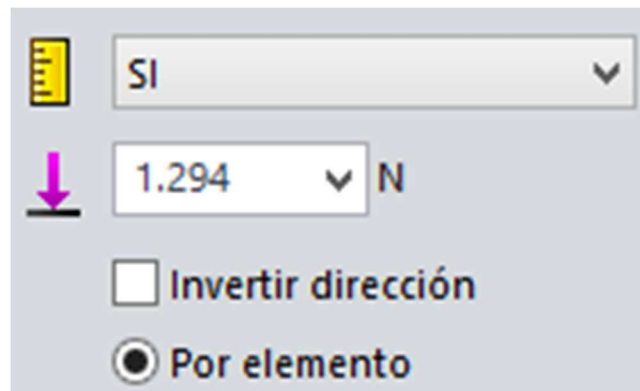


FIGURA No. 174: Configuración del valor de la carga.

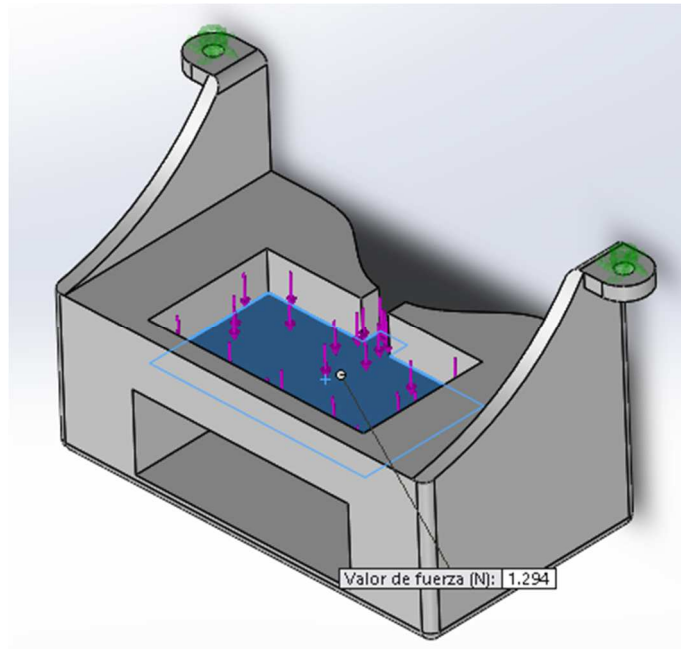


FIGURA No. 175: Cargas aplicadas a nuestro mecanismo.

Después de aplicar las cargas se procedió a realizar el mallado en conjunto para el análisis de los esfuerzos en nuestro modelo.

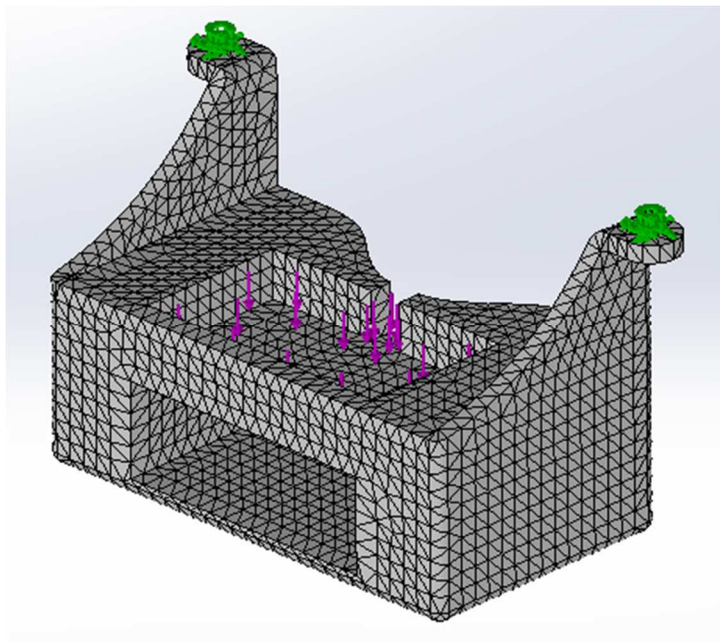


FIGURA No. 176: Mecanismo eje Y mallado.

Después de tener configurados todos nuestros parámetros se procedió a realizar el estudio de los esfuerzos obteniendo los siguientes resultados.

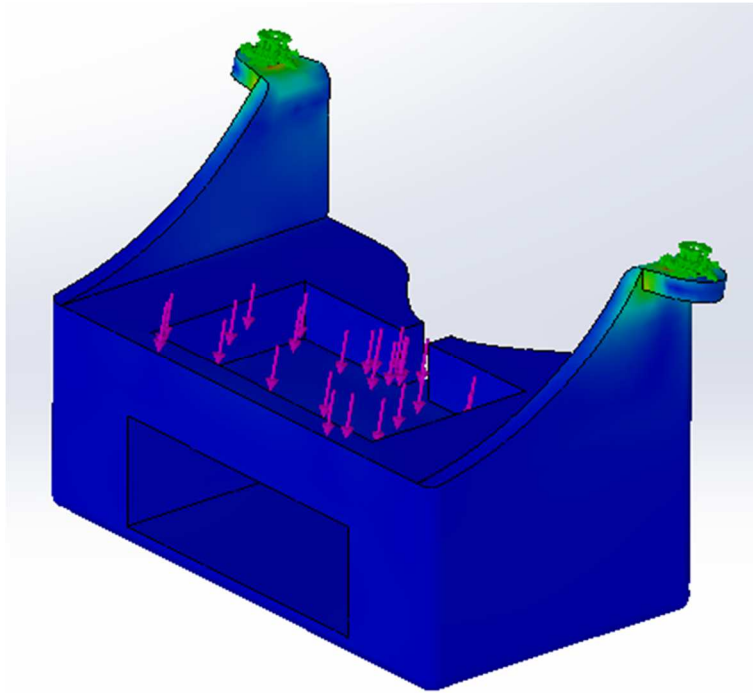


FIGURA No. 177: Tensiones generados por la carga en el mecanismo.

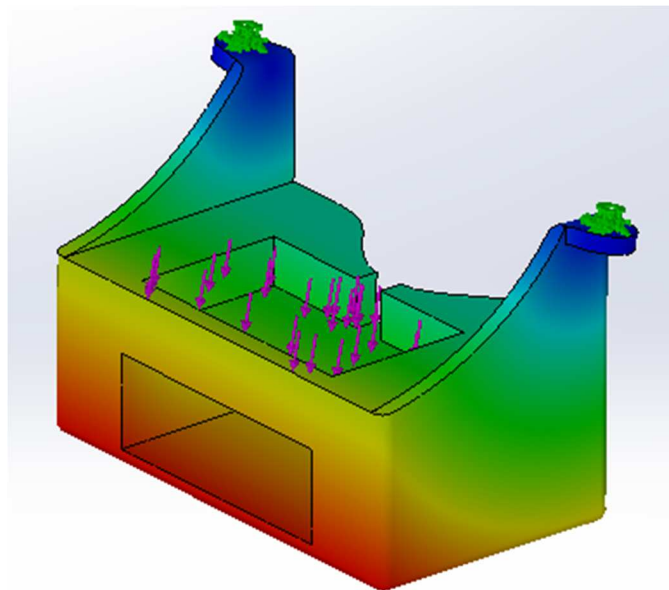


FIGURA No. 178: Desplazamientos generados por la carga en el mecanismo.

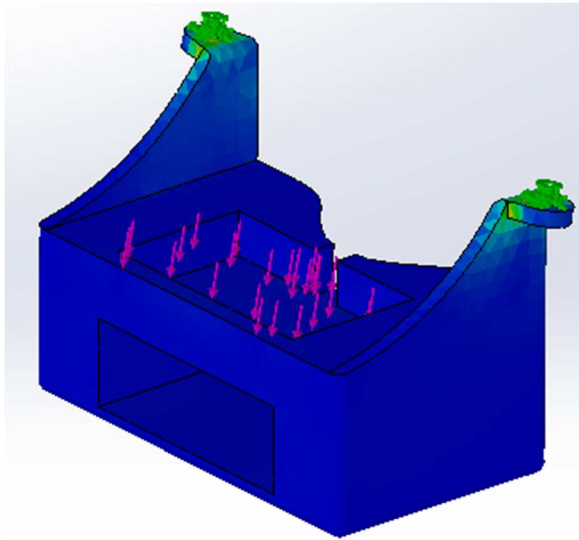


FIGURA No. 179: Deformaciones Unitarias generados por la carga en el mecanismo.

Para verificar que nuestro material soporta la carga seleccionada se procedió a calcular el factor de seguridad tomando como referencia el factor de 1.

Se lo realizo en dos partes la primera es el estudio del factor de seguridad en los puntos por debajo del valor de 1 y el otro es el estudio del factor de seguridad distribuidamente en el modelo.

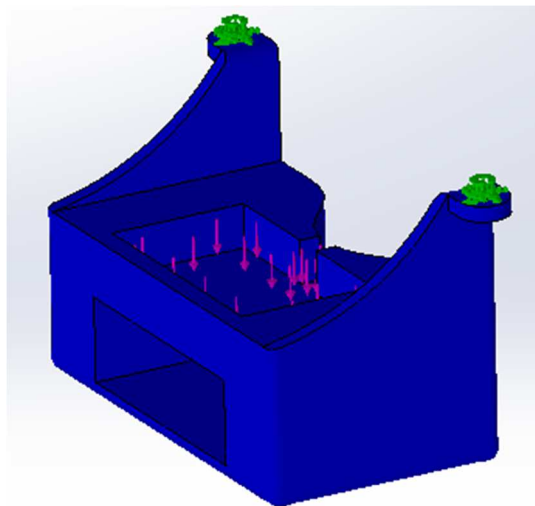


FIGURA No. 180: Factor Seguridad por debajo del límite (1).

Nombre del modelo: soporte2
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Rojo < FOS = 1 < Azul

FIGURA No. 181: Resultado del análisis de FOS.

Como se puede observar en el resultado de la figura 141:

$$\text{Rojo} < \text{FOS} = 1 < \text{Azul}$$

Nos quiere decir que las áreas que se encuentran en peligro o por debajo del factor de seguridad son las pintadas de rojo, como se observa en la imagen 140 todo el mecanismo es de color azul por lo que podemos concluir que todos los puntos muestreados presentan un valor mayor a 1, lo que nos quiere decir que el mecanismo no fallara.

Para estar seguros de nuestro estudio procedimos a correr el estudio de Factor de Seguridad distribuido.

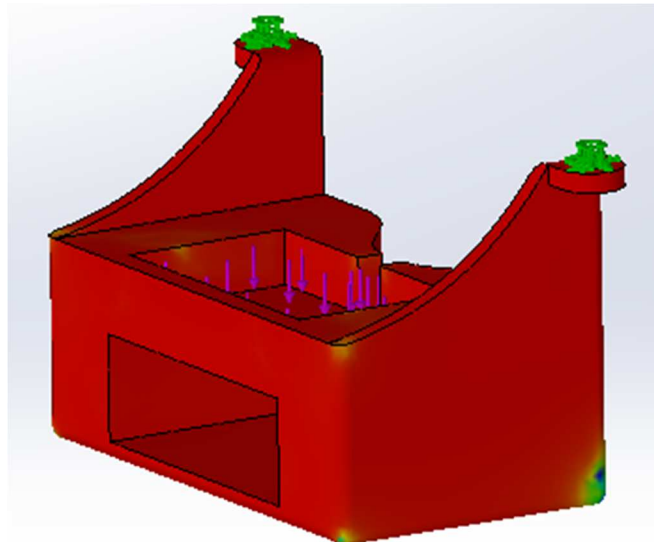


FIGURA No. 182: Resultado del análisis de FOS.

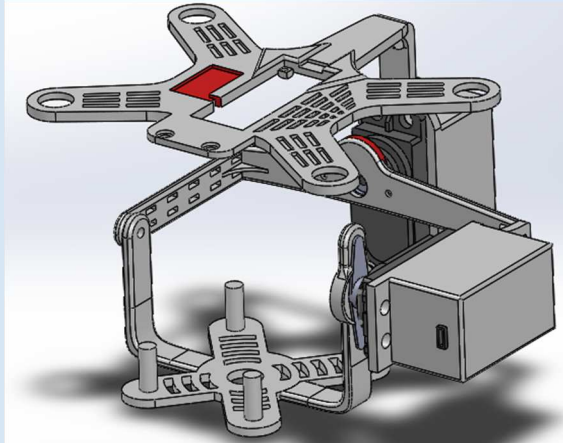
Nombre del modelo: soporte2
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 58

FIGURA No. 183: Resultado del análisis de FOS.

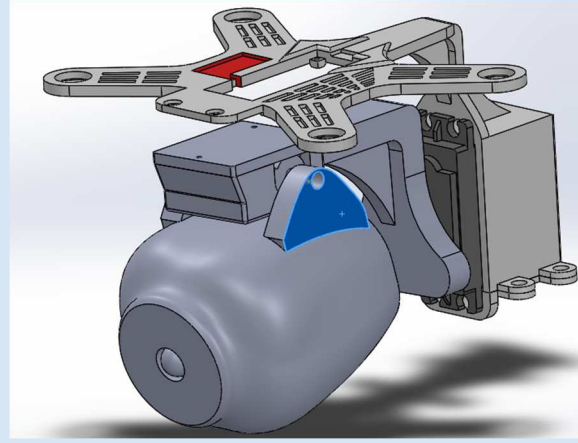
Como se puede observar en la figura 180, el factor de seguridad mínimo es de valor 58 por lo tanto queda concluido que el mecanismo no fallara a la carga máxima lo que cualquier valor por debajo del mismo está permitido.

TABLA 15**Estabilizadores desarrollados.**

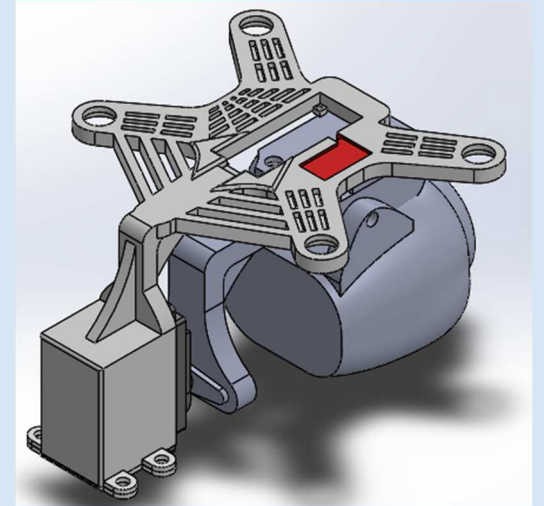
Diseño Mecanismo 1

**Figura No. 186:** Mecanismo estabilizador 1

Diseño Mecanismo 2

**FIGURA No. 184:** Mecanismo estabilizador 2.

Diseño Mecanismo 3

**FIGURA No. 185:** Mecanismo estabilizador 3.

3.1.4. Diseño del controlador

Dentro de este capítulo se va a proceder a realizar todo el diseño del controlador al igual que la selección del sensor y la selección de un hardware para programación.

Selección del Hardware de Control.

El principal parámetro que se tomó en cuenta para la selección del controlador fue que este sea software libre y el segundo parámetro que se tomó en cuenta es el tamaño de la placa embebida, al considerar el tamaño también estamos considerando el peso de la misma puesto que no debemos olvidar que nuestro dron tiene una carga máxima para despegar.

El más conveniente para nuestra elección por su tamaño, facilidad de programación y por ser software libre fue el Arduino, es especial el Arduino NANO.



FIGURA No. 187: Arduino NANO.

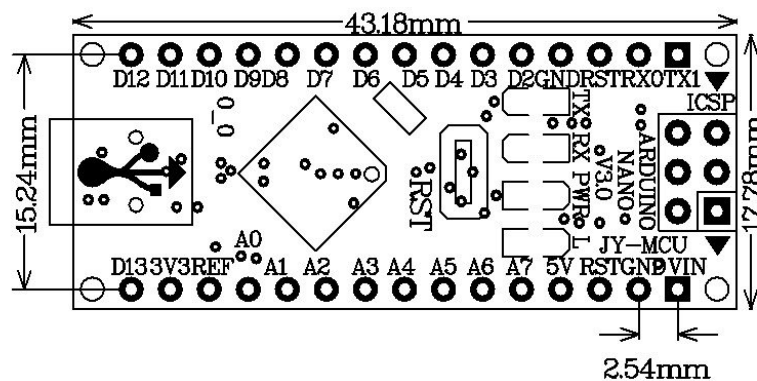


FIGURA No. 188: Dimensiones Arduino Nano.

Fuente: (Arduino, 2013)

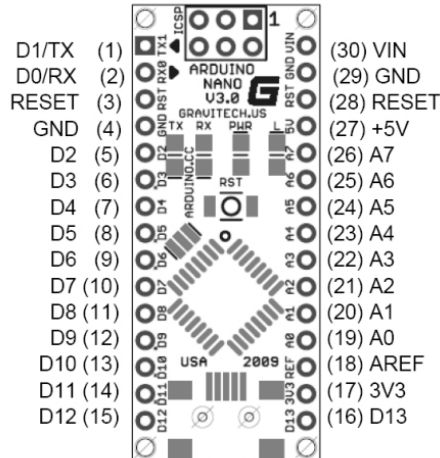


FIGURA No. 189: Distribución de Pines Arduino NANO.

Fuente: (Arduino, 2013)

- **Selección del Sensor.**

Para la selección del sensor teníamos dos opciones la primera era usar un giroscopio y la segunda era el utilizar un acelerómetro, dentro de este campo jugo un papel muy importante el precio, el giroscopio era mucho más caro que el acelerómetro y no existen aquí en el Ecuador, por lo que nos vimos en la necesidad de utilizar un acelerómetro.

Este acelerómetro se lo reutilizo de un control de Nintendo Wii.



FIGURA No. 190: Wii Nunchuk.

El control de Wii también denominado Nunchuk en su interior presenta un acelerómetro ADXL330 al igual que un potenciómetro y dos entradas de botones (z y c).



FIGURA No. 191: Botonera, potenciómetro y acelerómetro.

El acelerómetro ADXL330, es un acelerómetro de tres ejes de libertad



FIGURA No. 192: Ejes de referencia del acelerómetro.

Los acelerómetros son dispositivos que miden la aceleración, que es la tasa de cambio de la velocidad de un objeto. Esto se mide en metros por segundo al cuadrado o en fuerzas G (g). La sola fuerza de la gravedad para nosotros aquí en el planeta Tierra es equivalente a $9,8 \text{ m/s}^2$, pero esto varía ligeramente con la altitud (y será un valor diferente en diferentes planetas, debido a las variaciones de la atracción gravitatoria). Los acelerómetros son útiles para detectar las vibraciones en los sistemas o para aplicaciones de orientación.

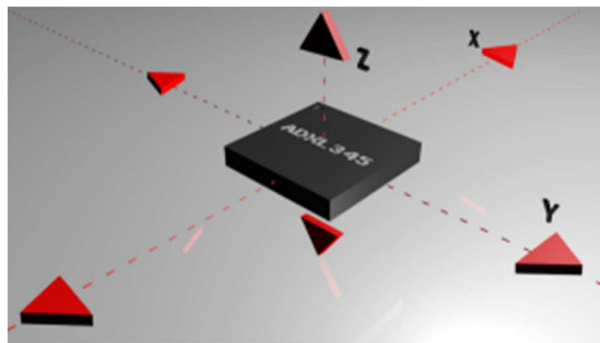


FIGURA No. 193: Ejes de referencia del acelerómetro (Pololu, 2014).

Fuente: (Sensores y Acondicionamiento , 2005)

Los acelerómetros son dispositivos que miden la electromecánicos que detectan las fuerzas de aceleración, ya sea estática o dinámica. Las fuerzas estáticas incluyen la gravedad, mientras que las fuerzas dinámicas pueden incluir vibraciones y movimiento.

Los acelerómetros pueden medir la aceleración en uno, dos o tres ejes. Los tres ejes son más comunes. Generalmente los acelerómetros contienen placas capacitivas internamente.

Algunos de estos son fijos, mientras que otros están unidos a resortes minúsculos que se mueven internamente conforme las fuerzas de aceleración actúan sobre el sensor.

Como estas placas se mueven en relación el uno al otro, la capacitancia entre ellos cambia. A partir de estos cambios en la capacitancia la aceleración se puede determinar.

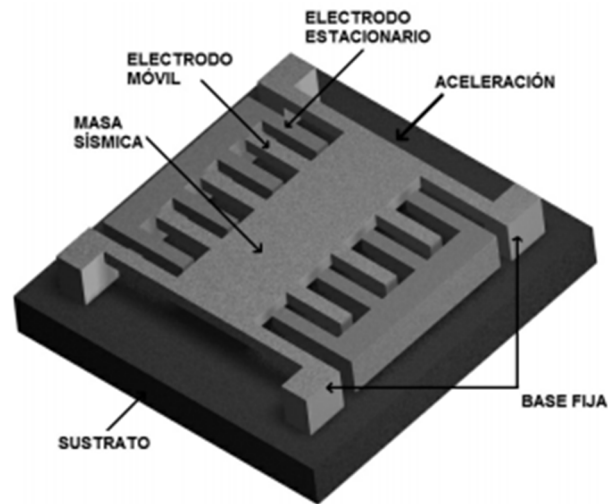


FIGURA No. 194: Partes internas de un acelerómetro.

Fuente: (Sensores y Acondicionamiento , 2005)

Otros acelerómetros se pueden centrar en torno a materiales piezoeléctricos. Estos al ser deformados generan una pequeña carga eléctrica de salida, cabe resaltar que la estructura que todos los materiales piezoeléctricos presenta es una estructura cristalina

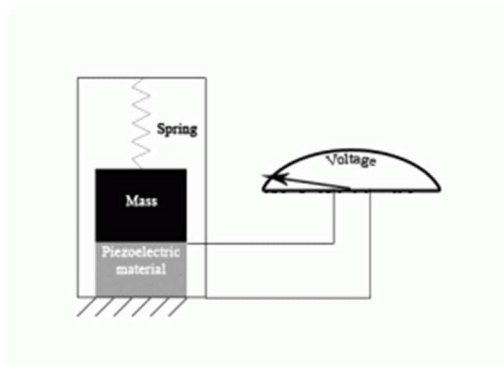


FIGURA No. 195: Acelerómetro piezoeléctrico

Fuente: (Sensores y Acondicionamiento , 2005)

Conectar un acelerómetro para obtener los datos del mismo no es muy difícil, lo único que necesitan conectar es son los dos cables de poder y también conectar los dos cables de transmisión, todos los acelerómetros necesitan de estar conectados por transmisión serial para poder observar de una forma correcta todos sus datos, la mayoría de los acelerómetros son análogos y también presentan un tipo de librería específica dependiendo de su modelo.

- **Selección del Sistema de Control.**

Dentro de este capítulo se va exponer los criterios de control que consideramos para lograr el control de nuestro mecanismo, cabe resaltar que el mayor parámetro a tomar en cuenta es la velocidad de respuesta.

Los métodos de control que tomamos en cuenta son métodos de control clásicos de los cuales planteamos las características y se procedió a desarrollar el método que arribe todas las características buscadas.

- **Control Proporcional (P)**

Se caracteriza por que la salida del controlador es proporcional al error, multiplicada por una constante K_p llamada ganancia o constante proporcional.

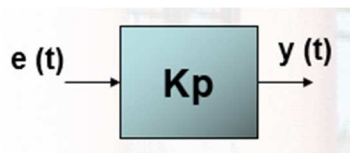


FIGURA No. 196: Diagrama Flujo controlador.

Fuente: (Katsuhiko, 2010)

Entre las principales características que podemos obtener de un controlador proporcional se encuentran las siguientes, cabe resaltar que este tipo de control varía según su constante de ganancia también llamada K_p .

Características controlador P
La salida decrece proporcionalmente con la variable de proceso
La magnitud del error es proporcional a la señal de la salida del controlador y por ende al elemento final de control
El sistema se estabiliza cuando la salida del controlador es igual a la entrada
Existe una desviación permanente entre P y R llamado offset, la acción proporcional no elimina el error
El aumento de la ganancia produce disminución del error y mejora la velocidad
El aumento reiterado de la ganancia introduce inestabilidad

TABLA 15: Estabilizadores desarrollados. (Elaboración propia)

- **Control Proporcional-Derivativo (PD)**

El controlador PD colocado en compensación en serie con la planta del sistema, añade un cero simple en $S = -K_p/K_d$ tanto a la Función de Transferencia de la trayectoria directa ($G(S)$), como a la Función de Transferencia del Sistema de lazo cerrado. No agrega polos, por lo tanto no afecta ni el tipo ni el orden del sistema.

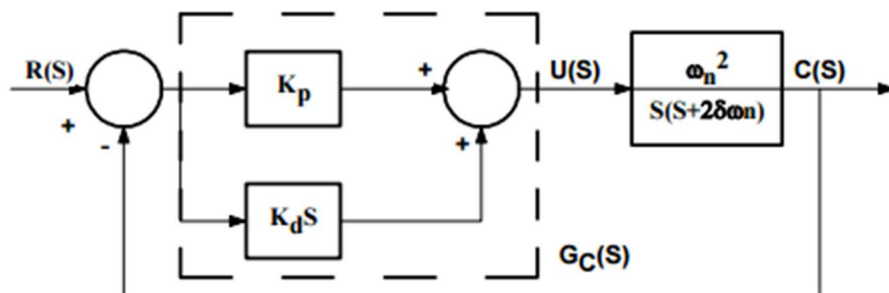


FIGURA No. 197: Diagrama control en lazo cerrado PD.

Fuente: (Katsuhiko, 2010)

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_d S = K_p \left(1 + \frac{K_d}{K_p} S \right) \quad (\text{Ec. 10})$$

El controlador PD, es en esencia un control anticipativo, ya que $dt/de(t)$ representa la pendiente del error $e(t)$. Es decir, al conocer la pendiente, el controlador puede emplearla para anticipar la dirección del error y controlar mejor el proceso. Si la pendiente de $y(t)$ o $e(t)$ debida a la entrada escalón es grande, subsecuentemente ocurrirá un sobrepaso alto.

El control derivativo mide la pendiente instantánea de $e(t)$ y predice el sobrepaso grande que ocurrirá luego en el tiempo y hace un esfuerzo correctivo antes de que el sobrepaso ocurra.

Si el error en estado estable es constante, o varía muy lentamente, la derivada con respecto al tiempo de ese error es cero. La porción o parte derivativa del controlador, no provee ninguna acción correctora al proceso y el controlador adopta una actitud pasiva. Por eso se dice que el efecto del controlador tiene una gran y rápida acción inicial, seguida de un eventual decaimiento a cero de la acción de control proporcional a la derivada del error, solo actuará la parte proporcional al error. Pero si el error de estado estable se incrementa con el tiempo, se genera otra vez una acción proporcional a la derivada del error, lo cual reduce la magnitud del error.

TABLA 16**Estabilizadores desarrollados.**

Características controlador P
El controlador PD es un filtro Pasa Alto, tiene la desventaja que acentúa el ruido en altas frecuencias.
El controlador PD al agregar un cero, aumenta el Ancho de Banda del sistema
Al agregar un cero finito, que corresponde matemáticamente a una derivada, reduce el tiempo de asentamiento y levantamiento, haciendo que la respuesta al escalón levante rápidamente.
El controlador PD decrementa el sobrepaso máximo (M_p), el tiempo de levantamiento (t_r), y el tiempo de asentamiento o establecimiento (t_s).
Una de las desventajas que tiene, es que si K_d no se calcula adecuadamente, cuando se presente repentinamente una señal de error que varíe rápidamente (por ejemplo ruido), la acción derivativa actúa severamente tratando de eliminar el mismo y la amplitud de la señal de control será de tal magnitud, que puede llevar a la saturación de algunos elementos integrantes del sistema y dañarlos.

- **Control Proporcional-Derivativo (PI)**

El controlador PI produce una señal que es una parte proporcional a la integral del error y otra parte proporcional al error.

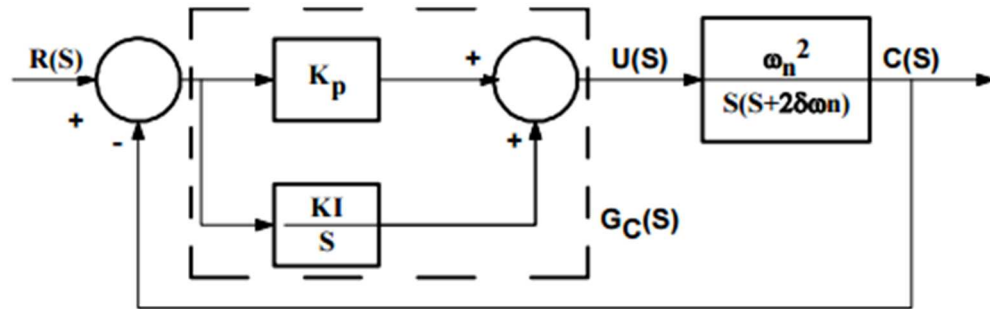


FIGURA No. 198: Diagrama control en lazo cerrado PI.

Fuente: (Katsuhiko, 2010)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (\text{Ec. 11})$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{S} = K_p \left(1 + \frac{K_i}{K_p S} \right) \quad (\text{Ec. 12})$$

Agrega un polo en el origen a la Función de Transferencia de Trayectoria directa $G(S)$, por lo tanto aumenta el orden del sistema, agregando un polo finito a la Función de Transferencia de Lazo Cerrado.

El controlador PI colocado en compensación en serie con la planta del sistema, añade también un cero simple en $S = -K_i/K_p$ tanto a la Función de Transferencia de la trayectoria directa ($G(S)$), como a la Función de Transferencia del Sistema de lazo cerrado.

Al aumentar el tipo del sistema, mejora el error de estado estacionario en un orden, por ejemplo si el error en estado estable a una entrada es constante, el controlador PI lo reduce a cero, pero la parte integral al mismo tiempo empeora la estabilidad relativa aumentando el sobre impulso de la respuesta transitoria y las oscilaciones, si K_i no está calculado adecuadamente puede llegar a hacer que el sistema se vuelva inestable debido al desplazamiento de los polos hacia la derecha.

El controlador PI puede entonces mejorar la respuesta transitoria mejorando el amortiguamiento y reduciendo el sobrepaso máximo con la parte proporcional (K_p) y reducir el error de estado estable con la parte integral (K_I)

Al igual que el controlador PD, si K_p es muy grande, como el cero agregado, el cero se desplaza hacia el origen, transformándose en un derivador puro, como matemáticamente la derivada de una señal escalón da una señal impulso, así la derivada de un cambio brusco de la señal de error, también da una señal de amplitud muy elevada, que a su vez produce una respuesta del sistema a la entrada escalón con un sobrepaso o sobre impulso muy elevado, a veces inaceptable, ya que puede saturar o dañar los componentes. Por lo tanto no se puede aumentar K_p en forma desmedida.

- **Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID)**

Agrega un polo en el origen a la Función de Transferencia de lazo abierto, aumentando el tipo, y por lo tanto aumenta el orden del sistema, agregando un polo finito a la Función de Transferencia de Lazo Cerrado. También agrega dos ceros finitos a la Función de la Trayectoria directa $G(S)$ y a la Función de Transferencia de Lazo Cerrado.

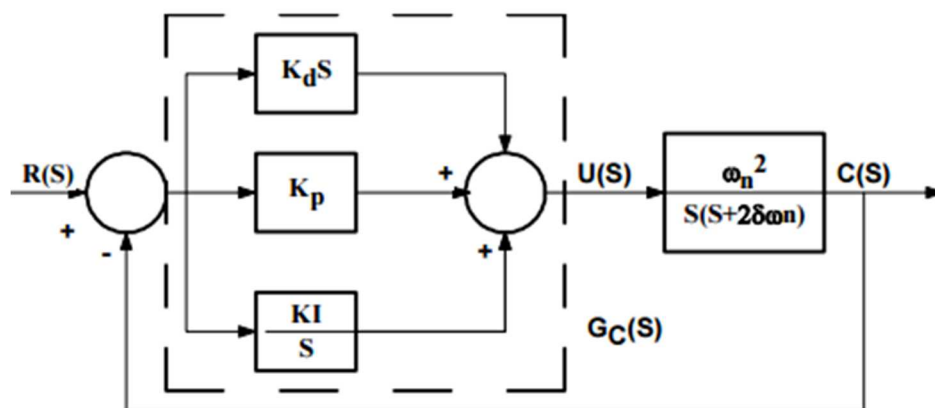


FIGURA No. 199: Diagrama control en lazo cerrado PID.

Fuente: (Katsuhiko, 2010)

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} + K_i \int e(t) dt \quad (\text{Ec. 13})$$

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p + K_d S + \frac{K_i}{S} = \frac{K_d S^2 + K_p S + K_i}{S} \quad (\text{Ec. 14})$$

El polo en el origen reduce el error e inestabiliza, mientras que con los dos ceros que dependen de la relación K_p/K_i y K_d/K_i , es posible mejorar la respuesta y estabilidad del sistema.

Combina todas las ventajas de los controladores P, D, I. Aumenta la estabilidad con la parte derivativa, y proporcional, la rapidez de respuesta con la parte derivativa y da más exactitud con la parte integral

- **Controlador On/Off**

Combina todas las ventajas de los controladores P, D, I. Aumenta la estabilidad con la parte derivativa, y proporcional, la rapidez de respuesta con la parte derivativa y da más exactitud con la parte integral

La salida del controlador ON-OFF, o de dos posiciones, solo puede cambiar entre dos valores al igual que dos estados de un interruptor. El controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia dado pues el controlador produce una continua desviación del valor de referencia.

La acción del controlador de dos posiciones tiene un simple mecanismo de construcción, por esa razón este tipo de controladores es de los de más amplio uso, y comúnmente utilizados en sistemas de regulación de temperatura. Los controladores mecánicos de dos posiciones normalmente posee algo de histéresis, por el contrario los controladores electrónicos usualmente funcionan sin histéresis.

La histéresis está definida como la diferencia entre los tiempos de apagado y encendido del controlador.

El usar un controlador de acción de dos posiciones da como resultado una oscilación de la variable controlada, x .

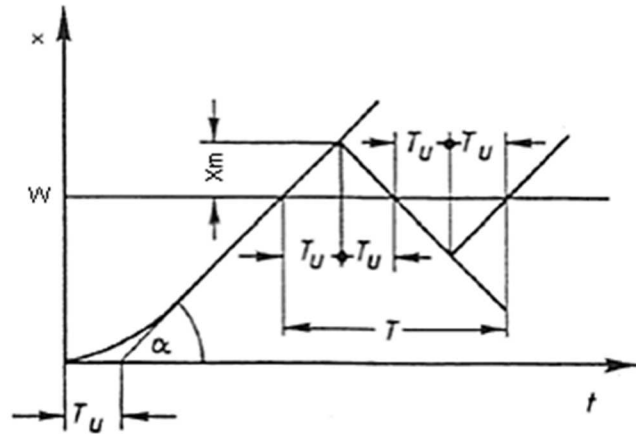


FIGURA No. 200: Planta ON/OFF sin histéresis (Pololu, 2014).

Fuente: (Katsuhiko, 2010)

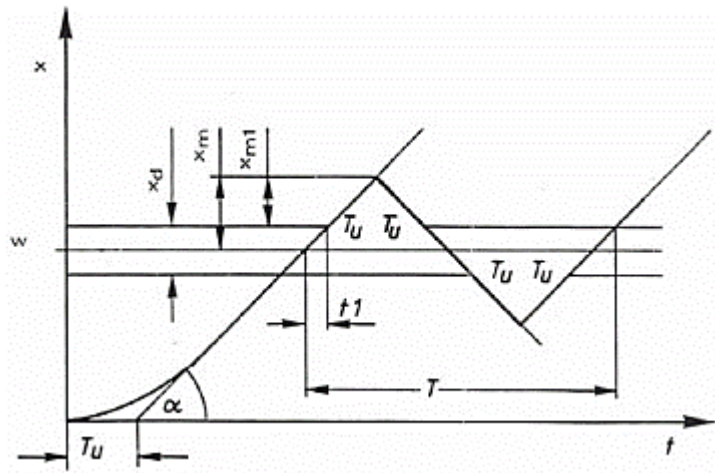


FIGURA No. 201: Planta ON/OFF con histéresis (Pololu, 2014).

Fuente: (Katsuhiko, 2010)

$T_u =$ Tiempo muerto del sistema

$w =$ Valor de referencia

$T =$ Perido de Oscilacion

$x_m =$ Ancho sobreimpulso de la oscilacion

Para determinar la regulación del controlador, son importantes los parámetros amplitud y período de tiempo de la oscilación. La oscilación depende de muchos factores, el período de tiempo está en función del tiempo muerto del sistema y la posible histéresis del controlador. La histéresis también está directamente influenciada por la amplitud de la oscilación la cual es adicionalmente dependiente de los valores del factor de histéresis K_{is} y la magnitud del escalón en la variable de entrada.

Después de establecer las características de cada uno de los sistemas, entender las ventajas y las desventajas de los mismos y ver el control que más nos conviene hemos tomado la decisión de utilizar y probar dos tipos de control, el primero es un controlador P y el segundo es un controlador ON/OFF, los otros controles quedan descartados por la velocidad de respuesta que presentan los mismos, al momento de utilizar el acelerómetro para muestrear los valores para poder estabilizar la cámara necesitamos una respuesta rápida.

- **Desarrollo del controlador P**

Puesto que el sensor nos brinda como salidas 3 valores tanto en X, Y, e Z, tendremos tres entradas diferentes, cada una de estas entradas tendrá una planta y un control diferente, cabe resaltar que nuestro mecanismo no gira en torno al eje z por lo que este valor queda totalmente descartado, por lo que los valores que utilizaremos como entradas en nuestros lazos de control son los valores recibidos de X y de Y.

Una vez establecido las entradas, tenemos que modelar el motor para lo cual utilizaremos las ecuaciones que nos brindan el modelamiento en general de un motor de modelo lineal, el cual se muestra a continuación.

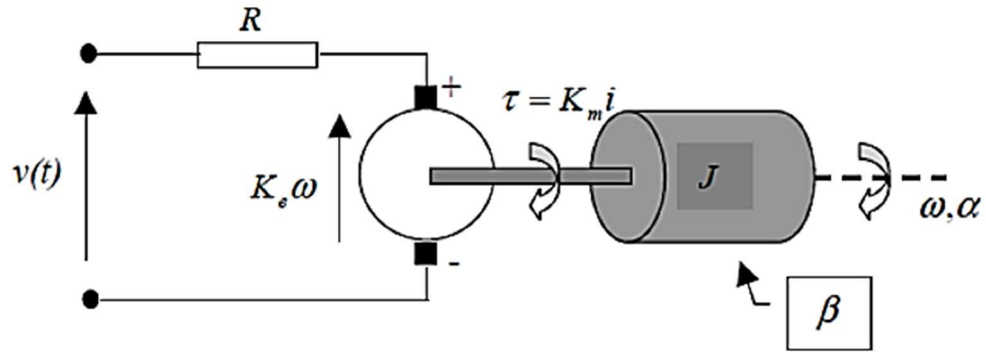


FIGURA No. 202: Modelamiento matemático planta.

Fuente: (Katsuhiko, 2010)

Las dos ecuaciones principales para determinar la planta del motor son las siguientes, tenemos una ecuación eléctrica y la segunda es una ecuación mecánica.

$$v(t) = R * i(t) + K_e \frac{d \alpha}{dt} \quad (\text{Ec. 15})$$

$$\frac{d \alpha}{dt} = w \quad (\text{Ec. 16})$$

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = K_m * i(t) - \beta \frac{d \alpha}{dt} \quad (\text{Ec. 17})$$

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \frac{dw}{dt} \quad (\text{Ec. 18})$$

El significado de cada uno de los términos es el siguiente

$v(t)$ = Voltaje de entrada

$i(t)$ = Corriente de Armadura

w = Velocidad Angular del Motor

α = Posición Angular del motor

R = Resistencia de la armadura

$J =$ Momento de Inercia de las piezas móviles

$\beta =$ Coeficiente de Amortiguación debido a la fricción viscosa

$K_e w(t) =$ Fuerza electromotriz

$\tau = K_m i(t) =$ Torque electromecánico

Después procedemos a plantear las dos ecuaciones características descritas anteriormente.

$$i(t) = \frac{v(t)}{R} - \frac{K_e}{R} * \frac{d \alpha}{dt} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$K_m i(t) - \beta \frac{d \alpha}{dt} = J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \quad (\text{Ec. 20})$$

Procedemos a reemplazar la ecuación 19 en la ecuación 20

$$K_m \left(\frac{v(t)}{R} \right) - \frac{K_m K_e}{R} * \frac{d \alpha}{dt} - \beta * \frac{d \alpha}{dt} = J * \frac{d^2 \alpha}{dt^2}$$

$$K_m v(t) - K_m K_e * \frac{d \alpha}{dt} - R \beta * \frac{d \alpha}{dt} = R * J * \frac{d^2 \alpha}{dt^2}$$

$$K_m v(t) - (K_m K_e + R \beta) * \frac{d \alpha}{dt} = R * J * \frac{d^2 \alpha}{dt^2}$$

$$\frac{K_m}{K_m * K_e + R * \beta} v(t) - \frac{d \alpha}{dt} = \frac{R * J}{K_m * K_e + R * \beta} * \frac{d^2 \alpha}{dt^2}$$

$$T_s = \frac{R * J}{K_m * K_e + R * \beta} \quad (\text{Ec. 21})$$

$$K_{sm} = \frac{K_m}{K_m * K_e + R * \beta} \quad (\text{Ec. 22})$$

Donde

$T_s = \text{Constante de Tiempo del motor}$

$K_{sm} = \text{Ganancia del Motor}$

$$T_s * \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = K_{sm} * v(t) - \frac{d \alpha}{dt} \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde su función de Transferencia queda de la siguiente manera

$$T_s * s^2 * \alpha (s) = K_{sm} * v(s) - s * \alpha (s) \quad (\text{Ec. 24})$$

De la cual podemos deducir la función de transferencia de la posición angular

$$\frac{s * \alpha (s)}{v(s)} = \frac{K_{sm}}{T_s * s + 1} \quad (\text{Ec. 24})$$

$$\frac{\alpha (s)}{v(s)} = \frac{K_{sm}}{s(T_s * s + 1)} \quad (\text{Ec. 25})$$

Se asume la señal de control adimensional como una escala de voltaje

$$u(t) = \frac{v(t)}{V_{max}} \quad (\text{Ec. 26})$$

Esto satisface el control

$$|u(t)| < 1 \quad (\text{Ec. 27})$$

De donde

$$\frac{\alpha (s)}{v(s)} = \frac{K_{sm} * V_{max}}{s(T_s * s + 1)} \quad (\text{Ec. 28})$$

$$K_s = K_{sm} * V_{max} \quad (\text{Ec. 29})$$

De donde la función de transferencia de la posición angular es la siguiente.

$$\frac{\alpha(s)}{v(s)} = \frac{Ks}{s(T_s * s + 1)} \quad (Ec. 30)$$

Ya con la función de transferencia calculada procedemos a buscar los datos correspondientes del motor.

Para los motores Hitech:

$$\begin{aligned} \text{Para los HITEC: } 0.50 \text{ ms} &= 0 \text{ grados} \\ 1.50 \text{ ms} &= 90 \text{ grados} \\ 2.5 \text{ ms} &= 180 \text{ grados} \end{aligned}$$

FIGURA No. 203: Datos Hitec Fabricante.

$$V_{max} = 6 \text{ V}$$

$$T_s = 2.5 \text{ (ms)}$$

$$\theta = 181 \text{ (grados)}$$

$$K_s = 72.4 \text{ grado/ms}$$

Reemplazando los datos tenemos lo siguiente

$$\frac{\alpha(s)}{u(s)} = \frac{Ks}{s(T_s * s + 1)} \quad (Ec. 31)$$

$$\frac{\alpha(s)}{u(s)} = \frac{181}{s(72.4 * s + 1)} \quad (Ec. 32)$$

Ya con la planta comenzamos a realizar el control, el primer paso es ver como esta nuestra planta tanto en lazo abierto como en lazo cerrado.

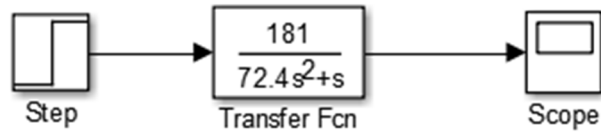


FIGURA No. 204: Planta Servomotor Lazo Abierto.

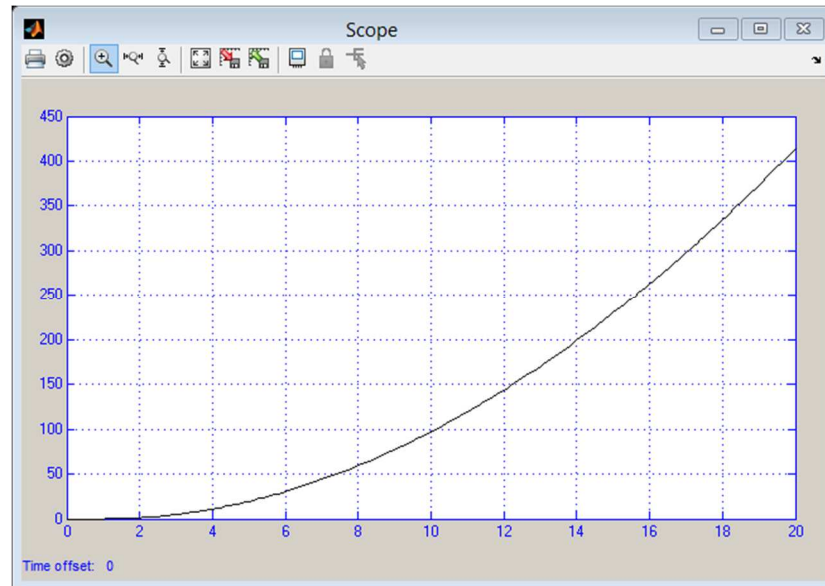


FIGURA No. 205: Planta Scope.

Como sabemos muchos de los motores DC solo con retroalimentarles se logran controlar o presentan un comportamiento totalmente diferente por lo que retroalimentamos a nuestra planta para observar su comportamiento.

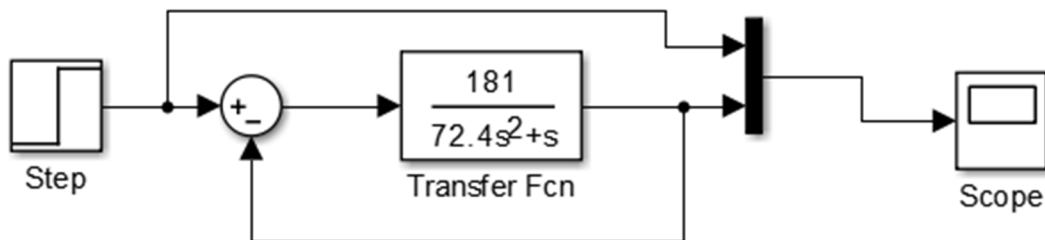


FIGURA No. 206: Planta Servomotor Lazo Cerrado.

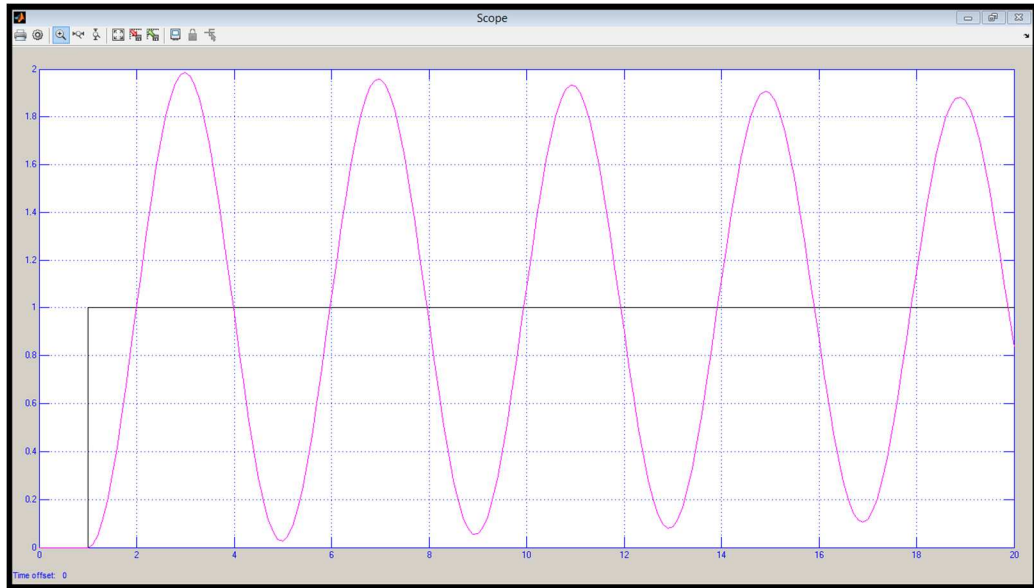


FIGURA No. 207: Planta Servomotor Lazo Cerrado.

Ya con los dos comportamientos procedemos a realizar nuestro control proporcional, lo que queremos rectificar con nuestro controlador es el errores en estado estable es decir queremos bajarlo a un 20% para lo cual utilizamos la fórmula de error de posición.

$$es = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{G(s)}{1 + G(s) * k * H(s)} \right) \quad (Ec. 33)$$

$$es = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{\frac{181}{s(72.4 * s + 1)}}{1 + \frac{181 * Kp}{s(72.4 * s + 1)}} \right)$$

$$es = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{\frac{181}{s(72.4 * s + 1)}}{\frac{s(72.4 * s + 1) + 181Kp}{s(72.4 * s + 1)}} \right)$$

$$0.2 = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{\frac{181}{s(72.4 * s + 1)}}{\frac{s(72.4 * s + 1) + 181Kp}{s(72.4 * s + 1)}} \right)$$

$$0.2 = \frac{1}{Kp}$$

$$Kp = 20$$

$$Kp < 20$$

Ya con el valor de nuestra constante Kp procedemos a ver el comportamiento de nuestra planta en lazo cerrado.

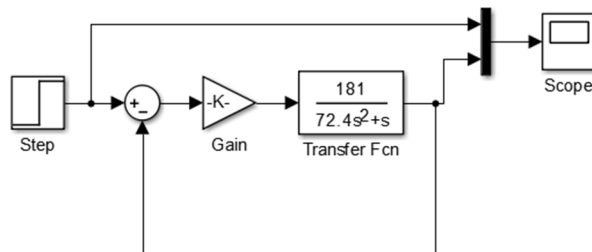


FIGURA No. 208: Planta Servomotor Lazo Cerrado con controlador.

Con $k=20$

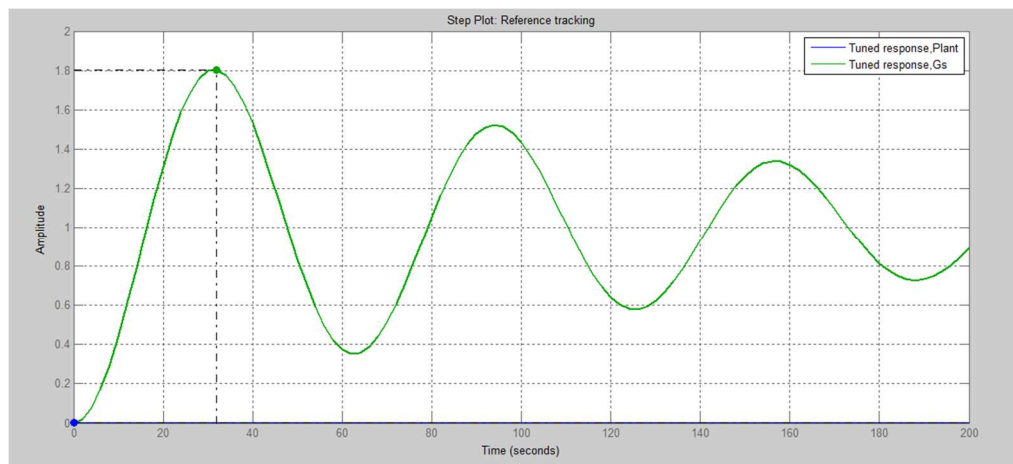


FIGURA No. 209: Planta con $Kp=20$

Todavía no se forma un tiempo de establecimiento y vemos que se genera un sin número de sobre picos.

Con $k=50$

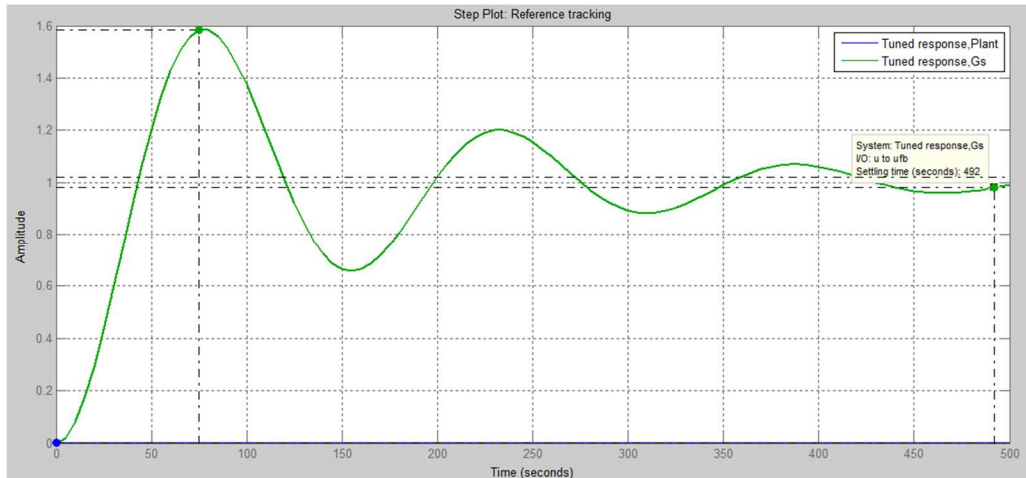


FIGURA No. 210: Planta con $K_p=50$.

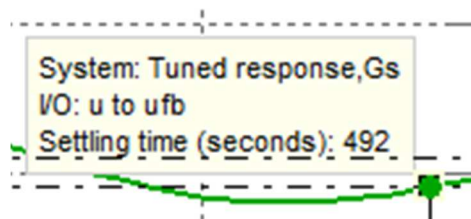


FIGURA No. 211: Tiempo de establecimiento con $K_p=50$.

El tiempo de establecimiento es de 492ms pero existen demasiados sobre picos todavía.

Con $k=100$

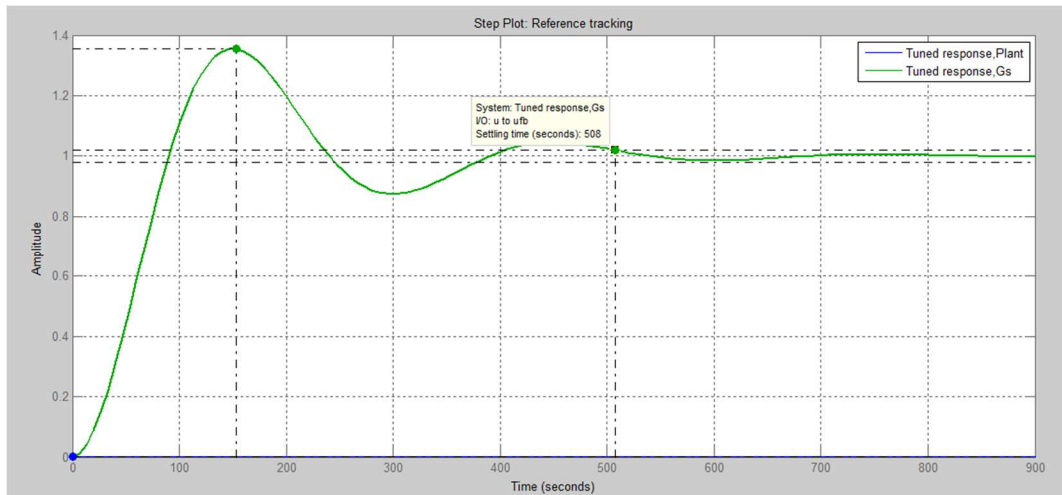


FIGURA No. 212: Planta con $K_p=100$.

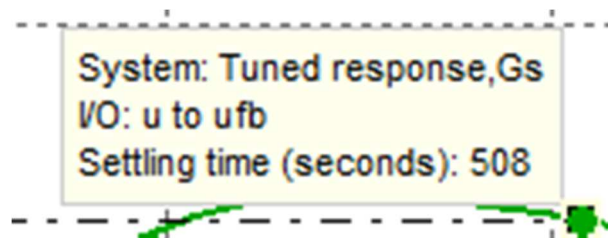


FIGURA No. 213: Tiempo de establecimiento con $K_p=100$.

El tiempo de establecimiento es de 508ms pero existen demasiados sobre picos todavía.

Con $k=1000$

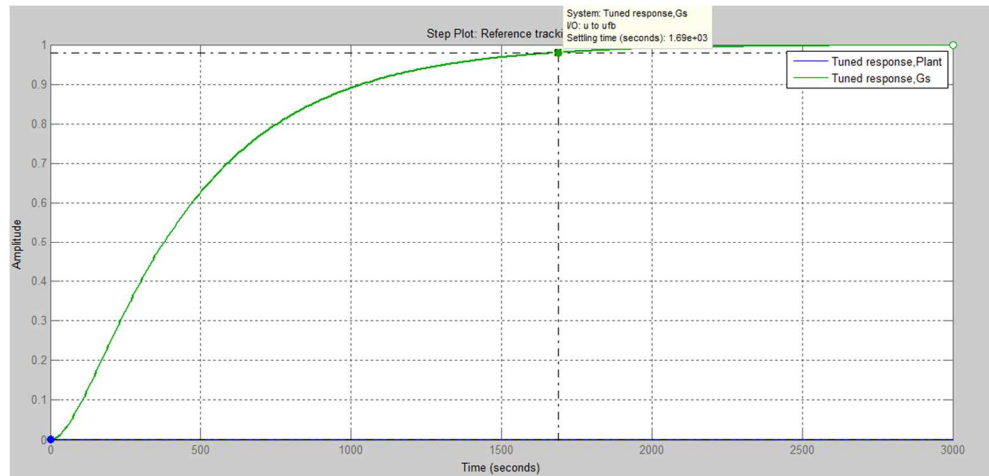


FIGURA No. 214: Planta con $K_p=1000$.

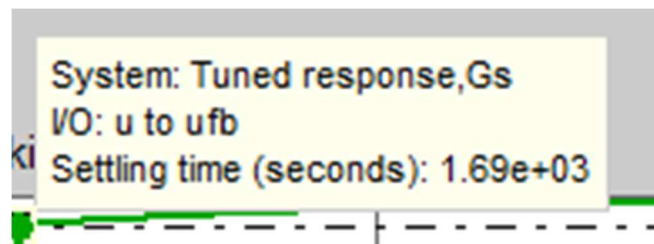


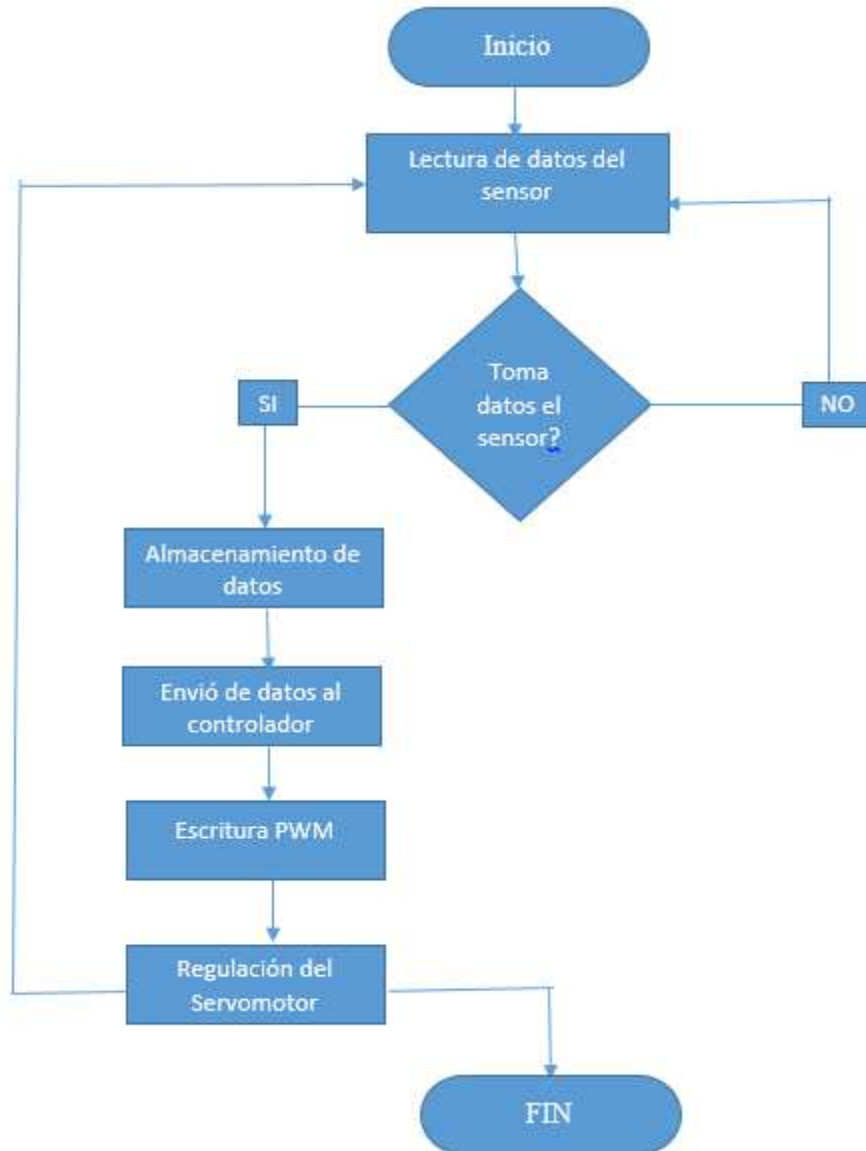
FIGURA No. 215: Tiempo de establecimiento con $K_p=1000$

El tiempo de establecimiento es de 1.8 s, los sobre picos ya no existen pero el tiempo de establecimiento es muy alto para el control que requerimos.

Por lo que tomamos la decisión de realizar un controlador on/off para regulación por PWM.

- **Desarrollo del controlador ON/OFF**

Para el desarrollo del controlador ON/OFF, se tomó como referencia la velocidad de respuesta que debemos de tener en nuestro estabilizador para lo cual decidimos utilizar un Arduino nano tanto por su tamaño como por su tiempo de respuesta, a continuación se presenta el programa realizado para el control de nuestro mecanismo el cual es PWM o también conocido como regulación por pulsos.



Para mejor entendimiento sobre la programación realizada para el control que se procedió a realizar revisar el anexo A1.

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

En este capítulo se detalla el proceso de construcción de los elementos mecánicos, y el ensamble de los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que conforman el estabilizador para la cámara del drone. Así como también, el resultado de las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento del mismo.

En el proceso de construcción se realizaron 3 modelos debido a que dos de ellos mostraron defectos que perjudicaban los resultados que se esperaban, en el tercer modelo se realizaron las correcciones necesarias para obtener los resultados que se esperan del estabilizador. Estos procesos de construcción y pruebas se detallan a continuación.

4.1. Construcción del mecanismo 1

Para la construcción del mecanismo 1 se siguió una serie de pasos, comenzando por el diseño CAD de las piezas mecánicas que se especifica en el capítulo 3, continuando con la impresión de las piezas en plástico PLA en una impresora 3D.

El mecanismo 1 está compuesto por 3 piezas (base, mecanismo para eje X, mecanismo para eje Y) las cuales están diseñadas para soportar la cámara y los elementos electrónicos que conforman el estabilizador. Cada uno de estos pasos se detalla a continuación.

4.1.1. Construcción de la base del mecanismo 1

La construcción de esta pieza mecánica se realizó en base al diseño especificado en el capítulo 3 en el software CAD, luego se exportó el archivo CAD a un formato STL, a continuación se importó el archivo STL al software XYZ ware de la impresora 3D, calibramos la impresora, se configura la impresora con los siguientes datos:

densidad 25 %, resolución 0.2 mm, para finalmente enviar a imprimir; la impresora tardó 2 horas y 30 minutos en finalizar la impresión obteniendo los siguientes resultados.



FIGURA No. 216: Base mecanismo 1

4.1.2. Construcción del mecanismo para el eje X del mecanismo 1

La construcción de esta pieza mecánica se realizó en base al diseño especificado en el capítulo 3 en el software CAD, luego se exportó el archivo CAD a un formato STL, a continuación se importó el archivo STL al software XYZ ware de la impresora 3D, calibramos la impresora, se configura la impresora con los siguientes datos: densidad 25 %, resolución 0.2 mm, para finalmente enviar a imprimir; la impresora tardó 2 horas en finalizar la impresión obteniendo los siguientes resultados.



FIGURA No. 217: Pieza mecanismo eje X

4.1.3. Construcción del mecanismo para el eje Y del mecanismo 1

La construcción de esta pieza mecánica se realizó en base al diseño especificado en el capítulo 3 en el software CAD, luego se exportó el archivo CAD a un formato STL, a continuación se importó el archivo STL al software XYZ ware de la impresora 3D, calibramos la impresora, se configura la impresora con los siguientes datos: densidad 25 %, resolución 0.2 mm, para finalmente enviar a imprimir; la impresora tardó 1 hora y 30 minutos en finalizar la impresión obteniendo los siguientes resultados.



FIGURA No. 218: Mecanismo eje Y

4.2. Construcción del mecanismo 2

Para la construcción del mecanismo 2 se siguió una serie de pasos, comenzando por el diseño CAD de las piezas mecánicas que se especifica en el capítulo 3, continuando con la impresión de las piezas en plástico PLA en una impresora 3D.

El mecanismo 2 está compuesto por 2 piezas (base, mecanismo para eje X e Y) las cuales están diseñadas para soportar la cámara y los elementos electrónicos que conforman el estabilizador. Cada uno de estos pasos se detalla a continuación.

4.2.1. Construcción de la base del mecanismo 2

La construcción de esta pieza mecánica se realizó en base al diseño especificado en el capítulo 3 en el software CAD, luego se exportó el archivo CAD a un formato STL, a continuación se importó el archivo STL al software XYZ ware de la impresora 3D, calibramos la impresora, se configura la impresora con los siguientes datos: densidad 50 %, resolución 0.2 mm, para finalmente enviar a imprimir;

la impresora tardó 3 horas en finalizar la impresión obteniendo los siguientes resultados.



FIGURA No. 219: Base mecanismo 2

4.2.2. Construcción de la pieza para el movimiento en el eje X y Y del mecanismo 2

La construcción de esta pieza mecánica se realizó en base al diseño especificado en el capítulo 3 en el software CAD, luego se exportó el archivo CAD a un formato STL, a continuación se importó el archivo STL al software XYZ ware de la impresora 3D, calibramos la impresora, se configura la impresora con los siguientes datos: densidad 50 %, resolución 0.2 mm, para finalmente enviar a imprimir; la impresora tardó 2 horas y 30 minutos en finalizar la impresión obteniendo los siguientes resultados.



FIGURA No. 220: Mecanismo eje X e Y

4.3. Construcción del mecanismo 3

Para la construcción del mecanismo 3 se siguió una serie de pasos, comenzando por el diseño CAD de las piezas mecánicas que se especifica en el capítulo 3, continuando con la impresión de las piezas en plástico PLA en una impresora 3D. Una vez concluida la parte mecánica, se procede a instalar los componentes eléctricos y electrónicos, los cuales mediante programación realizarán el control deseado sobre la cámara del drone.

El mecanismo 3 está compuesto por 5 piezas (base, mecanismo para eje X e Y, suspensión del sensor y batería, tapa del servo y micro servo) las cuales están diseñadas para soportar la cámara y los elementos electrónicos que conforman el estabilizador. Cada uno de estos pasos se detalla a continuación.

4.3.1. Construcción de la base del mecanismo 3

La construcción de esta pieza mecánica se realizó en base al diseño especificado en el capítulo 3 en el software CAD, luego se exportó el archivo CAD a un formato STL, a continuación se importó el archivo STL al software XYZ ware de la impresora 3D, calibramos

la impresora, se configura la impresora con los siguientes datos: densidad 60 %, resolución 0.2 mm, para finalmente enviar a imprimir; la impresora tardó 4 horas y 46 minutos en finalizar la impresión obteniendo los siguientes resultados.



FIGURA No. 221: Base mecanismo 3

4.3.2. Construcción de la pieza para el movimiento en el eje X y Y del mecanismo 3

La construcción de esta pieza mecánica se realizó en base al diseño especificado en el capítulo 3 en el software CAD, luego se exportó el archivo CAD a un formato STL, a continuación se importó el archivo STL al software XYZ ware de la impresora 3D, calibramos la impresora, se configura la impresora con los siguientes datos: densidad 60 %, resolución 0.2 mm, para finalmente enviar a imprimir; la impresora tardó 4 horas y 10 minutos en finalizar la impresión obteniendo los siguientes resultados.



FIGURA No. 222: Mecanismo eje X e Y

4.3.3. Construcción de la pieza para la sujeción del sensor y la batería del mecanismo 3

La construcción de esta pieza mecánica se realizó en base al diseño especificado en el capítulo 3 en el software CAD, luego se exportó el archivo de CAD a un formato STL, a continuación se importó el archivo 5STL al software XYZ ware de la impresora 3D, calibramos la impresora, se configura la impresora con los siguientes datos: densidad 60 %, resolución 0.2 mm, para finalmente enviar a imprimir; la impresora tardó 5 horas y 10 minutos en finalizar la impresión obteniendo los siguientes resultados.



FIGURA No. 223: Mecanismo de sujeción

4.3.4. Construcción de las tapas para el servo y micro servomotor del mecanismo 3

La construcción de esta pieza mecánica se realizó en base al diseño especificado en el capítulo 3 en el software CAD, luego se exportó el archivo de CAD a un formato STL, a continuación se importó el archivo STL al software XYZ ware de la impresora 3D, calibramos la impresora, se configura la impresora con los siguientes datos: densidad 60 %, resolución 0.2 mm, para finalmente enviar a imprimir; la impresora tardó 40 minutos cada una en finalizar la impresión obteniendo los siguientes resultados.



FIGURA No. 224: Tapa Micro servomotor

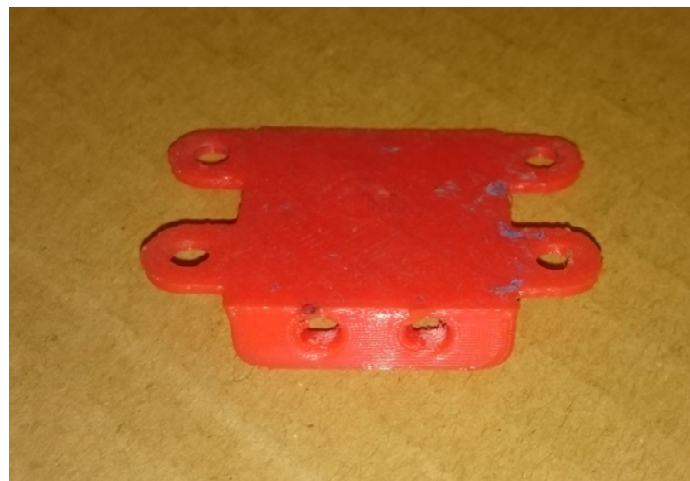


FIGURA No. 225: Tapa Servomotor

4.3.5. Instalación de servomotores

Para la instalación del servomotor y microservo se realizaron compartimientos en la base para el servomotor y en la pieza para el movimiento en el eje X e Y para el microservo.

El servomotor es colocado en el compartimiento de la base, y es asegurado con su respectiva tapa y 8 pernos lo cual asegura perfectamente al servomotor impidiendo así vibraciones cuando este esté en funcionamiento.



FIGURA No. 226: Servomotor colocado en la base

El microservo es colocado en el compartimiento de la pieza para el movimiento en el eje X e Y, y es asegurado con su respectiva tapa y 4 tornillos lo cual asegura perfectamente al microservo impidiendo así vibraciones cuando este esté en funcionamiento.

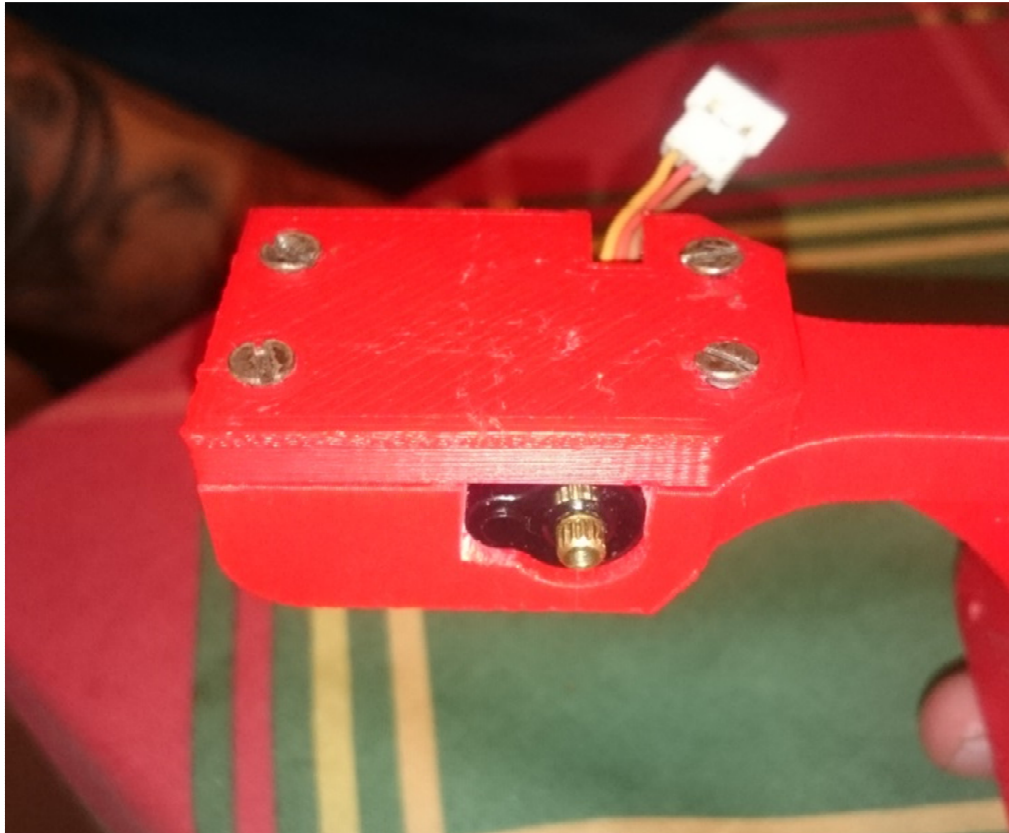


FIGURA No. 227: Ubicación del micro servomotor

4.3.6. Ensamble mecánico y de la cámara

Una vez instalado el servomotor y el microservo se procede a ensamblar la base con la pieza para el movimiento del eje X e Y.

Al servomotor en la base se le coloca un accesorio que podemos ver en la figura 245, este accesorio se una con la pieza para el movimiento en el eje X e Y mediante dos tornillos quedando así juntas las piezas de la base y del eje X e Y.



FIGURA No. 228: Ensamble de piezas principales

El ensamble de la cámara se lo realiza mediante acople directo del eje del micro servo con la cámara permitiendo así una buena sujeción de esta y además el movimiento en el eje Y.



FIGURA No. 229: Ensamble de la cámara del drone

4.3.7. Instalación del circuito de control

El circuito de control (Arduino nano) fue montado sobre un soporte rectangular realizado en la base del estabilizador. En él se realizaron perforaciones donde se montó y aseguró el Arduino nano. Evitando de esta forma que sean afectados por vibraciones o movimientos bruscos del drone.

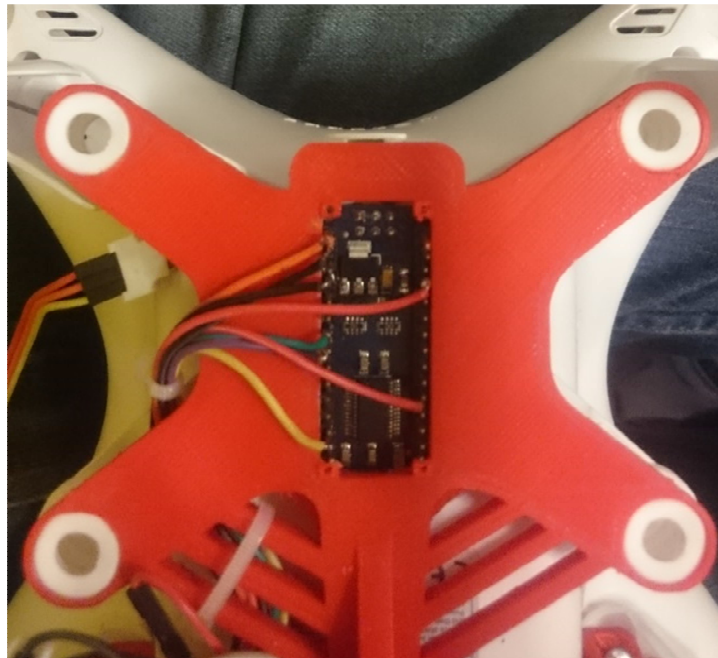


FIGURA No. 230: Instalación de Arduino nano

Además se coloca el acelerómetro en la pieza para la sujeción del sensor y la batería la cual posee un compartimiento donde el acelerómetro queda perfectamente colocado, este compartimiento posee un canal donde pasarán los cables del acelerómetro para conectarse directamente con la tarjeta Arduino nano.

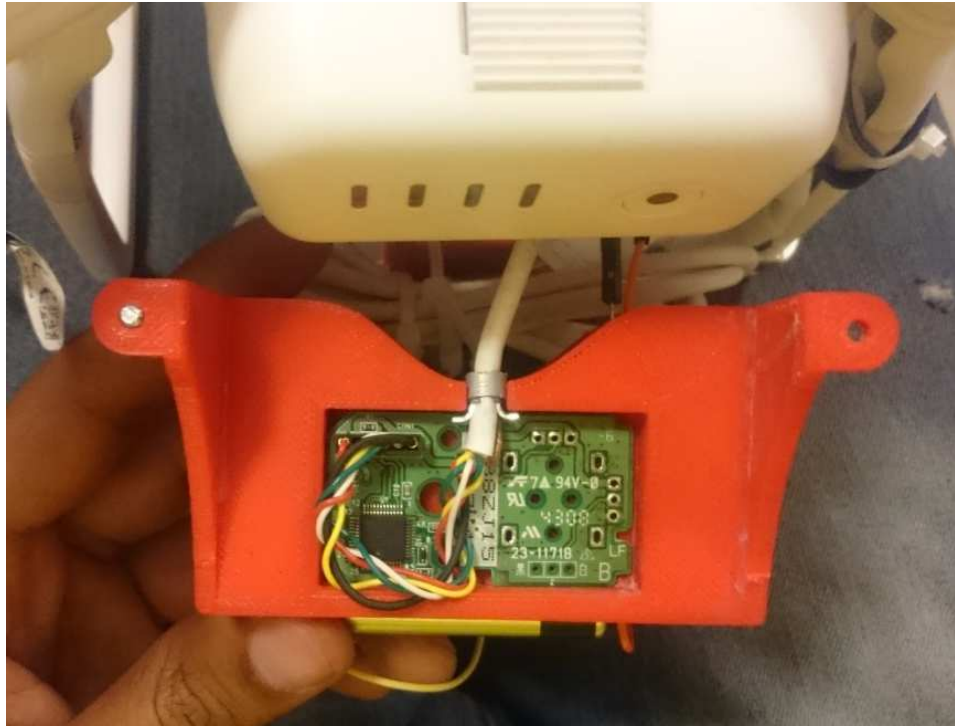


FIGURA No. 231: Instalación del acelerómetro

Las conexiones del circuito de control se presentan en el anexo A1

4.3.8. Suministro energético

La batería que alimenta el circuito de control de motores se localiza debajo de la batería inteligente del drone en la pieza para la sujeción del sensor y la batería, consiguiendo con ello distribuir el peso de forma uniforme. La batería tiene sujeción mediante fricción con la pieza para la sujeción del sensor y la batería.



FIGURA No. 232: Suministro energético

4.3.9. Cableado

El cableado es muy importante para identificar cada cable, saber en dónde debe ser colocado y no cometer errores en la conexión, evitando inutilizar cualquier circuito ya que puede darse confusiones y producir cortocircuitos. El cableado del estabilizador para el drone está recubierto por una enredadera que evita el movimiento de estos y además mejora la estética del estabilizador.

4.3.10 Instalaciones de protecciones de seguridad

La protección contra cualquier incidente es una prioridad para evitar accidentes y afectar la integridad de una persona por lo que se adaptaron unos protectores a las hélices los cuales protegen de accidentes a las personas y resguardan el estado de las hélices. La segunda prioridad es evitar daños en el estabilizador, que pueden producirse por un manejo inadecuado del estabilizador o un descontrol del mismo. Por esos motivos se ha colocado un switch de encendido.

4.4 Pruebas y Resultados

Las pruebas del estabilizador para el drone, se llevaron a cabo una vez concluida su construcción física y finalizado el control, para poder evaluar su funcionamiento en diversas situaciones. Todas las pruebas fueron realizadas en los patios de la universidad.

Antes de instalar el estabilizador en el drone, la cámara de este obtenía tomas giradas como las mostradas en las figuras 233 y 234.



FIGURA No. 233: Toma 1 de la cámara del drone sin estabilizador



FIGURA No. 234: Toma 2 de la cámara del drone sin estabilizador

4.4.1. Pruebas y resultados del mecanismo 1

Las pruebas para el mecanismo 1 tuvieron como objetivo verificar si las tomas realizadas con la cámara del drone eran estables, para esta prueba se realizaron tres vuelos de 5 minutos cada uno con el mecanismo instalado en el drone.

Luego de realizar las pruebas se observa que la pieza para el movimiento del eje X choca con las bases del drone y el servomotor que se coloca en esta pieza es muy grande y pesado para la estructura, en las tomas se nota que la cámara vibra mucho presuntamente porque los nervios de soporte de las piezas son muy pequeños, otros de los factores que consideramos erróneos y afectaron el funcionamiento del mecanismo es la densidad ya que esta fue muy baja y la resistencia de las piezas no era buena.

4.4.2. Pruebas y resultados del mecanismo 2

Para realizar estas pruebas se realizaron las siguientes modificaciones al mecanismo: se aumentó la densidad de las piezas, se aumentaron los tamaños de los nervios de soporte y se rediseñó la pieza para el movimiento del eje x y la pieza para el movimiento del eje Y realizando una sola pieza que permite el movimiento de la cámara en estos dos ejes.

Las pruebas para el mecanismo 2 tuvieron como objetivo verificar si las tomas realizadas con la cámara del drone eran estables, para esta prueba se realizaron igualmente tres vuelos de 5 minutos cada uno con el mecanismo instalado en el drone.

Las pruebas demuestran que las modificaciones realizadas mejoraron el desempeño del estabilizador pero aún no se obtuvieron los resultados esperados ya que las tomas de la cámara muestran vibración debido a que el acelerómetro se encuentra en la base del estabilizador y esta se mueve debido a los amortiguadores que tiene, además este sensor es muy sensible y el viento que choca con él en

cada vuelo produce que el sensor reaccione. La vibración de la cámara también es producida por la estructura de la base ya que existen algunos lugares que necesitan ser reforzados.

4.4.3. Pruebas y resultados del mecanismo 3

Para realizar estas pruebas se realizaron las siguientes modificaciones al mecanismo: se aumentó la densidad de las piezas y se cambió la estructura de la base por una que posee más soportes y es más resistente, se diseñó una pieza donde se coloca el acelerómetro y no permite que éste choque con el viento, además esta pieza no sufre de vibraciones ya que va sujeta a la estructura más robusta del drone.

Las pruebas para el mecanismo 3 tuvieron como objetivo verificar si las tomas realizadas con la cámara del drone eran estables, para esta prueba se realizaron 5 vuelos de 5 minutos cada uno con el mecanismo instalado en el drone.

Las pruebas demuestran que las modificaciones realizadas mejoraron considerablemente el desempeño del estabilizador obteniendo así los resultados esperados en las tomas realizadas por la cámara, como se puede observar en la figura 235.



FIGURA No. 235: Toma de la cámara del drone con estabilizador

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de la culminación del proyecto. Además se plantea las posibles investigaciones que se pueden realizar a futuro, generadas por diferentes necesidades que se las han encontrado a lo largo de la elaboración del trabajo

5.1. Conclusiones

- Se diseñó y construyó exitosamente un mecanismo estabilizador para el control de la cámara de un dron. El estabilizador es capaz de controlar hasta 180 grados en el eje X y 180 grados en el eje Y, a pesar de que el dron mientras esta en el aire solo puede girar hasta 35 grados. El mecanismo es robusto resistente al polvo y a lluvia moderada.
- Al momento de controlar el giro de la cámara por acción de los actuadores, se logró controlar la imagen manteniendo a la misma estable y presentando una mejora en las tomas aéreas.
- Por acción del acelerómetro y la programación realizada en el microcontrolador (Arduino NANO) se logró controlar los dos servomotores permitiendo controlar continuamente la posición del mecanismo dentro del entorno físico de su aplicación.
- Se logró garantizar la seguridad del usuario mediante la impresión de unos protectores que se encuentran localizados en cada uno de los motores del dron, evitando que las aspas del mismo causen algún tipo de lesión al usuario.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que la impresión del material sea en NAYLON, puesto que este material engloba la mayoría de características requeridas al momento de hablar de peso y resistencia mecánica.
- Se recomienda que al momento de imprimir las piezas deseadas estas tengan una densidad mediana o alta, la densidad recomendada para las piezas es alta del 60%, puesto que al estar las piezas expuestas a corrientes de aire se necesita que las mismas no vibren puesto que al vibrar afectan la toma de datos del sensor.
- Se recomienda tomar clases de vuelo de drones para no afectar la integridad física tanto del drone como del estabilizador.
- Se recomienda no añadir peso al drone puesto que este puede cargar hasta un peso límite de 1300gr.
- Se recomienda hacer vaciados en posteriores estructuras las cuales no afecten la robustez del diseño pero que a la vez ayuden aliviar el peso de mecanismo estabilizador.

Bibliografía

- Arduino SA. (2013). Obtenido de Jameco:
<http://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html>
- Arduino SA. (24 de Enero de 2014). *Arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/es/>
- Autores, L. (2015). Proyecto de Titulación. Obtenido de https://www.google.com.ec/search?q=PLAYO&espv=2&biw=1364&bih=707&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI6_jAq-aXyQIVyDsmCh3B6Qth#imgrc=JTGUqSGwTCzdBM%3A
- Davis, J., & Reese, R. (2008). *Finite State Machine - Datapath Design, Optimization, and Implementation*. Dallas: Morgan & Claypool Publishers.
- Drones. (2015). Obtenido de TecnoPasion:
<http://www.tecnopasion.com/prohibidos-los-drones-en-bodas-playas-conciertos-y-manifestaciones-15936/>
- Hassan M., Y., & Herrero S., V. (2007). Eye - Tracking en Interacción Persona - Ordenador. *Revista sobre personas, diseño y tecnología (ISSN 1886-8592)*.
- Bosch., (2015). *Herramientas de mano*. Obtenido de https://www.google.com.ec/search?q=sistema+de+referencia&espv=2&biw=1364&bih=707&source=Inms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMIobGVkN2DyAIVQx4eCh3-gQiv#tbm=isch&q=almohadillas+phantom+2&imgrc=JZWb6EIKTgG4NM%3A
- Katsuhiko, O. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Del Este : Universidad de la República, Alto Panama.

- Lanniser, S. (2015). *Raspberrypi - Comunidad en español*. Obtenido de <http://www.raspberrypi-es.com/2013/04/>
- Nunchuck Wii.,(2015). *Acelerometros*. Obtenido de https://www.google.com.ec/search?q=sistema+de+referencia&espv=2&biw=1364&bih=707&source=Inms&tbm=isch&sa=X&sqj=2&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMIobGVkN2DyAIVQx4eCh3-gQiv#tbm=isch&q=almohadillas+phantom+2&imgrc=oQ9AvqA7QAUAjM%3A
- Minns, P., & Elliot, I. (2008). *FSM based Digital Design using Verilog HDL*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Myska. (2010). *MÁQUINAS Y MECANISMOS*. PEARSON.
- Pallas, R. (2005). *Sensores y Acondicionamiento* . Mexico: Marcongo . Obtenido de <http://www.robotnik.es/robots-moviles/summit-x/>
- Pololu. (27 de Enero de 2014). *Serial 8-Servo Controller*. Obtenido de User's Guide: <http://www.pololu.com>
- Siegwart, R. (2011). *Autonomous Mobile Robots*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Siemens. (2013). *Siemes Sensor, The Power of Dreams*. Obtenido de <http://www.siemens.com>
- Standford Research Institute. (2015). *Artificial Intelligence Ceneter*. Obtenido de www.ai.sri.com/shakey/
- Systems, C. W. (2015). *Wheelift Systems*. Obtenido de http://www.wheelift.com/agv_systems.html
- Tamayo, M. L., & Bernal, J. (1998). *Alteraciones visuales y auditivas de origen genético*. Centro Editorial Javeriano.
- Tecnologia de Plasticos. (1991). *The Robotics Institute - Dante II*. Obtenido de

https://www.google.com.ec/search?q=temperatura+de+plasticos&espv=2&biw=1364&bih=707&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI5aqNmeSXyQIVBWQmCh378Ast#imgrc=gfbDnTk4k2zpPM%3A

- Wheat, D. (2011). *Arduino Internals*. New York: Apress.

ANEXOS

A1: DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

A2: VISTA ISOMÉTRICA DE PIEZAS MECÁNICAS

A3: DATASHEETS

A4: Programación