

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DOLLY AUTOMATIZADO DE BAJO
COSTO PARA CÁMARAS DSLR**

HÉCTOR EMILIO SAAVEDRA SEGURA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2017**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DOLLY AUTOMATIZADO DE BAJO
COSTO PARA CÁMARAS DSLR**

HÉCTOR EMILIO SAAVEDRA SEGURA

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

**Director
DIEGO FERNANDO ALMARIO
Ingeniero Electrónico
Magister en Automática**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2017**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

ALVARO JOSE ROJAS ARCINIEGAS

Jurado

VICTOR ROMERO CANO

Jurado

Santiago de Cali, 19 de Mayo de 2017

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le agradezco a Dios por darme las fuerzas para desarrollar este proyecto a pesar de todas las dificultades económicas y familiares que se presentaron. Doy enteramente gracias a mi familia, a mis padres Judith Segura, Freddy Saavedra y a mi hermana Wendy Giovanna por su apoyo incondicional, para los momentos más críticos, por su paciencia y cuidados durante mi carrera, doy gracias porque sin ustedes no hubiese sido posible terminar mi formación profesional. A mi abuela Elena Valverde, gracias por sus consejos de vida y experiencia que nunca estuvieron de más durante toda mi carrera profesional.

A la Casa de Oración Iglesia del Nazareno, por permitirme utilizar sus equipos y espacios para la elaboración de este trabajo de grado. A Daniel Vesga, por sus consejos sabios sobre producción audiovisual, por depositar su confianza en mí para las herramientas físicas que necesité, muchas gracias.

Al docente Álvaro Rojas, por sus buenas enseñanzas académicas que aportaron un conocimiento valioso para el desarrollo del proyecto. A Diego Almario, por su colaboración y guías acertadas para permitir la correcta elaboración y culminación de este trabajo de grado. Gracias por todo.

Al compañero Giancarlo Bravo por toda la ayuda e ideas acertadas y recibidas durante el comienzo, desarrollo y finalización de este proyecto. Muchísimas gracias por el apoyo desinteresado e incondicional.

Por último, el agradecimiento más importante a Amanda Osorio, por creer en mí, por plantar esa idea en mis pensamientos, que hoy creció como trabajo de grado por su paciencia, cariño, comprensión y apoyo, durante todo el proceso de elaboración, por sus ideas, motivaciones y aportes gigantes que brindó para crear y mantener este proyecto vivo, sin su compañía jamás hubiese sido posible desarrollar este trabajo de grado que hoy me permite culminar una etapa más en mi vida. A ella, infinitas gracias y amor.

A cada uno de los mencionados, Dios los Bendiga...

CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	1
RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. OBJETIVOS	9
3.1. OBJETIVO GENERAL	9
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	9
4. MARCO DE REFERENCIA	10
4.1. ANTECEDENTES	10
4.2. MARCO TEÓRICO	12
4.2.1. Cámara Dsrl	18
4.2.2. Estabilizadores de cámara de video	18
4.2.2.1. Gimbal	19
4.2.2.2. Steadycam	20
5. METODOLOGÍA	21

6. DESARROLLO DEL PROYECTO	23
6.1.PLANEACIÓN DEL PRODUCTO	23
6.1.1. Descripción del producto	23
6.1.2. Propuesta de valor	23
6.1.3. Objetivos clave de negocio	23
6.1.4. Mercado primario y secundario	23
6.1.5. Suposiciones y restricciones	24
6.1.6. Involucrados	24
6.1.7. Participantes	25
6.2.IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES	26
6.2.1. Determinaciones de las necesidades	26
6.2.1.1. Necesidades obtenidas	27
6.3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO	28
6.3.1. Lista de métricas	28
6.3.2. QFD	30
6.3.3. Especificaciones obtenidas de comparaciones con la competencia	34
6.3.3.1. Valores marginales o ideales	36
6.4.GENERACIÓN DEL CONCEPTO	36
6.4.1. Aclarar el problema	37
6.4.2. Búsqueda interna – externa	39
6.4.3. Exploración Sistemática	50

6.5.DISEÑO CONCURRENTE	54
6.5.1. Pruebas	56
6.6.PLANEACIÓN DE PROTOTIPADO	57
6.7.SELECCIÓN DEL CONCEPTO	58
6.8.ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	61
6.9.DISEÑO DETALLADO	63
6.9.1. Diseño para manufactura	63
6.9.1.1. Diseño para manufactura parte superior	64
6.9.1.2. Diseño para manufactura parte inferior	68
6.9.2. Diseño para ensamble	69
6.9.2.1. Diseño para ensamble de la parte superior	69
6.9.2.2. Diseño para ensamble de la parte inferior.	71
6.9.3. Árbol de ensamble	72
6.9.3.1. Árbol de ensamble de la parte superior	72
6.9.3.2. Árbol de ensamble de la parte inferior	73
6.9.4. Diseño industrial	73
7. PROTOTIPO	75
7.1.MATERIALES DEL PROTOTIPO.	75
7.2.COMPONENTES DEL PROTOTIPO	75
7.2.1. Componentes de la parte superior	75
7.2.2. Sistema de acople entre la parte superior y la parte inferior	82
7.2.3. Componentes de la parte inferior	86

7.3.DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO ARMADO	94
7.3.1. Integración de Sistemas	95
7.4.RESULTADOS Y VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO	105
8. ANÁLISIS ECÓNOMICO DEL PRODUCTO	112
8.1. ANÁLISIS DE PRECIO DE VENTA Y FABRICACIÓN DE BAJO COSTO	115
9. RECOMENDACIONES	116
10. CONCLUSIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	119
ANEXOS	124

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Preguntas abiertas para la entrevista.	26
Cuadro 2. Relación de las necesidades métricas con las necesidades obtenidas.	30
Cuadro 3. Parte central del QFD.	31
Cuadro 4. Simbologías de correlación y preferencia.	31
Cuadro 5. Parte superior. Matriz de correlaciones. Métricas Vs Métricas	32
Cuadro 6. Parte derecha. Evaluación competitiva	32
Cuadro 7. Parte inferior. Determinación de las necesidades métricas más importantes	33
Cuadro 8. Método de generación de conceptos de cinco pasos descrito en el libro.	37
Cuadro 9. a) Caja negra del producto. b) Diagrama de sub-funciones de la caja negra.	38
Cuadro 10. Tabla de combinación de conceptos.	51
Cuadro 11. Conceptos generados	51
Cuadro 12. Resultados de combinaciones de conceptos.	59
Cuadro 13. Árbol de ensamble parte superior con indicadores.	72
Cuadro 14. Árbol de ensamble parte inferior con indicadores.	73
Cuadro 15. Resumen de diseño industrial.	74
Cuadro 16. Prueba de validación para peso.	106
Cuadro 17. Prueba de validación para el tiempo de armado.	106

Cuadro 18. Prueba de validación para la velocidad de avance/retroceso.	107
Cuadro 19. Prueba de validación para la capacidad de batería.	108
Cuadro 20. Prueba de validación para rosca universal.	108
Cuadro 21. Prueba de validación para bluetooth	109
Cuadro 22. Prueba de validación para el giroscopio.	109
Cuadro 23. Prueba de validación para la platina de acople.	110
Cuadro 24. Prueba de validación de las herramientas para el mantenimiento.	110
Cuadro 25. Prueba de validación para el torque.	111
Cuadro 26. Prueba de validación para la potencia de consumo.	111
Cuadro 27. QFD Métricas Vs Subsistemas.	113
Cuadro 28. Porcentaje de precios.	114

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Precios en dólares de travelling para equipos estándar	6
Figura 2. Precio en dólares de travelling para equipos especializados	6
Figura 3. Precio en dólares para travelling manual para cámaras DSLR	7
Figura 4. Mini Dolly (travelling) para cámaras DSLR	12
Figura 5. Operario realizando Dolly Zoom	13
Figura 6. Explicación del movimiento de travelling.	15
Figura 7. Dolly cinematográfico, con tres operarios.	16
Figura 8. Mini Dolly manual para cámara DSLR sin raíles y base de superficie lisa.	17
Figura 9. Chaleco estabilizador	19
Figura 10. Gimbal for Sony Nex5/7 and Panasonic GH2.	20
Figura 11. Steadycam	20
Figura 12. Proceso de desarrollo del producto	21
Figura 13. Cadena de valor para el proyecto.	24
Figura 14. Dolly motorizado. Lil-Mule.	34
Figura 15. Deslizador para cámaras. Revolve Slider.	34
Figura 16. Producto disímil. Steadycam Merlin.	35
Figura 17. Dolly sin rieles (estándar).	35
Figura 18. Sistema de liberación rápida.	42

Figura 19. Accesorio de cabeza gimbal	42
Figura 20. Plataforma de Trípode.	43
Figura 21. Cabezal de tripié	43
Figura 22. Brazos Horizontales	44
Figura 23. Concepto #1	52
Figura 24. Concepto #2	53
Figura 25. Concepto #3	53
Figura 26. Concepto #4	54
Figura 27. Estructura de un coche RC	54
Figura 28. Configuración electrónica para un motor brushless	56
Figura 29. Organización a trozos de los elementos funcionales y físicos	61
Figura 30. Relación directa entre los elementos físicos y funcionales	62
Figura 31. Tarjeta de control SBGC modelado en 3D.	76
Figura 32. Conexiones externas más relevantes de la tarjeta de control.	76
Figura 33. Dimensiones en mm de la tarjeta SBGC.	77
Figura 34. Sensor IMU de 6 grados de libertad.	78
Figura 35. Motor brushless GBM5208	79
Figura 36. Bluetooth HC-05	80
Figura 37. Pro Trinket 3V	81
Figura 38. Aislador compacto de cable.	83
Figura 39. Respuesta de un aislador con respecto a un peso en	84

libras.

Figura 40. Ubicación de las dimensiones del aislador.	85
Figura 41. Orientación de los aisladores dependiendo de la dirección de la fuerza	85
Figura 42. Modelo 3D de la parte inferior	86
Figura 43. Amortiguadores RC	87
Figura 44. Neumáticos RC	87
Figura 45. Arduino UNO	88
Figura 46. Joystick Shield Module	89
Figura 47. Sparkfun Monster Moto Shield.	90
Figura 48. Motorreductor DC	91
Figura 49. Batería LiPo.	93
Figura 50. Consumo energético A) Voltaje aplicado a sistema de estabilización. B) Corriente pedida por el sistema a la fuente de voltaje.	94
Figura 51. Conexiones del sistema de estabilización.	97
Figura 52. Conexión de la tarjeta SBGC para la comunicación.	97
Figura 53. Conexiones para circuito transmisor para control de rotación.	98
Figura 54. Conexiones para circuito transmisor para control de traslación	98
Figura 55. Conexiones para circuito receptor para control de traslación	99

Figura 56. A). Posición opcional y recomendada de los sensores. Frame IMU (Sensor para la estructura), Camera IMU (Sensor para la cámara). B). Posicion correcta del sensor IMU	101
Figura 57. Interfaz gráfica del Software para la tarjeta SBGC	101
Figura 58. Cuadro de control PID	102
Figura 59. Sistema lazo cerrado del proyecto	102
Figura 60. Cámara balanceada usando solo su centro de gravedad.	103
Figura 61. Grafica en tiempo real de los valores del Gyro y acelerómetro	103
Figura 62. Valores para la alimentación de los motores.	103
Figura 63. Calibración de la orientación de los sensores.	104
Figura 64. Orientación en tiempo real del sensor para la cámara.	104
Figura 65. Calibración de los sensores para balance de la cámara.	104
Figura 66. Prioridad Relativa Vs Costos Relativos	114

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Resumen de la planeación del producto	25
Tabla 2. Resumen de los resultados de las entrevistas junto con las necesidades interpretadas.	27
Tabla 3. Necesidades obtenidas para el producto.	28
Tabla 4. Necesidades métricas.	29
Tabla 5. Valores de las unidades métricas con respecto a cada producto	36
Tabla 6. Tabla de clases de Bluetooth.	44
Tabla 7. Planeación de prototipo	57
Tabla 8. Matriz de selección de conceptos.	58
Tabla 9. Refinamiento de la matriz de selección de concepto.	59
Tabla 10. Matriz de evaluación de conceptos	60
Tabla 11. Parte superior con niveles de sub-ensamble.	64
Tabla 12. Parte inferior con niveles de sub-ensamble.	68
Tabla 13. Diseño para ensamble de la parte superior con tiempos de operación.	69
Tabla 14. Resumen de estadísticas de la parte superior del diseño para ensamble.	70
Tabla 15. Diseño para ensamble de la parte inferior con tiempos de operación.	71
Tabla 16. Resumen de estadísticas de la parte inferior del diseño para ensamble.	71
Tabla 17. Especificaciones técnicas de la tarjeta SBGC.	77

Tabla 18. Especificaciones técnicas del sensor MPU – 6050.	79
Tabla 19. Dimensiones del aislador según modelo elegido.	84
Tabla 20. Precios de componentes	112

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Diseño completo #1 realizado en SolidWorks	124
Anexo B. Diseño completo #2 realizado en SolidWorks	125
Anexo C. Diseño completo #3 realizado en SolidWorks	125
Anexo D. Diseño realizado en SolidWorks para la parte superior	126
Anexo E. Estructura para paneo	127
Anexo F. Esquinero	128
Anexo G. Estructura para roll.	129
Anexo H. Estructura para la inclinación.	130
Anexo I. Soporte de tubo base para cámara.	131
Anexo J. Diseño realizado en SolidWorks para la parte inferior.	132
Anexo K. Ejes de unión.	133
Anexo L. Placa inferior.	134
Anexo M. Placa Superior	135
Anexo N. Placa de acople.	135
Anexo O. Placa de soporte #2.	136
Anexo P. Placa de Soporte	136
Anexo Q. Sistema superior del prototipo trabajado inicialmente con acrílico, plástico y aluminio.	137
Anexo R. Sistema superior del prototipo trabajado finalmente con Fibra de carbono.	139
Anexo S. Sistema de acople entre la parte superior e inferior	139

conjunto con el sistema de anti vibración.

Anexo T. Unidad compacta del sistema anti vibración. 140

Anexo U. Placas superior e inferior. 141

Anexo V. Piezas de la parte inferior trabajadas en acrílico. 141

Anexo W. Especificaciones técnicas del Dispositivo 142

Anexo X. Manual de usuario (CD-ROM) 143

GLOSARIO

Benchmarking: Es una técnica o herramienta de gestión que consiste en tomar como referencia los mejores aspectos o prácticas de otras empresas, ya sean competidoras directas o pertenecientes a otro sector.

Dolly: Acercamiento o alejamiento a través de un mecanismo físico, hacia adelante (in) o hacia atrás (out), en línea recta; similar al zoom.

Dslr: Las cámaras réflex digitales, también llamadas DSLR (Digital-SLR, con SLR del inglés Single lens reflex), son un tipo de cámara fotográfica del tipo réflex de único objetivo (SLR)

Pan: (Paneo). La cámara gira sobre su propio eje (de derecha a izquierda o viceversa).

Réflex: Es una cámara fotográfica en la que el usuario (el fotógrafo) ve directamente la imagen que va a fotografiar a través de un visor óptico sin ninguna clase de error de paralaje.

Roll: Movimiento el cual se rota la cámara haciendo que el horizonte caiga.

Tilt: (arriba/abajo), (inclinación). Movimiento de la cámara el cual, su cuerpo se mantiene en un punto fijo pero su lente va hacia arriba o hacia abajo.

Timelapse: Es un tipo de técnica en la que se capturan imágenes que suceden a velocidades muy lentas y que ni si quiera los ojos humanos pueden llegar a percibirlos a simple vista

Toma: Fragmento de película (varios fotogramas) que corren en la cámara, entre la puesta en marcha del motor y su detención. Cada una de que se rueda un mismo plano.

RESUMEN

Este proyecto presenta un dispositivo especialmente diseñado para cámaras dslr o réflex con el fin de realizar tomas de video totalmente estables y sin contacto humano directo. Se realiza un proceso de investigación y diseño mecatrónico para establecer los parámetros necesarios para comenzar la elaboración de este.

El proceso va desde la recolección de datos a través de encuestas, documentos en línea y búsquedas electrónicas que permiten generar unos conceptos como punto de partida para el desarrollo del proyecto teniendo en cuenta que es un proyecto de bajo costo en fabricación, para luego establecer una relación entre estos conceptos, para determinar que conjuntos son los más adecuados para suplir unas necesidades, que se obtienen desde un planteamiento del problema.

Luego se elabora un diseño para desarrollar un prototipo que permita comprobar si el objetivo del producto estuviese correctamente planteado.

Finalmente se desarrolla un sistema de rotación que permite estabilizar la cámara y a su vez controlar su movimiento rotacional y un sistema de traslación que permite desplazar todo el prototipo junto con la cámara, cumpliendo y mejorando las funciones que un dolly presenta. Todo esto trabajado con los materiales que generaran los menos costos posibles pero que a su vez cumplan con los objetivos planteados.

PALABRAS CLAVE: Diseño y desarrollo de producto, Producción audiovisual, bajo costo

INTRODUCCIÓN

Hoy en día los medios audiovisuales están cada vez más al alcance de las personas del común, a través del uso de equipos de bajo costo como lo son las cámaras DSLR de gama semi-profesional, haciendo que la creación de piezas audiovisuales no se limite a un grupo selecto.

El presente proyecto de grado busca brindar una herramienta de uso profesional de bajo costo en su fabricación, para que esté al alcance de realizadores audiovisuales aficionados o principiantes hasta productores experimentados, para la realización de comerciales, videos musicales, documentales, cortometrajes, crónicas, videos institucionales etc... que requieren una alta calidad, permitiendo fusionar elementos tecnológicos y piezas de bajo costo, que logren crear una herramienta automatizable que transfiera tareas de producción que son realizadas normalmente por operadores humanos, mejorando la productividad, las condiciones de trabajo y simplificando acciones complejas, cumpliendo con altos estándares de calidad, todo esto para integrar dos medios que son la producción audiovisual y la ingeniería.

El desarrollo de este proyecto se realizó por el interés de abrir paso a tecnologías de innovación al alcance de realizadores audiovisuales que ven desde lejos y con altos costos un producto automatizado.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Muchas de las empresas, trabajadores y estudiantes de los medios audiovisuales, están optando hoy en día por adquirir cámaras DSLR o réflex que son mucho más económicas, livianas y portables a comparación de las video cámaras profesionales, para presentar sus trabajos audiovisuales. El problema que se presenta para generar una muy buena producción audiovisual, es que estas cámaras requieren de muchos aditamentos costosos, además de la pericia de su operador, por ejemplo, una de las formas de grabación que más son apreciadas y utilizadas en muchos programas y videos, son las famosas tomas Timelapse. Estas tomas solo se logran si el operador de cámara mantiene buena estabilidad, precisión y lentitud para realizarlas. Precisamente por su complejidad, existen dispositivos manuales llamados Dolly que permiten hacer este tipo de tomas.

Estos dispositivos no siempre son cómodos y su uso es manual, es decir que la mayoría no vienen automatizados, lo que genera imperfecciones en los videos al quedar con movimientos bruscos y poco fluidos por el contacto humano, muchos de estos son hechos para video cámaras y no para DSLR, dificultando a realizadores audiovisuales, productores experimentados, aficionados y principiantes acceder a una perfecta toma de video por sus altos costos.

Este problema va enfocado directa y específicamente a los realizadores y empresas audiovisuales que no poseen los recursos suficientes para adquirir este tipo de dispositivos. Por eso muchos de los que incursionan en este campo y que quieren mejorar en cuestión de producción, ven limitados sus trabajos debido a los altos costos que se manejan.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Del planteamiento del problema surge la siguiente pregunta: ¿Cómo realizar un Dolly automatizado de bajo costo en fabricación para producciones audiovisuales?

2. JUSTIFICACIÓN

Según Reina¹, la producción audiovisual y la industria cinematográfica en estos últimos años han tenido un impulso y un crecimiento más grande a nivel nacional. Pasaron de rodar 3 películas por cada año, a finales de 2012 proyectar 22 rodajes. Las asistencias a películas colombianas pasaron de un 3.3% a un 7,8%, un aproximado de 40 millones de espectadores.

Todo esto debido a que desde el 2003 se estableció la ley de cine (ley 814), a través del Ministerio de Cultura. Esta ley ha logrado que la producción audiovisual nacional crezca cada vez más gracias a incentivos tributarios. Igualmente la ley crea el Fondo para el Desarrollo cinematográfico, que va desde invertir en un proyecto cinematográfico nacional hasta recursos que salen del impuesto a las taquillas de cine en donde el 70% se entregan a nuevos proyectos cinematográficos a través de convocatorias. Este fondo ha recaudado en esta década alrededor de 41 millones de dólares, que se han invertido en la realización de más de mil proyectos.

Estas nuevas condiciones supusieron dejar atrás el drama que significó hacer cine para las primeras generaciones de realizadores colombianos, quienes luego de empeñar hasta la finca de la abuela y de luchar por cinco o más años, lograban, por fin, hacer la película que tanto habían soñado, muchas veces en precarias condiciones técnicas y pérdidas onerosas.

Sumándose también a esta ley, se crea la Ley No. 1556 el 9 de julio de 2012 que dicta: “Por lo cual se fomenta el territorio nacional como escenario de obras cinematográficas”. Todo esto lo que ocasiona es que muchas personas que se dedican y quieren dedicarse a este medio de la producción audiovisual y cinematográfica, aumente.

Este proyecto se realiza con el fin de poder proveer un recurso mucho más económico para las personas que hacen y quieren hacer parte de la producción audiovisual y se ven limitadas al no tener acceso accesorios que permitan mostrar los trabajos profesionales que ellos pueden llegar a alcanzar. En

¹ REINA, Mauricio. La ley de cine cumple 10 años con muy buenos resultados. [en línea]. En: EL Tiempo, Bogotá. 1, julio, 2013. [consultado el 3 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12941247>

Colombia los productos y/o accesorios que son para DSLR específicamente son en su mayoría productos de importación y son muy pocos los fabricados en este mismo país refiriéndose a Dolly para cámaras, esto genera un alto costo en su adquisición, lo que hace que quede fuera de alcance para muchos.

Un ejemplo claro está en las figuras 1, 2 y 3 con equipos relacionados a Dolly o travelling y sus precios correspondientes, que demuestra los altos precios de adquirir un dispositivo como estos.

Figura 1. Precios en dólares de travelling para equipos estándar.



Fuente: Travelling egripment focus. [en línea]. [consultado el 3 de septiembre de 2016] Disponible en internet: http://www.falcofilms.com/ES/es/tmp/99/web_falcofilms/Travelling_EGRIPMENT-FOCUS-DOLLY.html

Figura 2. Precio en dólares de travelling para equipos especializados.



Fuente: Travelling egripment TGV. [en línea]. [consultado el 3 de septiembre de 2016] Disponible en internet: http://www.falcofilms.com/ES/es/tmp/28/web_falcofilms/Travelling-EGRIPMENT-TGV.html

Figura 3. Precio en dólares para travelling manual para cámaras DSLR.



Fuente: Dana Dolly portable. [en línea]. [consultado el 3 de septiembre de 2016]
Disponible en internet: <http://www.dannadolly.com>

Realizar este proyecto genera expectativa y abre puertas a que productos costosos como los Dolly puedan ser fabricados en Colombia, con materiales de bajo costo, lo que permite como producto de innovación, imponer un diseño único y estar al alcance de muchos dedicados al medio de la producción audiovisual.

Los recursos necesarios que se utilizan para este proyecto, son recursos que están al alcance económico de muchos, ya que este proyecto une diferentes componentes (microcontroladores, materiales de aluminio y motores) para poder llegar a lo que un Dolly puede hacer. Este tipo de producto va enfocado en su mayoría a las personas que están estudiando, que ya tienen conocimiento propio o que ya trabajan de manera profesional en producciones audiovisuales, no todo el mundo está relacionado con este tema a fondo, la mayoría son consumidores de estos medios más no productores. Es decir no todos conocen la forma en como un programa, un video o hasta una foto es tratada antes de ser mostrada al público. Solo las personas que se mueven en este campo son las personas que conocen que cámaras, accesorios, programas y componentes se necesitan o pueden ser usados a la hora de realizar una producción audiovisual.

Como tal este problema que se presenta es importante ya que hoy en día los estándares de calidad en cuestión de video y fotografía para los medios de comunicación son muy altos, muchos de los canales de televisión, clientes, programas privados, empresas que invierten en publicidad cada vez más están exigiendo una mayor calidad, porque es lo que demanda sus consumidores.

Es por eso que entre más accesorios (Dolly) se pueda tener al alcance, mayor será la calidad de la producción. Existen muchos productos de este tipo fabricados artesanalmente. Muchos de estos Dolly manuales son de tipo DIY (Do it yourself) / (hágalo usted mismo), debido a esto, existen muchos prototipos e información acerca de cómo fabricar de forma casera un producto como este,

pero con la falencia de no ofrecer la máxima calidad en las tomas de video por esto es que automatizar este producto es decir eliminar todo contacto humano para el control de movimiento y posición del Dolly desde un mando a distancia, lo cual permitirá generar ventajas funcionales como lo son:

- Grabar videos con movimientos totalmente fluidos.
- Tener un control total de los movimientos.
- Capacidad de soporte de cámaras desde Dsrl hasta DV Cam.
- Realizar tomas de video en modo Timelapse con movimiento.
- Capturar imágenes estéticamente encantadoras.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un Dolly automatizado de bajo costo en fabricación para producción audiovisual.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar investigación que permita tener una base informativa sobre los Dolly usados para producción audiovisual.
- Determinar las especificaciones de funcionamiento de un Dolly.
- Diseñar un Dolly de acuerdo con las especificaciones dadas a base de componentes de bajo costo y fácil armado.
- Desarrollar prototipo del Dolly.
- Innovar el prototipo añadiendo un control para el paneo e inclinación de la cámara además del funcionamiento del Dolly.
- Realizar prueba de campo a través de un prototipo desarrollado.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 ANTECEDENTES

Colombia es un país muy activo en su producción audiovisual. Desde hace varios años la televisión colombiana se ha convertido en una industria que exporta con éxito sus productos a varios continentes, especialmente telenovelas, y hoy en día produce de manera constante para el mercado de los Estados Unidos. De igual manera, el país tiene una industria publicitaria consolidada desde hace varias décadas, y en los últimos años operan en el mercado varias casas productoras especializadas en realizar comerciales en locaciones colombianas para anunciantes internacionales, que son pautados en otros países. El cine tiene hoy en día un despertar muy promisorio y son varios los largometrajes y documentales colombianos que compiten anualmente en diversos festivales de cine de América y Europa.

Según Martínez², desde la llegada de las películas en color, el sistema de visor se hizo imprescindible. En cuanto a la movilidad de la cámara, es un tema que ya se planteaban los pioneros del cine. En el apartado “Film Production,” perteneciente a la voz “Motion Pictures” de la *Enciclopedia Britannica*, Hitchcock explica lo significativo que fue desplazar la cámara desde su ubicación teatral para el rodaje de las películas primitivas, a un lugar desde donde se podía conseguir un primer plano del actor. Como es habitual, el cineasta atribuye a este desplazamiento, el verdadero inicio de lo que significaría un avance importante en la creación de un lenguaje propio del cine.

Una cámara manejable, fácil de transportar, implica asimismo una mayor libertad en todo tipo de desplazamientos, incluso, y de manera especialmente significativa, los más directamente asociados a la expresión artística del medio. En 1924, Murnau utilizó una cámara portátil para *Der Letzte Mann (El ultimo)* y en Francia, a finales de los veinte, Abel Gance y Marce L’Herbier experimentaban con una gran diversidad de movimientos en la búsqueda de librar a la cámara de su inmovilidad original.

Debemos recordar que originalmente la cámara cinematográfica fue diseñada para estar apoyada sobre un trípode y aunque desde los comienzos del cine, se

² MARTÍNEZ, Elisa María. Hitchcock: Imágenes entre líneas. Biblioteca javier coy d'estudis nord-americans. Valencia: Publicacions de la Universitat de Valencia. 2011. p. 137-139.

buscasen maneras de liberarla de este soporte y así facilitar el imprimir el movimiento a las imágenes, esto no quiere decir que sea favorable que la cama se encuentre siempre en movimiento. Sin embargo la inteligente utilización del desplazamiento puede resultar un arma muy valiosa en las estrategias narrativas del cineasta. Se debe tener en cuenta que el encuadre, la composición, el ángulo desde donde se filma así como las cuestiones de escala o proporción, se verán modificados mediante la utilización de un movimiento de cámara.

Lo estudios principales presumían de tener las grúas más grandes para realizar las tomas más espectaculares. Actualmente aquellos enormes y pesadísimos aparatos han sido sustituidos por modernas grúas eléctricas de mayor flexibilidad y más fácil manejo. Sobre ellas, la cámara facilita la combinación entre los distintos tipos de movimientos sencillos ya comentados, para producir numerosos movimientos de gran complejidad*. Por ejemplo, es muy útil para la elaboración de sofisticados planos de secuencia.

A medida que otros campos como los programas de televisión (novelas, series, documentales, etc...) fueron creciendo a la par del ámbito cinematográfico. Así mismo lo hicieron los mecanismos y medios técnicos disponibles para que esto pasara. Originalmente llevaban ruedas que permitían un movimiento suave, de deslizamiento y su manejo era manual, normalmente fabricada en aluminio con ruedas articuladas recubiertas de goma y una pequeña grúa incorporada sobre la que se monta la cámara. Su gran movilidad permite desplazarse en sentido lateral sobre raíles.

Luego se fueron modificando con respecto al tamaño de las videocámaras ya que con el paso del tiempo estas se hicieron más pequeñas, no era necesario el uso de grúas y Dolly tan excesivamente grandes y pesadas. Se pasó de aluminio a otros materiales aún más ligeros para hacerlos mucho más fácil de transportar que el dispositivo tradicional con la posibilidad de manejar ángulos y giros del Dolly a antojo del productor audiovisual para desplazamientos en curva o totalmente circulares y se eliminó la dependencia de raíles siempre y cuando la superficie donde se encuentre sea lisa y regular. Seguido a esto para mejorar el funcionamiento del Dolly se le agrega un motor DC a los de tamaño pequeño para que pueda deslizarse aún más suavemente y de forma totalmente fluida, esto manteniendo siempre el plano o captura de imagen de la videocámara o Dsrl, perpendicular al desplazamiento que realiza el Dolly.

* Se trata de la combinación de dos o más movimientos sencillos (por ejemplo una panorámica y un travelling) con la cámara en movimiento, bien apoyada en un Dolly.

4.2 MARCO TEORICO

A medida que el desarrollo de nuevas tecnologías nacen, van orientadas hacia el entretenimiento de las personas, cuando se habla de medios audiovisuales como lo videos musicales, institucionales, películas, documentales, cortometrajes etc...cada día se exige que sean realizados con la mayor calidad y creatividad. Es por esto que los realizadores audiovisuales no se pueden conformar con mostrar de forma plana y simple sus trabajos, así que se requiere por parte del realizador incluir diferentes estilos de grabación, esto con el fin de que su trabajo se vea bien elaborado y con altos estándares de calidad. A través de un Dolly un realizador tiene la ventaja de realizar diferentes estilos de grabación porque le permite a este ampliar y mejor su estilo de trabajo para los medios audiovisuales.

Según Trujillo⁴, una de las formas de grabación que un realizador audiovisual puede hacer es el travelling a través del uso de un Dolly, este movimiento consiste en el desplazamiento físico de la cámara sobre cualquiera de sus ejes horizontales. Este término también puede referirse a cualquier toma donde la cámara sigue a un objeto ya sea un vehículo moviéndose o un actor moviéndose. Según Brown⁵, en la terminología de imágenes en movimiento, el termino Tracking Shot puede referirse a una toma en la que la cámara está montada en un carro de la cámara, una plataforma con ruedas que es empujado en los carriles mientras se toma la imagen como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Mini Dolly (travelling) para cámaras DSLR



Fuente: Mini Dolly. [en línea]. [consultado el 5 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://www.welab.es/es/alquiler/64/428/sliders/mini-dolly>

⁴ TRUJILLO, Cesar. Como crear tu propio cortometraje. [en línea]. En: IES Huelin, Málaga. 6, febrero, 2016. [consultado el 4 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://www.ieshuelin.com/huelinenglish/como-crear-tu-propio-cortometraje>.

⁵ BROWN, Blain. Cinematography: Theory and Practice: Imaemaking for Cinematographers, Directors & Videographers. 2 ed. Waltham: Focal Press, 2011. p. 66

El efecto “Zolly” o “Dolly Zoom”⁶ fue inventado por el camarógrafo Irmin Roberts. Este efecto consiste en alejar o acercar la cámara mientras se aumenta o disminuye el zoom para que el sujeto permanezca igual de tamaño y enfoque. En la figura 5 se puede apreciar la forma de realizar usando un Dolly. Lo interesante de hacer esto es que el fondo va variando progresivamente de tamaño porque el zoom modifica la profundidad de campo. Es una técnica que utilizó bastante Alfred Hitchcock en su película “Vértigo”, y que popularizó más tarde Steven Spielberg en una famosa escena de su película “Tiburón”.

Figura 5: Operario realizando Dolly Zoom



Fuente: Filmmaker iq turns six today. [en línea]. [consultado el 5 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://filmmakeriq.com/2014/07/filmmaker-iq-turns-six-today>.

Según W.J.Smith, en el libro *Modern optical engineering: the design of optical systems*, para la teoría del Dolly Zoom la mayoría de los propósitos, se puede suponer que el espacio de la imagen y el espacio de objetos están en el mismo medio. Por lo tanto, para un objeto en el foco, la distancia entre la lente y plano de la imagen s_i , La distancia entre la lente y el objeto s_o , Y la longitud focal f están relacionadas por:

$$\frac{1}{s_i} + \frac{1}{s_o} = \frac{1}{f}$$

La ampliación transversal M se relaciona por:

⁶ FILMMAKER IQ. Introduction to the Dolly zoom. [en línea]. [consultado el 4 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://filmmakeriq.com/lessons/introduction-to-the-dolly-zoom>

$$M = \frac{s_i}{s_o} = \frac{f}{(s_o - f)}$$

“La ampliación axial M_{ax} de un objeto en s_o es la velocidad de cambio de la distancia de la lente imagen- s_i como la distancia de la lente a objetos s_o cambios. Para un objeto de profundidad finita, se puede concebir el aumento *promedio* axial como la relación de la profundidad de la imagen y la profundidad del objeto”⁷:

$$M_{ax} = \left| \frac{d}{d(s_o)} \frac{s_i}{s_o} \right| = \left| \frac{d}{d(s_o)} \frac{f}{(s_o - f)} \right| = \left| \frac{-f}{(s_o - f)^2} \right| = \frac{M^2}{f}$$

Se puede ver que si la ampliación sigue siendo constante, una longitud focal larga resulta en una ampliación axial más pequeña, y una longitud focal más pequeño con un aumento axial más grande. Es decir, cuando se utiliza una longitud focal más larga mientras mueve la cámara / lente de distancia desde el objeto de mantener la misma magnificación M, los objetos parecen más superficiales y las distancias axiales entre los objetos parecen más cortos. Lo contrario -incremento de la magnificación axial- sucede con longitudes focales más cortas mientras se mueve la cámara (lente hacia el objeto).

Las características que ha de reunir un travelling de calidad son: uniformidad, discreción y coherencia. La coherencia se refiere a que exista una razón que justifique su trayectoria, y a que el objeto sobre el que se dirige sea claro y preciso. Dicho de otra manera: si el travelling se hace hacia un grupo de personas, debe haber una “diana” precisa hacia la que se dirige, sin dar pie a la ambigüedad y la vacilación. Además la cámara debe desplazarse progresivamente y con gran suavidad, evitando perder foco durante el desplazamiento. Es importante mantener bien ajustada la cabeza giratoria y el soporte y conseguir la mejor estabilidad de la cámara posible.

Quizás sea el enfoque durante el travelling es lo que mayor problema produzca al

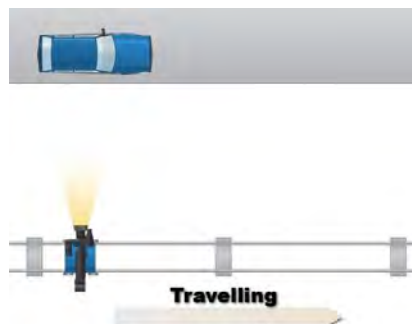
⁷ SMITH, Warren. Modern optical engineering: the design of optical systems. 2 ed. New York: McGraw-Hill 1966, p.22

operador de cámara. Según se aproxime al objeto hay que rectificar el foco porque aquel se sale de la profundidad de campo. Si se enfoca a una persona en un plano largo y a continuación se realiza el travelling hacia adelante, hasta situar el personaje en primer plano, se debe accionar el mando de enfoque hacia delante mientras se hace el travelling. La magnitud del ajuste depende de múltiples factores, entre los que se encuentra la longitud focal del objetivo, la distancia que ha de recorrer la cámara, el diafragma utilizado etc... Es fundamental la habilidad del operario de la cámara a la hora de llevar a la práctica la técnica del seguimiento de foco. La atención del operador debe concentrarse en el visor con el fin de captar los primeros indicios de falta de foco e inmediatamente hacer las correcciones necesarias.

Cuando la cámara se desplaza en un travelling hacia delante, el propósito que se persigue generalmente es aislar a una sola persona o cosa de su entorno. Para mantener el objeto a aislar correctamente encuadrado al final del movimiento será necesario ir efectuando una rectificación del encuadre en el transcurso del travelling.

La mayoría de los principios básicos que instruyen la técnica de los movimientos de cámara son aplicables al travelling lateral. Éste travelling se realiza a través de una cámara y paralelo a ella como se muestra en la figura 6. Éste travelling no es difícil de ejecutar, pero con frecuencia se combina con el travelling hacia adelante o retro para crear un movimiento circular alrededor de la escena, y esto complica la acción. El operador debe concentrarse en la uniformidad del movimiento y en la corrección del encuadre y el foco. Al mismo tiempo debe evitar tropezar con cualquier obstáculo.

Figura 6. Explicación del movimiento de travelling.



Fuente: Encuadre y movimientos de cámara. [en línea]. [consultado el 4 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://www.molinaripixel.com.ar/2011/11/27/encuadre-y-movimientos-de-camara>.

El efecto de acercamiento desde un plano general hasta un sujeto con el fin de aislarlo, que se consigue con el travelling, puede lograrse también con el accionamiento del zoom. Éste último procedimiento tiene sus ventajas, ya que la cámara no ha de moverse físicamente, solucionándose todos los problemas inherentes al desplazamiento. Sin embargo el efecto conseguido no es igual. Al hacer el zoom se agranda los objetos de la escena para llenar el marco de la imagen, mientras que con el travelling se mueve físicamente la cámara a través de la escena. El efecto conseguido con el travelling, que cambia la perspectiva según se realiza, se ajusta más a lo que el espectador percibiría si fuese él mismo quien se moviera por la escena, como lo hace la cámara.

Todo lo referido a los movimientos de cámara sobre soporte tiene validez cuando ésta se maneja sobre el hombro. Aquí hay que añadir la necesidad de mantener el pulso y la estabilidad, evitando que la cámara se vea expuesta a sacudidas que harían totalmente inservible la toma. Un buen conocimiento de la posición de los controles más habituales ayudarán a conseguir la precisión de manejo necesaria para conseguir planos válidos con la cámara al hombro.

El Dolly es una herramienta especializada del equipo de rodaje cinematográfico y de producción televisiva, diseñada para realizar movimientos fluidos (técnicas cinemáticas). La cámara está montada sobre el Dolly y el operador de cámara y el primer ayudante (foquista) normalmente están subidos en el Dolly para manejarla tal como se muestra en la figura 7. El maquinista es el técnico experto encargado del manejo del Dolly.

Figura 7. Dolly cinematográfico, con tres operarios.



Fuente: I MOVIMENTI DI MACCHINA. [en línea]. [consultado el 5 de septiembre de 2016]. Disponible en internet:

http://www.lanouvaitalia.it/espandiLibro/secondariaSecondoGrado/italiano_biennio/articoli/movimenti%20macchina.html.

Se usa como plataforma de rodaje sobre cualquier superficie, pero a menudo se coloca encima de unos raíles para realizar movimientos fluidos en un eje horizontal llamado travelling. Además, los estudios de cine más profesionales tienen un brazo hidráulico que sube o baja la cámara sobre el eje vertical. Cuando el maquinista maneja la cámara sobre ejes perpendiculares a la vez, realiza un movimiento que se conoce como movimiento compuesto.

Los movimientos del Dolly también se pueden ejecutar sin raíles, lo que le proporciona más libertad a nivel horizontal pero, a su vez, un mayor grado de dificultad. A estos se les denomina dancefloor moves (“movimientos sobre pista de baile”). Ver figura 8. Y pueden realizarse o bien en la misma superficie (si es suficientemente lisa) o bien en una plataforma diseñada para el movimiento del Dolly. Esta plataforma normalmente se compone de un grueso contrachapado en la parte inferior y de conglomerado en la parte superior.

Figura 8. Mini Dolly manual para cámara DSLR sin raíles y base de superficie lisa.



Fuente: Neoprene Pico Surface Mat for Pico Dolly. [en línea]. [consultado el 3 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://cheesycam.com/neoprene-pico-surface-mat-for-pico-dolly>.

Los Dolly le permiten al maquinista realizar diferentes técnicas de giro. La técnica más común es el giro de las ruedas traseras, en el cual las delanteras permanecen fijas, mientras que las que están cerca de la palanca de control giran.

La segunda técnica, llamada giro circular, hace que las ruedas delanteras giren en dirección opuesta a las traseras. Esto permite que el Dolly realice movimientos circulares fluidos y se utiliza a menudo cuando se usan raíles curvados.

La tercera, denominada cangrejo o movimiento lateral, se realiza girando las ruedas

delanteras en la misma dirección que las traseras. Con este método se pretende mover el Dolly en sentido diagonal respecto de su parte delantera.

Los Dolly de estudio son grandes, estables y, en ocasiones, tienen suspensiones hidráulicas. Por ello, son la primera opción cuando se usan cámaras profesionales, tanto en estudio como en exteriores. Generalmente, el maquinista de Dolly es el encargado de operarlos.

Otros elementos incluidos dentro lo que se va a trabajar para el desarrollo del proyecto son los sistemas de control para el Dolly, los actuadores lineales, los dispositivos embebidos y la computación móvil. De los cuales se definirá las características que se utilizarán de cada elemento.

4.2.1 Cámara Dsrl. (Digital Single Lens Reflex) o también llamada Reflex, es un tipo de cámara, donde la imagen obtenida por el visor es la misma que produce el objetivo o lente. Se les conoce como Reflex porque utilizan un sistema de espejos que refleja la imagen del objetivo hacia el visor y cuando se oprime el botón de obturación, el espejo gira y deja pasar la luz hacia el sensor en cámaras digitales”⁸.

4.2.2 Estabilizadores de cámara de video. Los equipos profesionales de filmación utilizan estos accesorios mecánicos que siempre han sido inalcanzables para un cineasta amateur. Gracias a este dispositivo, los movimientos bruscos e irregulares de la imagen se suavizan y se logran escenas de transición suave y movimientos de cámara que hacen imaginar su transporte a bordo de una suave nube.

Los sistemas de estabilización de imagen se hacen necesarios al utilizar cámaras filmadoras pequeñas para evitar o minimizar los defectos que se pueda inducir en la filmación al manipular de forma enérgica o apresurada la cámara de vídeo. Estos defectos son muy comunes cuando es camina, se corre, se voltea la toma hacia un lado u otro y mucho más, cuando se viaja sobre cualquier móvil.

⁸ Cámaras réflex o DSRL. [en línea]. [consultado el 6 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://redgrafica.com/Las-camaras-Reflex-o-DSLR>

Figura 9. Chaleco estabilizador.



Fuente: Estabilizadores de videocámaras. [en línea]. [consultado el 6 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://stadycamcaseros.blogspot.com.co/>.

En su mayor parte, estas perturbaciones no se registran visualmente ya que el cerebro ajusta automáticamente la información procedente de los ojos, suavizando la secuencia de imágenes que se ven. Esto se logra a través de la creación de una nueva imagen suave y continua que la mente elabora a medida que se moviliza.

Para los diversos modelos de cámaras de vídeo profesionales y semi-profesionales del mercado, existe una amplia variedad de sistemas de estabilización cuyos precios se ubican en un rango comprendido entre los 600 y 8 mil dólares. Se encuentra desde simples accesorios mecánicos para armar, siempre acompañados por un buen lente gran angular, hasta complejas estructuras dotadas de un arnés que el camarógrafo lleva pesadamente sobre su cuerpo. Ver figura 9.

4.2.2.1 Gimbal. “Es una plataforma motorizada y controlada mediante una placa con varios sensores, generalmente acelerómetros y compás magnético que se encarga mediante el uso de algoritmos de control y PIDs de mantener un objeto, normalmente una cámara estabilizada, de modo que independientemente del movimiento que realice el portador de la misma, ésta quede estable permitiendo tomar buenas capturas”⁹. Ver figura 10.

⁹ Gimbal. [en línea]. [consultado el 6 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://medya-audiovisual.com/que-es-un-gimbal/>.

Figura 10. Gimbal for Sony Nex5/7 and Panasonic GH2.



Fuente: DJI ZENMUSE Camera Gimbal Z15. [en línea]. [consultado el 6 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <https://www.ercmarket.com/dji-zenmuse-camera-gimbal-z15.html>

4.2.2.2 Steadycam. Es un sistema estabilizador de imagen muy utilizado en cine y televisión, sobre todo en televisión, y basa su acción en unos cuantos puntos de apoyo sobre una estructura metálica y el centro de gravedad del cuerpo de la cámara que se utiliza. Ver figura 11.

Figura 11. Steadycam



Fuente: Glidecam HD 1000. [en línea]. [consultado el 5 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: http://i.blogs.es/191d1d/img_67066/1366_2000.jpg

5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se toma como base el material escrito por Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger, Diseño y Desarrollo de productos. Este libro mezcla las perspectivas del marketing, diseño y manufactura en un solo planteamiento. El método que presentan, son por lo general procedimientos que se dan paso a paso para completar trabajos. El objetivo por el cual se usa este proceso de diseño y desarrollo de productos que está representado en la figura 12, es porque se logra presentar en una forma clara y detallada el conjunto de métodos para desarrollar el proyecto.

Figura 12. Proceso de desarrollo del producto



Fuente: ULRICH, Karl T., EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de productos. 5 ed. México: McGraw-Hill, 2013. p9.

Planeación. Esta fase comienza por la identificación de las oportunidades guiada por la estrategia corporativa, y abarca la evaluación de los avances de la tecnología y los objetivos de mercado. El resultado de la fase de planeación es la declaración de misión del proyecto, que especifica el objetivo comercial del producto, las metas comerciales, las suposiciones básicas y las limitaciones.

Desarrollo del concepto. En esta fase del concepto se identifican las necesidades del mercado objetivo, se generan y evalúan conceptos alternativos del producto, y uno o más conceptos se seleccionan para desarrollo y pruebas adicionales.

Diseño en el nivel sistema. La fase de diseño a nivel sistema incluye la definición de la arquitectura del producto y la descomposición del producto en subsistemas y componentes. Los planes iniciales para el sistema de producción y el esquema de ensamble final para el sistema de producción suelen definirse también durante esta fase.

Diseño de detalle. La fase de diseño de detalle incluye la especificación completa de la geometría, materiales y tolerancias de todas las partes únicas del producto y

la identificación de todas las partes estándar a ser adquiridas de proveedores. Se establece un plan de proceso y se diseña el herramental para cada pieza a ser fabricada dentro del sistema de producción.

Pruebas y refinamiento. La fase de pruebas y refinamiento comprende la construcción y evaluación de versiones múltiples de preproducción del producto. Los primeros prototipos por lo general se construyen con piezas destinadas a producción, es decir, piezas con la misma geometría y propiedades de material que la versión de producción del producto, pero no necesariamente fabricadas con los procesos reales a usarse en producción. Los prototipos alfa se prueban para determinar si el producto funcionará como está diseñado y si el producto satisface las necesidades de los clientes clave.

Inicio de producción. En la fase de inicio de producción, el producto se hace usando el sistema de producción pretendido. El propósito del inicio es capacitar al personal y resolver cualquier problema en los procesos de producción. Los productos elaborados durante el inicio se proporcionan a veces a clientes preferidos y son cuidadosamente evaluados para identificar cualquier falla.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 PLANEACIÓN DEL PRODUCTO

6.1.1 Descripción del producto. Dispositivo mecatrónico para uso en producciones audiovisuales, automatizado en sus funciones como dolly para cámaras dsrl, con integración a un dispositivo móvil para fácil control.

6.1.2 Propuesta de valor. Este dispositivo de estabilización y movimiento posee características prácticas y eficaces que eliminan parcialmente el contacto humano para mayor precisión a la hora de realizar una producción audiovisual.

6.1.3 Objetivos clave de negocio. Además de los objetivos del proyecto para el dispositivo también se deben de tener en cuenta los objetivos de negocio, que son las metas a las cuales se quiere llegar en el mercado estas son:

- Mejorar el producto existente, para que permita una mejor calidad en las producciones audiovisuales para estudiantes, profesionales, aficionados y empresas dedicadas a este medio.
- Servir de plataforma para variantes del producto que resulten de necesidades específicas de cada cliente.
- Captar la atención a sectores que no conocen o no tienen alcance a este tipo de productos para fidelizarlos.
- Abrir una línea de producción con mejoras y mantenimiento constantes para ventas o alquiler del producto.

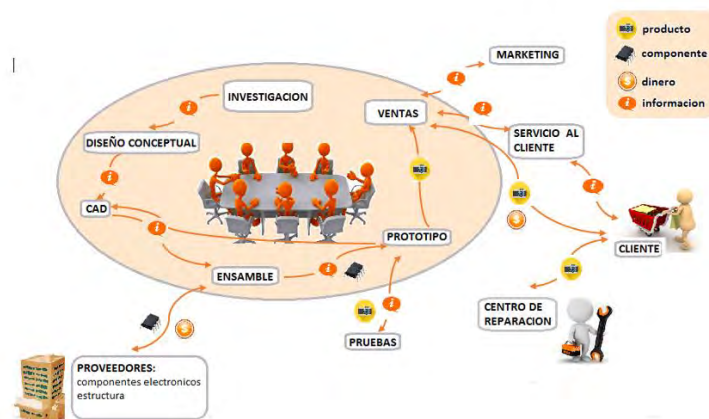
6.1.4 Mercado primario y secundario. Como se trata de un producto, es necesario conocer e identificar en el mercado hacia quienes está dirigido este producto. Desde primera instancia se decide que el mercado primario estará conformado por empresas independientes (Televisoras, cineastas, etc...) relacionadas con la producción audiovisual. Luego como mercado secundario universidades, estudiantes, centros de investigación, aficionados a gadgets y contrataciones como independientes.

6.1.5 Suposiciones y restricciones. Desde un principio sin contrarrestar ni restringir las variaciones del proyecto, es necesario establecer unas suposiciones y restricciones que permitan establecer un campo manejable en que el producto estará posicionado. Las suposiciones y restricciones son las siguientes:

- Mejora a un producto existente.
- Dispositivos electrónicos del bajo costo.
- Dispositivos electrónicos de fácil y rápida programación (open source hardware).
- Materiales de bajo costo y fácil obtención.
- Compatibilidad con dispositivos móviles.
- Baterías recargables.
- Sin uso de cableado.

6.1.6 Involucrados. La lista de involucrados son aquellos que de una u otra forma son afectados por el éxito o fracaso del producto y con de ellos se puede identificar ciertas necesidades que harán parte del proyecto. Aplicando una cadena de valor se logra identificar los agentes críticos que hacen parte del proyecto. Ver figura 13.

Figura 13. Cadena de valor para el proyecto.



- Compradores y usuarios.

- Operadores de manufactura.
- Operadores de servicio.
- Distribuidores y vendedores.
- Proveedores.

A continuación se presenta en la tabla 1, un resumen del proceso de planeación del producto con los puntos más importantes a resaltar.

Tabla 1. Resumen de la planeación del producto.

Declaración de la Misión: Dolly automatizado de bajo costo en fabricación para producción audiovisual.	
Descripción del Producto	▪ Para uso en producciones audiovisuales, Dolly automatizado.
Propuesta de valor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema de estabilización y movimiento para fotos e imágenes. ▪ Elimina el contacto directo de un humano para mayor precisión en la captura de imágenes y videos.
Objetivos clave de negocio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mejorar un producto existente que permita una mejorar la calidad de las producciones audiovisuales para estudiantes, profesionales, aficionados y empresas dedicadas a este ▪ Servir de plataforma para variantes del producto que resulten de necesidades específicas de cada cliente. ▪ Captar la atención a sectores que no conocen o no tiene al alcance este tipo de productos para fidelizarlos. ▪ Abrir una línea de producción con mejoras y mantenimiento constantes para ventas y o alquiler del producto.
Mercado Primario	▪ Empresas independientes (televisoras, cineastas) relacionadas con la producción audiovisual.
Mercado Secundario	▪ Universidades, centros de investigación, aficionados a Gadgets, contrataciones como independiente
Suposiciones y restricciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mejora a producto existente. ▪ Dispositivos electrónicos de bajo costo ▪ Dispositivos electrónicos de fácil y rápida programación (Open source hardware) ▪ Materiales de bajo costo y fácil obtención. ▪ Compatibilidad con dispositivos móviles. ▪ Baterías recargables ▪ Sin uso de cableado
Involucrados	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compradores y usuarios ▪ Operaciones de manufactura ▪ Operaciones de servicios ▪ Destruidores y vendedores ▪ Proveedores

6.1.7 Participantes.

- Héctor Emilio Saavedra Segura, estudiante de Ingeniería Mecatrónica.
- Diego Fernando Almario, Ingeniero Electricista, Director del proyecto.

6.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES

A través de la identificación de las necesidades, se logra que el producto se enfoque en lo que necesita del cliente, además se obtiene una base de datos que justifica las especificaciones del producto. Sin la obtención de las necesidades es muy difícil que el proyecto se desarrolle con las características correctas que satisfacen al usuario.

6.2.1 Determinaciones de las necesidades. Para determinar las necesidades del proyecto se pueden usar diferentes métodos para percibir las necesidades que parten de los usuarios o personas que giran en torno al proyecto. En este caso se usó la entrevista con el fin de determinar ciertas necesidades. Los entrevistados reunían las siguientes características, son profesionales, trabajan independientes y bajo contrato en puestos relacionados con producción audiovisual, uno con empresa de producción audiovisual. Todos con manejo de cámaras y accesorios. Sus edades van entre los 23 y 48, con experiencias en el campo entre 5 a 20 años.

Cuadro 1. Preguntas abiertas para la entrevista.

- 1- Cuantos tipos de Dolly conoce?
- 2- Cuando usa usted este tipo de producto?
- 3- Por qué usa usted este tipo de productos?
- 4- Podemos ver una sesión típica en la que use el Dolly?
- 5- Que le gusta de los Dolly existentes?
- 6- Que no le gusta de los Dolly existentes
- 7- Que problemas considera usted para comprar un Dolly?
- 8- Cuanto estaría dispuesto a pagar por uno?
- 9- Que criterio utilizaría a la hora de elegir uno?
- 10- Conoce empresas que distribuyen el producto o simplemente busca por internet?
- 11- Que mejoras le harías al Dolly?

Los resultados obtenidos luego de analizar los audios grabados en las entrevistas, se organizan y se resumen en una tabla donde se colocan los enunciados en general que expresan los clientes y como es interpretada en la manera posible que no cierre paso a futuros cambios en las necesidades obtenidas.

Tabla 2. Resumen de los resultados de las entrevistas junto con las necesidades interpretadas.

Pregunta/ sugerencia	Enunciado del Cliente	Necesidad Interpretada
Usos típicos	Para producciones especiales que lo requiera (video musical, matrimonios, cortometraje)	El Dolly podrá usarse en diferentes tipos de producciones especiales
	Ayuda a realizar maniobras que la persona no hace de manera manual.	El Dolly realiza movimientos complejos mas precisos que el de un humano normal
	Para obtener diferentes planos con una cámara de tv	El Dolly puede capturar diferentes ángulos, imposibles para un humano
Le gusta	Los movimientos parejos, suaves y estéticos	El Dolly realiza movimientos fluidos
No le gusta	Es muy incomodo de llevar	El Dolly es portable a la hora de llevarlo
	Para los de llantas, si no esta en una buena superficie no va a ser muy funcional	El Dolly pueda usarse en cualquier superficie irregular
	Se necesitan mas de dos personas para poder usarlo	Solo se necesita de una persona para poder controlarlo.
	Son muy costosos	Los componentes para la fabricación no son costosos
	Adquirir uno si es por envío aparecen problemas	Relación directa entre usuario y vendedor permiten tener el Dolly con facilidad
Mejora sugerida	Que se pudiera manejar a distancia	El Dolly puede ser controlado de forma inalámbrica
	Que tenga sistema de frenado	EL Dolly proporciona un control de movimiento programado o con respuesta inmediata al gusto del usuario
	Que tengan llantas de caucho, no de plástico	EL Dolly trabaja con el material adecuado en las llantas para movilizarse en superficies irregulares

6.2.1.1 Necesidades obtenidas. Las necesidades obtenidas luego de realizar una lluvia de ideas y de las entrevistas realizadas están especificadas en la tabla 3. Y a cada una de estas se le asigna un valor de importancia con respecto a lo que se quiere del producto de 1 a 5 donde 1 es poco importante, gradualmente hasta 5 que es muy importante.

Tabla 3. Necesidades obtenidas para el producto.

Número		Necesidad	Importancia
1	El Dolly	puede ser ligero en peso	4
2	El Dolly	puede ser resistente a golpes	3
3	El Dolly	podrá ser de fácil armado	1
4	El Dolly	podría proporcionar un control dinámico de velocidad	5
5	El Dolly	puede funcionar con una batería de larga duración	5
6	El Dolly	puede diseñarse de forma llamativa	2
7	El Dolly	podrá ser portable	2
8	El Dolly	puede proporcionar conectividad inalámbrica	5
9	El Dolly	se ajusta a diferentes tipos de cámaras	5
10	El Dolly	permite un mantenimiento con herramientas sencillas	3
11	El Dolly	permite la fácil reposición de piezas	1
12	El Dolly	permite un control dinámico de posición para la cámara	5
13	El Dolly	se puede usar en diferentes superficies	4
14	El Dolly	permite un soporte para software	3
15	El Dolly	podrá ser de fácil uso	4
16	El Dolly	se puede añadir herramientas adicionales como micrófonos o luces	3
17	El Dolly	funciona con un sistema de estabilidad	5
18	El Dolly	puede ser de bajo costo en fabricación	5

6.3 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Las necesidades del cliente son necesarias para establecer la base para el producto, puesto que con ellas se puede comenzar a direccionar el proyecto, sin embargo estas necesidades no son suficientes para diseñar y construir el producto, puesto que existe un margen demasiado amplio para el desarrollo de este y da espacio a decisiones equivocadas, por esto es necesario establecer las especificaciones del producto, que no son las especificaciones definitivas del proyecto, pero permiten obtener las variables medibles relacionadas con las necesidades obtenidas.

6.3.1 Lista de métricas. La lista de necesidades métricas son las necesidades obtenidas en valores medibles, con las que se puede satisfacer al cliente. Se toma una a una cada necesidad y se le asigna una unidad o valor medible. En la tabla 4 se encuentra las necesidades métricas, que se relacionan con las necesidades obtenidas de la tabla 3, a través de la segunda columna (# Necesidades).

Tabla 4. Necesidades métricas.

# Métrica	# Necesidad	Métrica	Importancia	Unidades
1	1, 7, 16	Masa total	4	Kg
2	2	Resistencia del material	3	kg/mm ²
3	3, 15	Tiempo de armado	3	Seg
4	4	Velocidad de avance y retroceso	5	rpm
5	4	Velocidad de Pan, tilt, Roll	5	rpm
6	12	Posicionamiento de la cámara respecto a su centro	5	mm (x,y,z)
7	5	Capacidad de la batería	4	mAh
8	6	Diseño llamativo	3	subj (D,N,A)
9	8	Bluetooth	3	dBm
10	8	WiFi	3	Mbps
11	1, 9	Platina de acople	4	mm ²
12	9, 18	Rosca universal	5	pulg
13	10, 11	Herramientas para mantenimiento	2	Lista
14	13	Pruebas en diferentes suelos donde se utilizaría el dispositivo	4	Lista
15	14	Aplicación para control del dispositivo	4	Binario
16	17	Giroscopio	4	° / s
17	1, 4, 12, 13,17	Torque	5	kg*mm
18	2, 5, 8,11,14 17, 18	Costo de fabricación	5	\$(cop)
19	1, 4, 5, 8, 12, 17	Potencia de consumo	5	Watts

La métrica numero 6 indica un posicionamiento con respecto a un eje (x, y, z) imaginario ubicado en el centro de la cámara. La métrica numero 8 corresponde de una unidad subjetiva de (D=desagradable, N=normal, A=agradable). La métrica numero 13 tiene unidades en lista refiriéndose a llaves, destornilladores, alicates etc... La métrica numero 14 hace referencia a los diferentes tipos de suelo donde podría andar el dispositivo (arenosos, pedregosos, francos, superficies lisas, etc.).

Cuadro 2. Relación de las necesidades métricas con las necesidades obtenidas.

NECESIDAD	Imp	METRICAS													
		Masa total	Resistencia del material	Tiempo de armado	Velocidad de avance y retroceso	Velocidad de Pan, tilt, Roll	Posicionamiento de la cámara respecto a su centro de masa	Capacidad de la batería	Diseño llamativo	Bluetooth	WiFi	Platina de acople	Rosca universal	Herramientas para mantenimiento	Pruebas en diferentes suelos donde se utilizaría el dispositivo
puede ser ligero en peso	4	•										•			
puede ser resistente a golpes	3		•												
podrá ser de fácil armado	1			•											
podría proporcionar un control dinámico de velocidad	5				•	•								•	•
puede funcionar con una batería de larga duración	5							•							•
puede diseñarse de forma llamativa	2								•						
podrá ser portable	2	•													
puede proporcionar conectividad inalámbrica	5									•	•				•
se ajusta a diferentes tipos de cámaras	5											•	•		•
permite un mantenimiento con herramientas sencillas	3													•	
permite la fácil reposición de piezas	1													•	•
permite un control dinámico de posición para la cámara	5						•							•	•
se puede usar en diferentes superficies	4													•	
permite un soporte para software	3														•
podrá ser de fácil uso	4			•											
se puede añadir herramientas adicionales como micrófonos o luces	3	•											•		
funciona con un sistema de estabilidad	5													•	•
puede ser de bajo costo en fabricación	5														•

6.3.2 QFD. Para dar un sentido a las necesidades dadas anteriormente estas se pueden incluir dentro del despliegue de la función de calidad. Este despliegue se compone de diferentes datos y de relaciones entre ellos. Se presentaran a continuación la parte central, que se compone de una relación entre las necesidades y las necesidades métricas, a través de una calificación de 1 a 5 con respecto a la relación entre cada una de ellas. La parte superior que es la correlación entre las mismas métricas y cómo son afectadas entre si cuando algunas de estas se necesitan que vayan en aumento, disminuyan o se establezcan en un valor, generando correlaciones muy positivas, positivas, negativas o muy negativas entre sí.

El lado derecho del QFD se muestra una gráfica donde se compara las necesidades con respecto a producto a desarrollar y los productos competitivos. Esto con el fin de tener una referencia de que tanto satisface el producto a desarrollar. La parte inferior muestra en valores numéricos que necesidades métricas son las de mayor relevancia para el proyecto.

Cuadro 3. Parte central del QFD. Asignación numérica con respecto a la importancia entre las necesidades métricas y las necesidades obtenidas.

NECESIDAD	Imp	METRICAS
puede ser ligero en peso	4	5
puede ser resistente a golpes	3	5
podrá ser de fácil armado	1	5
podria proporcionar un control dinámico de velocidad	5	5
puede funcionar con una batería de larga duración	5	2
puede diseñarse de forma llamativa	2	5
podrá ser portable	2	5
puede proporcionar conectividad inalámbrica	5	4
se ajusta a diferentes tipos de cámaras	5	2
permite un mantenimiento con herramientas sencillas	3	2
permite la fácil reposición de piezas	1	
permite un control dinámico de posición para la cámara	5	5
se puede usar en diferentes superficies	4	4
permite un soporte para software	3	3
podrá ser de fácil uso	4	3
se puede añadir herramientas adicionales como micrófonos o luces	3	3
funciona con un sistema de estabilidad	5	
puede ser de bajo costo en fabricación	5	4

Como se había mencionado anteriormente la parte superior se usa para analizar las relaciones que tienen las métricas entre sí a continuación se presenta la simbología que se usa para hacer la relación unas para la correlación y otras para la preferencia, es decir que dependiendo de la preferencia que se quiere para una métrica esta afectará a otra de manera muy negativa o hasta muy positiva.

Cuadro 4. Simbologías de correlación y preferencia.

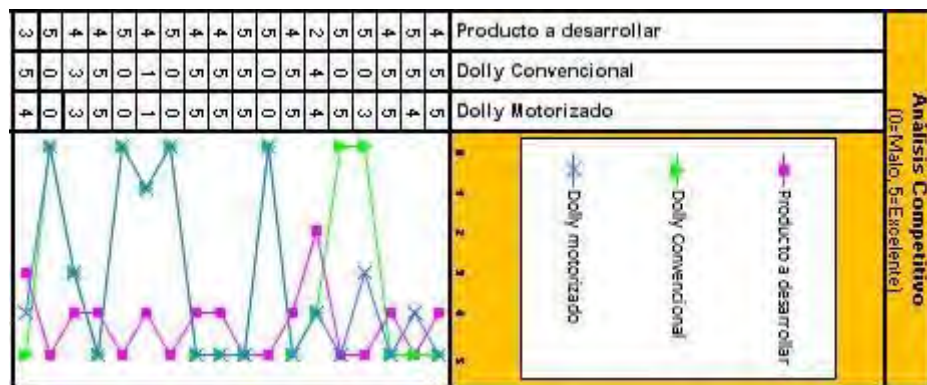
CORRELACIÓN	
++	Muy Positiva
+	Positiva
-	Negativa
--	Muy Negativa

PREFERENCIA	
↑	Aumentar
0	En un Valor
↓	Disminuir

Cuadro 5. Parte superior. Matriz de correlaciones. Métricas Vs Métricas

[illegible]

Cuadro 6. Parte derecha. Evaluación competitiva.



Para la evaluación competitiva, se establece una comparación con dos tipos de productos relacionados con el producto a desarrollar, se colocan unos valores con respecto a las necesidades, donde estos corresponden al nivel de satisfacción en este caso de un Dolly motorizado y de un Dolly convencional,

siendo 0 muy malo o no satisface y 5, excelente o satisface. Para el producto a desarrollar estos valores vendrían siendo como una meta a desarrollarse y que permite ver que tan distanciado está el producto a desarrollar contra los que ya existen en el mercado.

Cuadro 7. Parte inferior. Determinación de las necesidades métricas más importantes.

PRIORIDAD	30	31	35	38	56	69	52	66	66	100	100	74	46	54	80	129	126	167	76	124
PRIORIDAD RELATIVA	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,07	0,07	0,05	0,03	0,04	0,05	0,08	0,08	0,11	0,05	0,08

Según los resultados que arroja el QFD, las necesidades métricas más relevantes y destacarlas en el futuro desarrollo del proyecto son las siguientes:

- Torque.
- Aplicación para el control del dispositivo.
- Giroscopio.
- Potencia de consumo.
- Pruebas en diferentes suelos donde se utilizaría el dispositivo.
- Conexión Bluetooth o WiFi.

Cada una de estas necesidades métricas son importantes porque sin ellas las demás necesidades puedes volverse obsoletas, también durante el desarrollo de estas, existían dos necesidades: pruebas de aplicación de residuos y pruebas de aplicación de líquidos, las cuales fueron descartadas ya que eran redundantes y además para eso se tiene una necesidad métrica de resistencia de material que es suficiente. La ejecución de estas necesidades descartadas podría generar una pérdida de tiempo y gastos ya que no se puede contar con pruebas precisas para realizarlas.

Cabe mencionar que los entrevistados se inclinaron mucho a que se preserve las características que un Dolly convencional ofrece que es la fluidez y estabilidad. Puesto que son las características clave de un Dolly.

6.3.3 Especificaciones obtenidas de comparaciones con la competencia. A menos de que el producto sea único en el mercado es necesario realizar un análisis de productos similares en el mercado puesto que permiten generar un punto de partida a partir de la comparación de sus características esto con el fin de orientarse de forma correcta a las necesidades que expresan los usuarios a través de ellos ya se encuentran en el mercado. En las figuras 14, 15, 16, 17 se encuentran productos similares y uno disímil y en la tabla 5 se encuentra las especificaciones de cada producto con respecto a las necesidades métricas planteadas en la tabla 4.

Figura 14. Dolly motorizado. Lil-Mule.



Fuente: Lil-mule. [en línea]. [consultado el 11 de septiembre del 2016]. Disponible de internet: <http://www.photographyblog.com/news/lil-mule/>.

Figura 15. Deslizador para cámaras. Revolve Slider.



Fuente: Revolve Slider. [en línea]. [consultado el 11 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://www.revolvecamera.com/collections/all/products/ram-motorized-dolly-slider-bundle>.

Figura 16. Producto disímil. Steadycam Merlin.



Fuente: Steadycam Merlin. [en línea]. [consultado el 12 de septiembre del 2016].
Disponble de internet:
https://www.bhphotovideo.com/spanish/c/product/1088480-REG/steadicam_merlin_2_merlin_2_camera_stabilizer.html.

Figura 17. Dolly sin rieles (estándar).



Fuente: Dolly estándar. [en línea]. [consultado el 12 de septiembre del 2016].
Disponble en internet: <http://www.ebay.com/itm/Desktop-DSLR-Camera-Video-Photograph-Rail-Rolling-Track-Slider-Dolly-Car-Skater-/291738305365>.

6.3.3.1 Valores marginales o ideales. A través del análisis y la investigación a los productos vistos anteriormente, se pueden obtener valores marginales que permitan refinar las especificaciones ya obtenidas. También permite orientar el producto hacia una idea de que valores debe tener las unidades, a continuación se muestra en la tabla 5 con los valores de los productos que se lograron investigar anteriormente.

Tabla 5. Valores de las unidades métricas con respecto a cada producto.

Métrica	Importancia	Unidades	Estándar dolly	Lil-Mule	Revolve Slider	Steadicam Merlin
Masa total	4	Kg	0.4535	9	N.E	0.64
Resistencia del material	3	kg/mm ²	12	5.5	N.E	12
Tiempo de armado	3	Seg	N.E	N.E	N.E	N.E
Velocidad de avance y retroceso	5	rpm	N.P	0.5/6/20	1/60/300	N.P
Velocidad de Pan, tilt, Roll	5	rpm	N.P	N.P	N.P	N.P
Posicionamiento de la cámara respecto a su centro de masa	5	mm (x,y,z)	N.E	1219	1000 (x, y, z)	387 (y)
Capacidad de la batería	4	mAh	N.P	1200	N.E	N.P
Diseño llamativo	3	subj (D,N,A)	A	N	A	N
Bluetooth	3	dBm	N.P	N.P	N.P	N.P
WiFi	3	Mbps	N.P	N.P	N.P	N.P
Platina de acople	4	mm ²	85	N.E	N.E	N.E
Rosca universal	5	pulg	1/4	1/4	1/4	1/4
Herramientas para mantenimiento	2	Lista	N.E	1	N.E	N.E
Pruebas en diferentes suelos donde se utilizaría el dispositivo	4	Lista	Superf. Lisa	Superf. Lisa	Lisa/Sin Superf	Sin superf
Aplicación para control del dispositivo	4	Binario	N.P	N.P	N.P	N.P
Giroscopio	4	° / s	N.P	N.P	N.P	N.P
Torque	5	kg*mm	N.P	N.E	4.5 - 9	N.P
Costo de fabricación	5	\$(cop)	48.500	2.024.404	1.762.906	1.762.906
Potencia de consumo	5	Watts	N.P	N.E	N.E	N.P

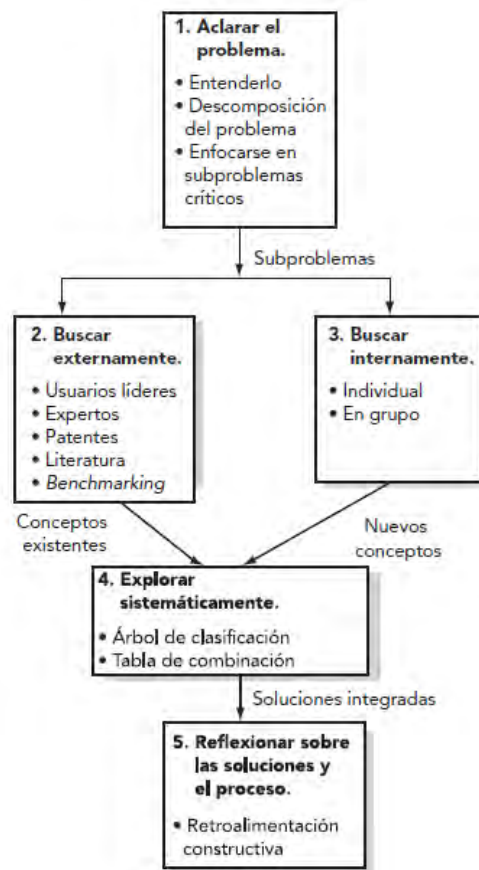
Los valores establecidos en la tabla 5, son valores que el fabricante entrega al alcance del usuario, las siglas N.P (no posee) y N.E (no especificado), existen con el fin de no dejar bajo suposición los valores y así no apoyar el producto a fabricar en parámetros inadecuados. Como son productos que no se venden dentro del país su precio está establecido en dólar y se hace el cambio a COP (peso colombiano, 2.932,00 cambio al día 12 de septiembre del 2016).

6.4 GENERACIÓN DEL CONCEPTO

El concepto de un producto es una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma del producto. Es una descripción concisa de la forma en el que el producto va a satisfacer las necesidades del cliente. Un concepto por lo general se expresa como un bosquejo o como un modelo tridimensional aproximado y a veces es acompañado por una breve descripción conceptual. El proceso de generación de conceptos empieza con un conjunto de necesidades del cliente especificaciones del objetivo lo cual da como resultado un conjunto de conceptos del producto de los que el equipo hará una selección final¹⁰.

¹⁰ ULRICH, Karl T., EPPINGER, Steven D. Capítulo 7, Generación de Conceptos. En: Diseño y desarrollo de productos. 5 ed. México: McGraw-Hill. 2013. p. 120.

Cuadro 8. Método de generación de conceptos de cinco pasos descrito en el libro.



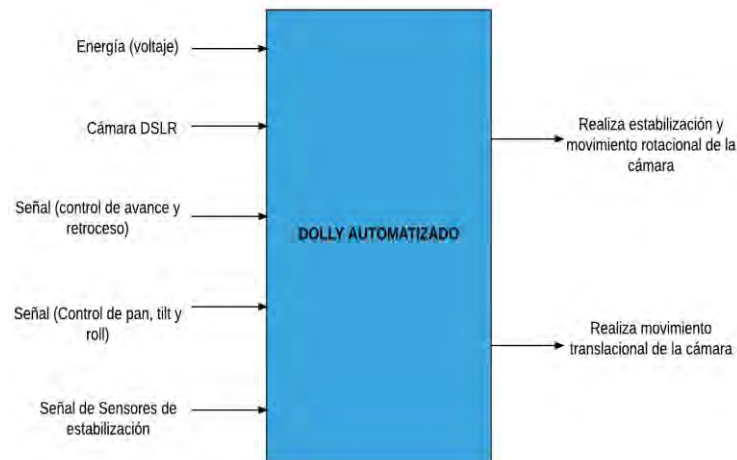
Fuente: ULRICH, Karl T., EPPINGER, Steven D. Capítulo 7, Generación de Conceptos. En: Diseño y desarrollo de productos. 5 ed. México: McGraw-Hill. 2013. p. 122.

6.4.1 Aclarar el problema. El problema presentado e identificado en este proyecto es que muchas de las empresas y personas relacionadas con la producción audiovisual necesitan de accesorios especiales o adicionales al de una simple cámara para realizar excelentes producciones, accesorios que normalmente no están al alcance de la mano debido a sus altos costos y a la dificultad de adquirirlos ya que son dispositivos de importación.

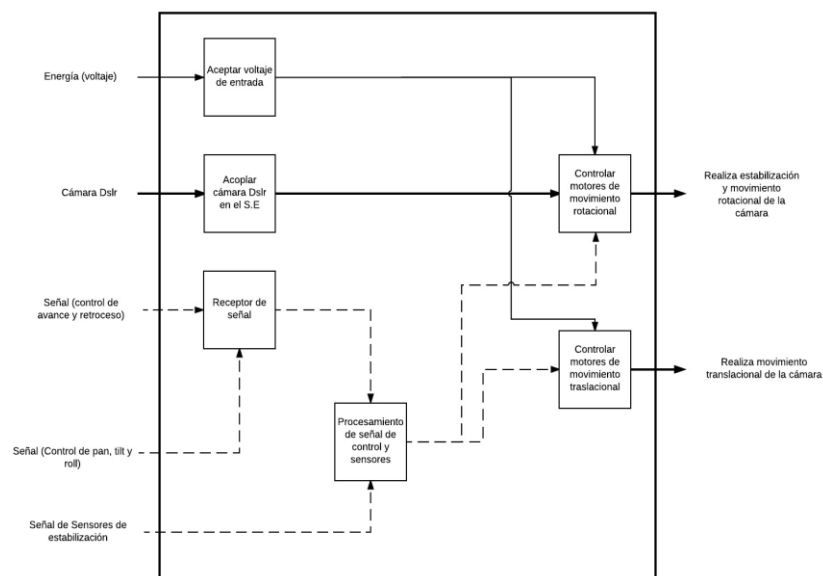
Según lo anterior dicho y habiendo identificado el problema, se determina realizar un dispositivo o producto (Dolly), como un accesorio de bajo costo al alcance de las empresas y personas que quieran realizar excelentes producciones audiovisuales. Esta herramienta permitirá que ante una variedad de productos que ya se encuentran en el mercado, puedan obtener una que

ofrezca diferentes opciones a las necesidades analizadas anteriormente a un precio asequible. Se presenta a continuación la caja negra del proyecto el cual representa de manera general lo que el producto recibe y lo que este entrega.

Cuadro 9. a) Caja negra del producto. b) Diagrama de sub-funciones de la caja negra. (S.E=sistema de estabilización).



a).



b).

En el cuadro 9 se muestra las funciones a manera general (a). Donde sus entradas son energía, la cual es la que va a alimentar todo el dispositivo y sus componentes, luego se encuentra la cámara DSLR que es el accesorio que posiciona el usuario y este no viene con el dispositivo. A continuación están las

señales de control de avance y retroceso que son las señales que darán movimiento de traslación a la cámara DSLR. La señal de control de pan (paneo), tilt (inclinación) y roll, es la que dará movimiento rotacional a la cámara DSLR. La señal de los sensores de estabilización, es la encargada de actuar en los motores cuando se realiza un movimiento no deseado sobre la cámara y hace que se mantenga en la posición deseada. Al analizar las sub-funciones (b). Se muestran las acciones más específicas que harán el proyecto funcional, para poder analizar estas sub-funciones es necesario realizar búsquedas externas e internas que permitirán conocer a fondo las tecnologías que existen y hacen parte de la solución del problema.

6.4.2 Búsqueda interna – externa. Este tipo de búsquedas ayudan a encontrar tecnologías existentes que se puedan implementar a las sub-funciones obtenidas en el cuadro 9.b, y que permitan resolver el problema general. Esta búsqueda es necesaria porque permite ahorrar tiempo y dinero, al igual que permite identificar de forma preliminar que elementos harán parte del proyecto. A continuación se seleccionan cada uno de las sub-funciones y se realiza la búsqueda externa para cada una.

- Aceptar voltaje de entrada: serán las diferentes fuentes de energía que se puede implementar al dispositivo.

- Batería de níquel-cadmio: comúnmente abreviado como "NiCd", es una batería recargable de uso doméstico e industrial (profesionales). Cada vez se usan menos (a favor de las baterías de NiMH), debido a su efecto memoria y al cadmio, que es muy contaminante). Sin embargo, poseen algunas ventajas sobre el NiMH, como por ejemplo los ciclos (1 ciclo = 1 carga y descarga) de carga, que oscilan entre los 1.000 y 1.500 ciclos (+ vida). En condiciones estándar, dan un potencial de 1,3 V (tensión de trabajo nominal 1,2 V)¹¹.
- Batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH): es un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de oxidróxido de níquel (NiOOH), como la batería de níquel cadmio, pero su cátodo es de una aleación de hidruro metálico. Esto permite eliminar el cadmio, que es muy caro y, además, representa un peligro para el medio ambiente. Asimismo, posee una mayor capacidad de carga (entre dos y tres veces más que la de una pila de NiCd del mismo tamaño y peso) y un menor efecto memoria. Por el contrario, presentan una mayor tasa de autodescarga que las de NiCd (un 30% mensual frente a un 20%), lo cual relega a estas últimas a

¹¹ Baterías de Ni-Cd. [en línea]. [consultado el 13 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: https://www.ecured.cu/Baterías_de_Ni-Cd.

usos caracterizados por largos periodos entre consumos (como los mandos a distancia, las luces de emergencia, etc), mientras que son desplazadas por las de NiMH en el de consumo continuo. Cada pila de Ni-MH puede proporcionar un voltaje de 1,2 voltios y una capacidad entre 0,8 y 2,9 amperio-hora. Su densidad de energía llega a los 80 Wh/kg. Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria, en el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada), imposibilitando el uso de toda su energía¹².

- **Batería de iones de litio:** también denominada batería Li-Ion, es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito una sal de litio que consigue los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo. Las propiedades de las baterías de Li-ion, como la ligereza de sus componentes, su elevada capacidad energética y resistencia a la descarga, junto con el poco efecto memoria que sufren o su capacidad para funcionar con un elevado número de ciclos de regeneración, han permitido diseñar acumuladores ligeros, de pequeño tamaño y variadas formas, con un alto rendimiento, especialmente adaptados a las aplicaciones de la industria electrónica de gran consumo.

Voltaje proporcionado:

- A plena carga: entre 4,2 V y 4,3 V dependiendo del fabricante.
- A carga nominal: entre 3,6 V y 3,7 V dependiendo del fabricante.
- A baja carga: entre 2,65 V y 2,75 V dependiendo del fabricante (este valor no es un límite, se recomienda).
- Capacidad usual: 1,5 a 2,8 A (en pilas tipo AA).

- **Batería de polímero de litio (LiPo):** Son una variación de las baterías de iones de litio (Li-ion). Sus características son muy similares, pero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior. Estas baterías tienen un tamaño más reducido respecto a las de otros componentes. Cada celda tiene un voltaje nominal de 3,7 V, voltaje máximo 4,2 V y mínimo 3,0 V. Este último debe respetarse rigurosamente ya que la pila se daña irreparablemente a voltajes menores a 3 voltios. Se suele establecer la siguiente nomenclatura XSYP que significa X celdas en serie, e Y en paralelo. Por ejemplo

¹² Baterías de Ni-MH. [en línea]. [consultado el 13 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: http://www.inalarm.mx/2gig/pdf/documentos_enlace/Bateria-2GIG.pdf

3s2p son 2 baterías en paralelo, donde cada una tiene 3 celdas o células. Esta configuración se consigue conectando ambas baterías con un cable paralelo. Las baterías LiPo se venden generalmente de 1S a 4S lo que significa:

- Li-PO 1S: una celda, 3,7 V.
- Li-PO 2S: dos celdas, 7,4 V.
- Li-PO 3S: tres celdas, 11,1 V.
- Li-PO 4S: cuatro celdas, 14,8 V.

- Pila común: Las pilas secas, de zinc-carbono o pilas comunes están formadas por un recipiente cilíndrico de zinc, que es el polo negativo, relleno de una pasta electrolítica, y por una barra de carbón en el centro (electrodo positivo), todo ello sellado para evitar fugas.

Las medidas aproximadas de una pila común son:

- Pila de 9 V: 50 mm × 26 mm × 17 mm.
- Pila AA: 50 mm de longitud y 14 mm de diámetro.

- Pilas alcalinas: Las pilas alcalinas (de «alta potencia» o «larga vida») son similares a las de Leclanché, pero, en vez de cloruro de amonio, llevan cloruro de sodio o de potasio. Duran más porque el zinc no está expuesto a un ambiente ácido como el que provocan los iones de amonio en la pila convencional. Como los iones se mueven más fácilmente a través del electrolito, produce más potencia y una corriente más estable. El voltaje de una pila alcalina está cerca de 1,5 V. Se utilizan para aparatos complejos y de elevado consumo energético. En sus versiones de 1,5 voltios, 6 voltios y 12 voltios se emplean, por ejemplo, en mandos a distancia (control remoto) y alarmas.

- Acoplar cámara Dslr en el sistema de estabilización: será los distintos tipos de accesorios que me permitan unir la cámara con el dispositivo de manera segura.

- Sistema de liberación rápida.

Figura 18. Sistema de liberación rápida.



Fuente: Plato de liberación rápida. [en línea]. [consultado el 7 de Octubre del 2016]. Disponible en internet: <http://www.foto24.com/plato-de-liberacion-rapida-manfrotto-adaptor.html>

- Accesorio de cabeza de gimbal.

Figura 19. Accesorio de cabeza gimbal.



Fuente: Mantona Gimbal TKII. [en línea]. [consultado el 7 de Octubre del 2016]. Disponible en internet: <http://prostudio360.es/Cabeza-de-TrA-pode-Mantona-Gimbal-TKII.html>

- Plataforma de Trípode.

Figura 20. Plataforma de Trípode.



Fuente: Tripod Platforms User manual. [en línea]. [consultado el 7 de Octubre del 2016]. Disponible en internet: <http://www.pdf-manuals.com/1077-tripod-platforms?page=1>

- Cabezal de tripié.

Figura 21. Cabezal de tripié



Fuente: Mini cabeza de bola para tripode. [en línea]. [consultado el 7 de Octubre del 2016]. Disponible en internet: <http://www.amaina.com/cabezas-de-tripode/1883-mini-cabeza-de-bola-para-tripode-ultralayt-cufmh011.html>

- Brazos horizontales.

Figura 22. Brazos Horizontales



Fuente: FEISOL VH-60. [en línea]. [consultado el 7 de Octubre del 2016]. Disponible en internet: https://www.bhphotovideo.com/spanish/c/product/1158995-REG/feisol_vh60hakit_vh_60_horizontal_adapter_kit.html

- Receptor de señal: Las señales que emita el usuario son cruciales al momento de transformarlas en movimiento, el receptor debe ser el óptimo para hacerlo.

- Bluetooth: Se denomina Bluetooth al protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión y basados en transceptores de bajo costo. Los dispositivos que incorporan este protocolo pueden comunicarse entre sí cuando se encuentran dentro de su alcance. Las comunicaciones se realizan por radiofrecuencia de forma que los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión es suficiente. Estos dispositivos se clasifican como "Clase 1", "Clase 2" o "Clase 3" en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una caja de ordenador.

Tabla 6. Tabla de clases de Bluetooth.

Clase	Potencia máxima permitida (mW)	Potencia máxima permitida (dBm)	Alcance (aproximado)
Clase 1	100 mW	20 dBm	~100 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	~5-10 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metro

Fuente: Practicas con arduino EDUBASICA. [en línea]. [consultado el 14 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <https://books.google.com/books?id=OVffZiA9xjgC>.

- WiFi: Cuando se habla de WIFI se hace referencia a una de las tecnologías de comunicación inalámbrica mediante ondas más utilizada hoy en día. WIFI, también llamada WLAN (wireless lan, red inalámbrica) o estándar IEEE 802.11. WIFI no es una abreviatura de Wireless Fidelity, simplemente es un nombre comercial. En la actualidad se puede encontrar con dos tipos de comunicación WIFI:

- 802.11b, que emite a 11 Mb/seg.
- 802.11g, más rápida, a 54 MB/seg.

De hecho, son su velocidad y alcance (unos 100-150 metros en hardware asequible) lo convierten en una fórmula perfecta para el acceso a internet sin cables.¹³

- Radio Control: es la técnica que permite el control de un objeto a distancia y de manera inalámbrica mediante una emisora de control remoto. En el radiocontrol entran en juego tres técnicas fundamentales: la electrónica que se encarga de transformar los comandos dados en ondas de radio en el transmisor y a la inversa en el receptor, la electricidad, encargada de proporcionar la energía necesaria a los dispositivos tanto el comando (o transmisor) como el receptor y la mecánica encargada de mover los accionadores (o servos) que dan las señales eléctricas demoduladas o decodificadas en movimiento mecánico.

Existen todo tipo de vehículos de modelismo dirigidos por radiocontrol, siendo los más populares los coches, los aviones, los barcos, los helicópteros y los submarinos.

- Señales de control para realizar los movimientos (emisor de señal): Son las señales que el usuario genera desde un dispositivo móvil hacia el receptor. Tanto el emisor como el receptor están condicionados uno del otro ya que si se elige un tipo de emisor de señal, el receptor tendrá que corresponder.

- Android: es un sistema operativo basado en el núcleo Linux. Fue diseñado principalmente para dispositivos móviles con pantalla táctil, como teléfonos inteligentes, tablets o tabléfonos; y también para relojes inteligentes, televisores y automóviles. Android soporta las siguientes tecnologías de conectividad: GSM/EDGE, IDEN, CDMA, EV-DO, UMTS, Bluetooth, Wi-Fi, LTE, HSDPA,

¹³ WIFI: La comunicación inalámbrica [en línea]. [consultado el 13 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://www.aulaclie.es/articulos/wifi.html>.

HSPA+, NFC y WiMAX, GPRS, UMTS y HSDPA+. También soporta, cámaras de fotos, de vídeo, pantallas táctiles, GPS, acelerómetros, giroscopios, magnetómetros, sensores de proximidad y de presión, sensores de luz, gamepad, termómetro, aceleración por GPU 2D y 3D.

- iPhone: es una línea de teléfonos inteligentes diseñada y comercializada por Apple Inc. Ejecuta el sistema operativo móvil iOS antes conocido como "iPhone OS" hasta mediados de 2010. El iPhone ofrece servicios de Internet como leer correo electrónico, cargar páginas web y conectividad por Wi-Fi. La primera generación de teléfonos eran GSM cuatribanda con la tecnología EDGE; la segunda generación ya incluía UMTS con HSDPA.; la sexta generación ya incluía 4G LTE. También tiene conectividad Bluetooth 4.0 (2.1 el iPhone 4, 2.0 hasta el 3GS), 3G (Desde 3G), 4G LTE (Desde 5).

- Emisor de radio control: un control remoto que permite controlar un modelo radiocontrol como un coche o un aeromodelo. Una emisora se comunica mediante una antena con el modelo. Hay diferentes sistemas de emisión en AM, FM y 2.4ghz y diferentes métodos de codificación PCM y PPM. El sistema 2.4 GHz casi no recibe interferencia. Actualmente las emisoras de radio control se han generalizado en la emisión de la frecuencia 2,4Ghz , dicha frecuencia funciona totalmente diferente a las antiguas que utilizaban un cristal con una frecuencia fija , estas más modernas emiten en una banda más ancha llamada DSS (Distribución dinámica de espectro) también utilizada por el estándar Bluetooth o Wi-Fi.

- Procesamiento de señal de control y sensores: es el acondicionamiento de señal que se necesita para poder mandar el correcto control en los motores, es necesario realizar procesamiento de señal para esto se cuenta con diferentes tipos de hardware que pueden ser programados.

- Arduino: es una compañía de hardware libre y una comunidad tecnológica que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware y software, compuesta respectivamente por circuitos impresos que integran un microcontrolador y un entorno de desarrollo (IDE), en donde se programa cada placa. Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios. Toda la plataforma, tanto para sus componentes de hardware como de software, son liberados bajo licencia de código abierto que permite libertad de acceso a los mismos.

El hardware consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida, los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields), que amplían las características de funcionamiento de la placa Arduino. Asimismo, posee un puerto de conexión USB desde donde se puede alimentar la placa y establecer comunicación serial con el computador.

- PIC: Un PIC es un circuito integrado programable (Programmable Integrated Circuited), el cual contiene todos los componentes para poder realizar y controlar una tarea, por lo que se denomina como un microcontrolador.

Un microcontrolador PIC es una buena idea para controlar un proceso en la electrónica. Ofrece varias ventajas, ya que en un pasado no muy lejano (en la década del 90 para atrás) era imposible programar algo de una forma tan sencilla como con un microcontrolador PIC. Es muy fácil efectuar la programación, ya que se realiza desde la computadora en un software y el PIC se coloca en una placa grabadora. Existen varias empresas de electrónica que se dedican a vender estas placas grabadoras de PIC. Entonces, se conecta a la PC y se ingresa el código en hexadecimal que el microcontrolador va a tener. Es una tarea relativamente sencilla si se sabe programar. Un lenguaje de programación muy usado para los PIC es el C¹⁴.

SimpleBGC: El controlador 32 bits BaseCam SimpleBGC se utiliza para la construcción de sistemas de estabilización para cámaras de 3 ejes de alta calidad. Esta placa se despliega en cámaras de mano montadas en muchos sistemas disponibles en todo el mundo. Hay también cada vez más el uso de vehículos aéreos (UAV). Con su procesador ARM de 32 bits del tablero posee suficiente energía para cualquier nivel práctico de la complejidad de los algoritmos, y junto con MEMS Premium, giroscopios que utilizan FETS de alta eficiencia que le da energía suficiente para conducir la mayoría de equipos de grado cine cuando se configura correctamente¹⁵.

- Control de motores para movimiento (tipo de motor): una vez se tiene el procesamiento de señal se debe elegir el correcto motor para el funcionamiento que se necesita y que el usuario desea.

¹⁴ Ventajas y desventajas de los microcontroladores PIC [en línea]. [consultado el 13 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://gigatecno.blogspot.com.co/2013/02/ventajas-y-desventajas-de-los.html>

¹⁵ BaseCam SimpleBGC de 32 bits. [en línea]. [consultado el 16 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <https://www.basecamelectronics.com/simplebgc32bit/>

- El motor paso a paso. conocido también como motor de pasos es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control. El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un conversor digital-analógico (D/A) y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas digitales.

Este motor presenta las ventajas de tener precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento. Entre sus principales aplicaciones destacan los robots, drones, radiocontrol, impresoras digitales, automatización, fotocomponedoras, pre prensa, etc.

- Servomotor. (también llamado servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Un servomotor es un motor eléctrico que puede ser controlado tanto en velocidad como en posición. Es posible modificar un servomotor para obtener un motor de corriente continua que, si bien ya no tiene la capacidad de control del servo, conserva la fuerza, velocidad y baja inercia que caracteriza a estos dispositivos¹⁶.

- El motor de corriente continua. (denominado también motor de corriente directa, motor CC o motor DC) es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción que se genera del campo magnético. El principal inconveniente de estas máquinas es el mantenimiento, muy caro y laborioso, debido principalmente al desgaste que sufren las escobillas al entrar en contacto con las delgas. Algunas aplicaciones especiales de estos motores son los motores lineales, cuando ejercen tracción sobre un riel, o bien los motores de imanes permanentes. Los motores de corriente continua (CC) también se utilizan en la construcción de servomotores y motores paso a paso. Además existen motores de DC sin escobillas llamados brushless utilizados en el aeromodelismo por su bajo torque y su gran velocidad. Es posible controlar la velocidad y el par de estos motores utilizando técnicas de control de motores CD.

- Motor brushless es un motor eléctrico que no emplea escobillas para

¹⁶ KOSOW, Irving L. Máquinas eléctricas y transformadores. 2 ed. London: Pearson Educación. 1993. p. 323.

realizar el cambio de polaridad en el rotor. Los primeros motores sin escobillas fueron los motores de corriente alterna asíncronos. Hoy en día, gracias a la electrónica, se muestran muy ventajosos, ya que son más baratos de fabricar, pesan menos y requieren menos mantenimiento, pero su control era mucho más complejo. Esta complejidad prácticamente se ha eliminado con los controles electrónicos.

- Señal de sensores de estabilización: Esta señal se genera desde sensores que permiten mantener una posición estable de la cámara. Estos son necesarios para cumplir una de las subfunciones más importantes del producto.

- Inclinómetro: “están pensados para la conversión de una magnitud física en una eléctrica. En este caso, la inclinación es la magnitud física. Cuyo rango puede partir de unos pocos grados, para las medidas de inclinación con mucha precisión, hasta el giro completo de 360°. En cuanto a la señal de salida puede ser proporcional al ángulo o proporcional al seno del ángulo, pudiendo ser en corriente, tensión o digital”¹⁷.

- Acelerómetro: Se denomina acelerómetro a cualquier instrumento destinado a medir aceleraciones. Esto no es necesariamente la misma que la aceleración de coordenadas (cambio de la velocidad del dispositivo en el espacio), sino que es el tipo de aceleración asociada con el fenómeno de peso experimentado por una masa de prueba que se encuentra en el marco de referencia del dispositivo. Un ejemplo en el que este tipo de aceleraciones son diferentes es cuando un acelerómetro medirá un valor sentado en el suelo, ya que las masas tienen un peso, a pesar de que no hay cambio de velocidad. Sin embargo, un acelerómetro en caída gravitacional libre hacia el centro de la Tierra medirá un valor de cero, ya que, a pesar de que su velocidad es cada vez mayor, está en un marco de referencia en el que no tiene peso.

- Giroscopio MEMs: “Emplea una tecnología microelectromecánica (MEMS) con un sensor de silicio, gracias a unas placas especiales que actúan a modo de condensadores. Los cambios de intensidad se convierten en datos digitales y eso es lo que lee el microprocesador. Este tipo de sensores son los que van en los iPhone, Android y similares, además de en muchas cámaras de fotos y

¹⁷ Sensores de inclinación. [en línea]. [consultado el 16 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Inclin%C3%B3metros---Sensores-de-inclinaci%C3%B3n_62/.

robots”¹⁸.

- Giroscopio digital de 3 ejes: Este giroscopio se encuentra montado en una board, se basa en el sensor de giro de tres ejes, el cual mide la velocidad angular de rotación en el eje X, Y y Z, las señales tomadas son de tipo digital y puede ser en protocolo I2C o SPI , en la board se integra filtros pasa bajos para la reducción de ruido, las aplicaciones para las que se usan los giroscopios van desde control de posición en robótica móvil hasta vehículos aéreos autónomos.
- IMU: “Unidad de Medición Inercial o IMU (por las siglas en inglés de Inertial Measurement Unit) es un dispositivo electrónico cuyo objetivo es obtener mediciones de velocidad, rotación y fuerzas gravitacionales en forma autónoma. Se utilizan como componentes fundamentales en los sistemas de navegación de barcos, aviones, helicópteros, misiles o cualquier móvil en que sea necesario estimar estas mediciones”¹⁹.

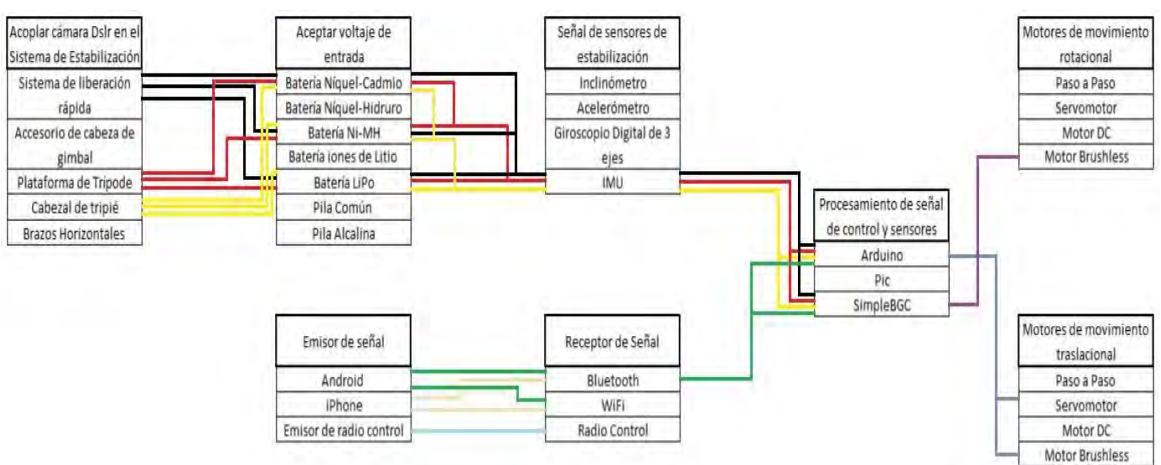
Típicamente, una IMU está compuesta por un conjunto de acelerómetros y giróscopos, que obtienen datos de uno o más ejes ortogonales (dependiendo de los requerimientos del sistema), enviándolos a algún sistema computarizado que realiza los cálculos necesarios para obtener las estimaciones de aceleración y velocidad de rotación requeridas.

6.4.3 Exploración Sistemática. Gracias y a través de la búsqueda externa se tienen diferentes tipos de conceptos que permitirán solucionar los problemas específicos que tiene el proyecto, a través de la exploración sistemática se puede organizar estos conceptos obtenidos de tal forma que se pueden organizar, asociar y conectar para encontrar una mejor solución que abarque cada parte del proyecto. Para esto es necesario realizar una tabla de combinación de conceptos que podemos ver en el cuadro 10. Los fragmentos seleccionados como conceptos, fueron elegidos porque desde un principio son factibles. Así no se tiene que pensar en que se hizo una búsqueda externa innecesaria. Cabe señalar que esta tabla de combinación no da una solución inmediata al problema general planteado, algunas combinaciones podrán no ser posibles o generar múltiples soluciones.

¹⁸Giroscopio digital. [en línea]. [consultado el 16 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://www.microsiervos.com/archivo/tecnologia/giroscopio-digital-microscopio.html>.

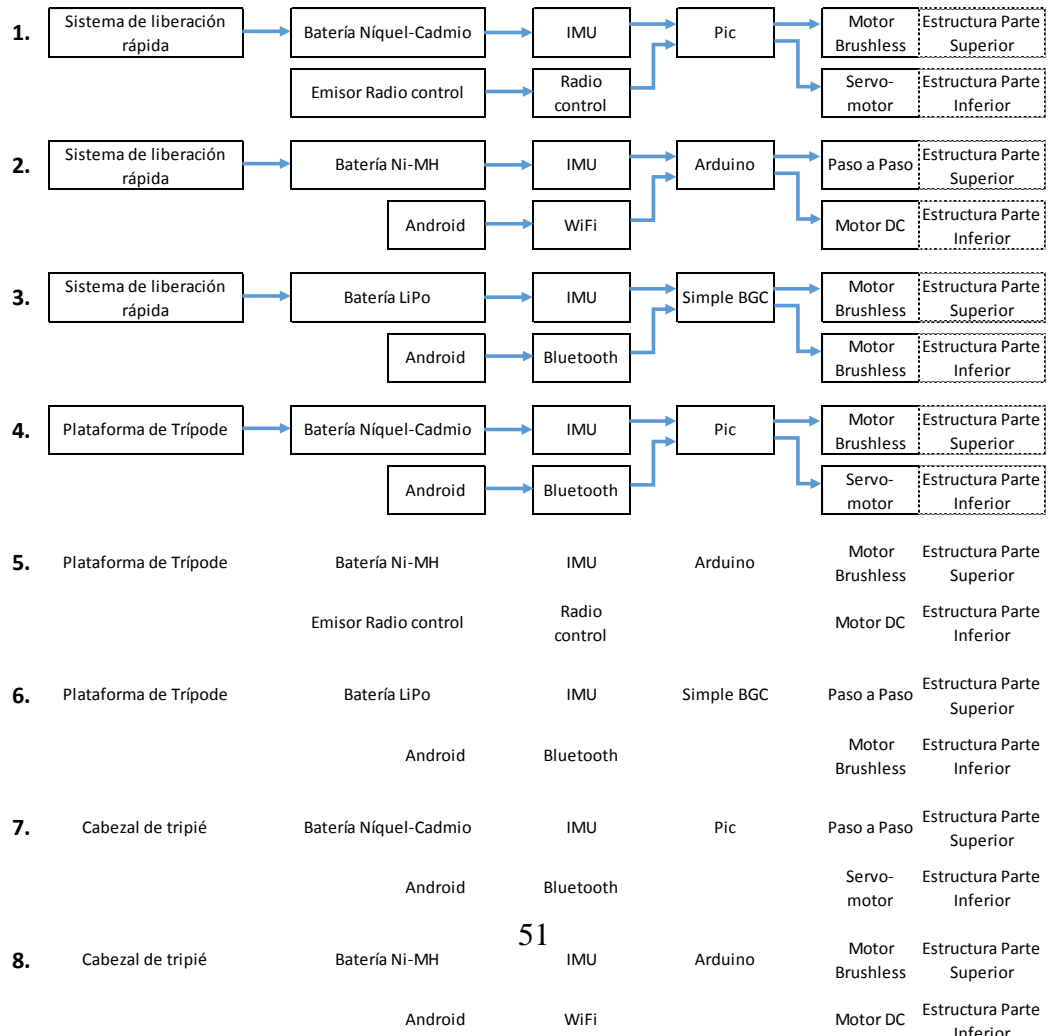
¹⁹Unidad de medición inercial. [en línea]. [consultado el 18 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://smartdreams.cl/unidad-de-medicion-inercial-imu/>.

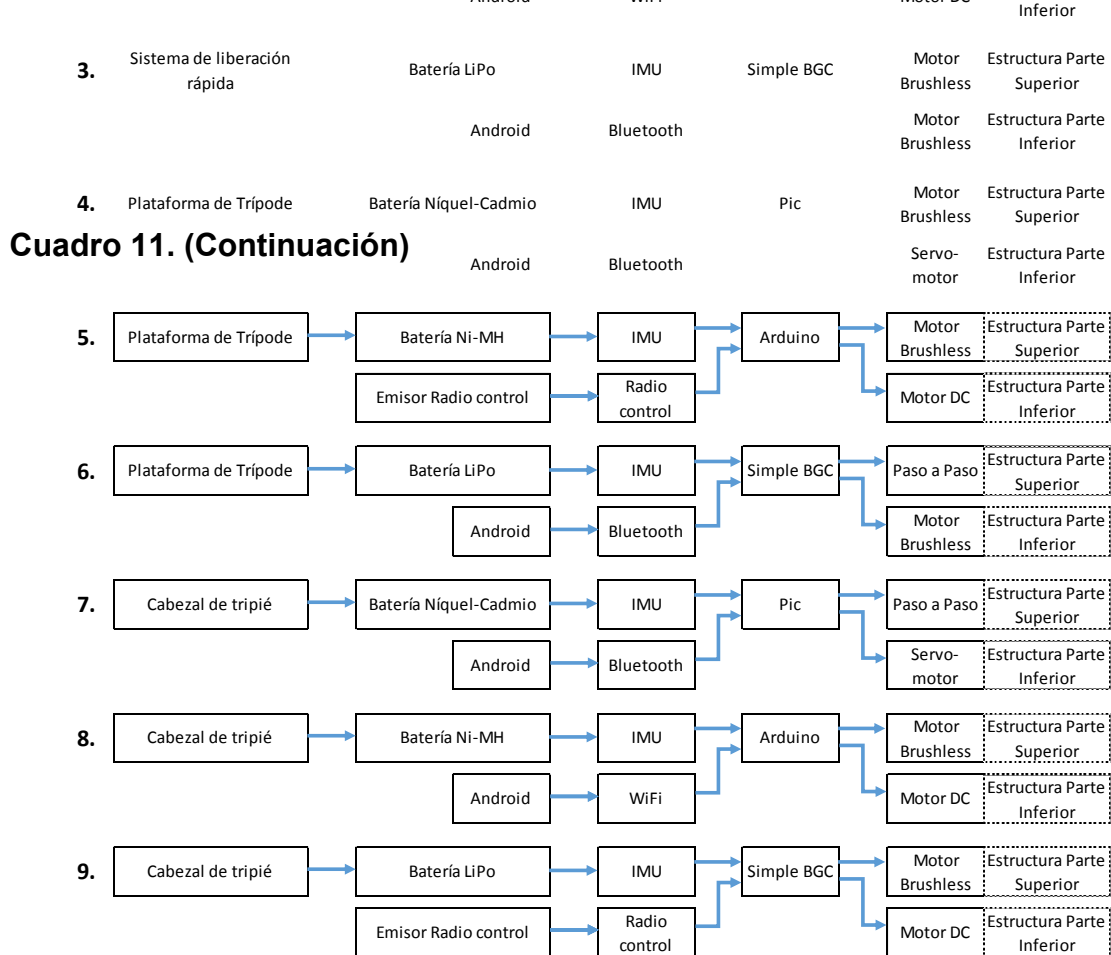
Cuadro 10. Tabla de combinación de conceptos.



Los conceptos generados a través de la tabla de combinación se encuentran organizados en el cuadro 11.

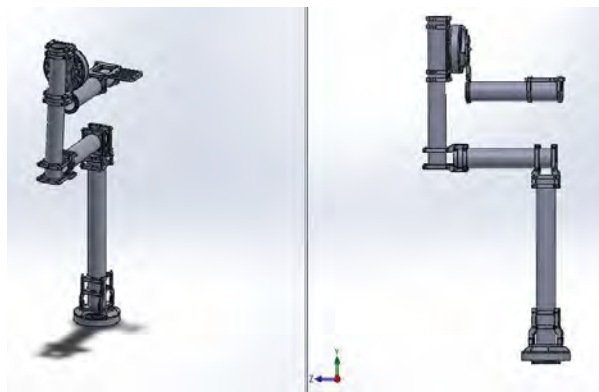
Cuadro 11. Conceptos generados





Conceptos para la estructura física.

Figura 23. Concepto #1



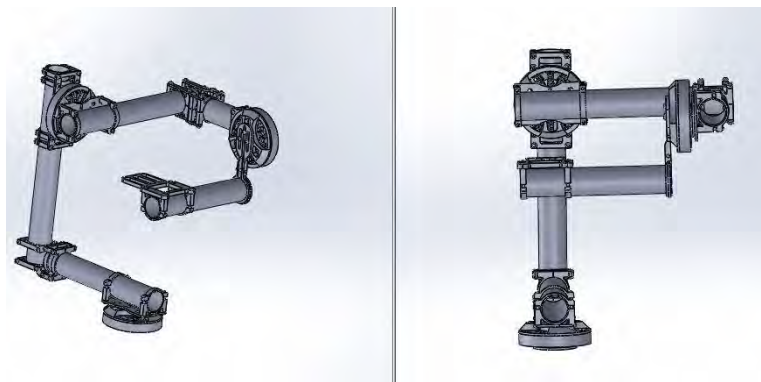
Este concepto solo comprende dos ejes de movimiento (paneo e inclinación), su estructura es muy compacta y permite tener portabilidad y menos uso de material.

Figura 24. Concepto #2



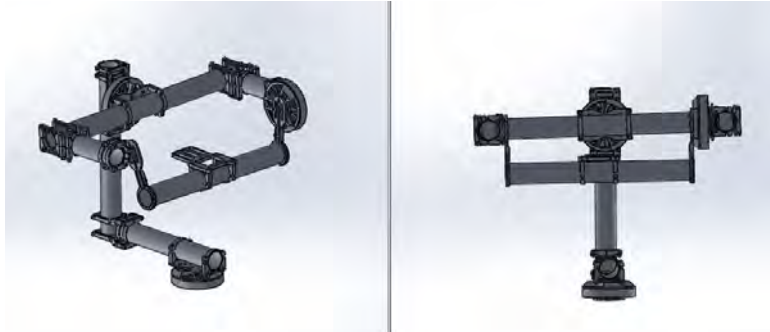
Este concepto también comprende dos ejes de movimiento para la cámara, pero intenta contra arrestar la deformación que pueda generar el peso de la cámara sobre un eje.

Figura 25. Concepto #3



Este concepto comprende 3 ejes de movimiento (paneo, inclinación y rollo) y su centro de gravedad es más bajo para evitar inestabilidad.

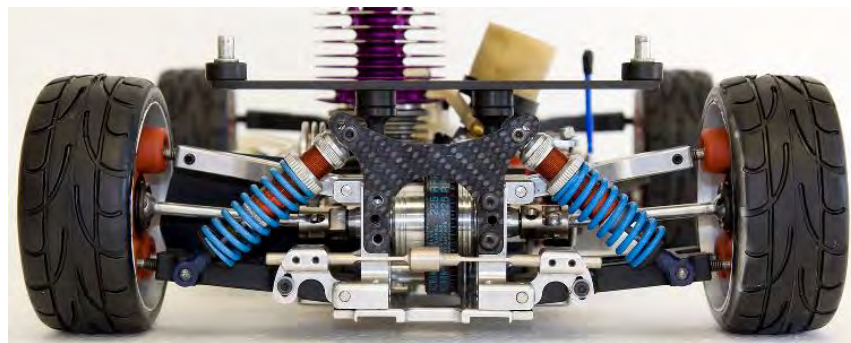
Figura 26. Concepto #4



Este diseño comprende los 3 ejes y presenta dos puntos de soporte para la cámara con el fin de evitar deformaciones en la estructura y en el eje del motor. También tiene su centro de gravedad bajo para tener mayor estabilidad.

Para la estructura inferior donde se aplica el movimiento traslacional, se basa totalmente en un diseño de coche RC. Debido a que la suspensión y estructura permiten tener una base estable durante el movimiento.

Figura 27. Estructura de un coche RC.



Fuente: BLADE RX1. [en línea]. [consultado el 7 de Octubre del 2016]. Disponible en internet:

6.5 DISEÑO CONCURRENTE

Para cada sub-función se sigue una línea con cada fragmento de concepto, que a su finalidad generarán varios conceptos, que a su medida serán analizados. Para el *acople de cámara en el sistema de estabilización*, no se tuvieron en

cuenta los accesorios de cabeza gimbal y los brazos horizontales debido a que estos dispositivos mecánicos son muy complejos y de dimensiones grandes con respecto a lo compacto que se quiere el producto.

En *aceptar voltaje de entrada*, solo se tuvieron en cuenta tres tipos de batería debido a que estas son las más comunes en proyectos que incluyen motores, placas de procesamiento y son más fáciles de adquirir.

Para los *sensores de estabilización*, solo se toma como opción el IMU ya que estos integran giroscopios y a su vez acelerómetros, todos integrados en una placa a pesar de sus desventajas, como errores de offset, es más fácil su corrección a través de programación, no se escogen las otras opciones debido a que el uso de un giroscopio en solitario o un acelerómetro en solitario no entrega mayor precisión que un IMU.

El *emisor de señal*, puede ser cada una de las opciones mostradas en la búsqueda interna - externa, cada una es factible, pero se opta por Android ya que es un sistema operativo muy usado y es más asequible y no requiere de conocimientos avanzados para su manejo, además su conectividad ofrece variedad de opciones, sin embargo también podría ser usado para los usuarios de iPhone. Usar radio control también tiene sus ventajas ya que permite controlarlo a distancias muy largas, pero adquirir un control emisor para radio control puede ser algo costo y sería un aditamento, que puede ser incomodo a la hora de manejarlo.

Para el receptor de señal es preferible usar bluetooth ya que no es costoso y su adecuación es más sencilla, también puede ser usado con radio control, solo que por el momento como emisor se utilizará Android así que para futuros cambios o versiones de desarrollo se puede adecuar con radio control.

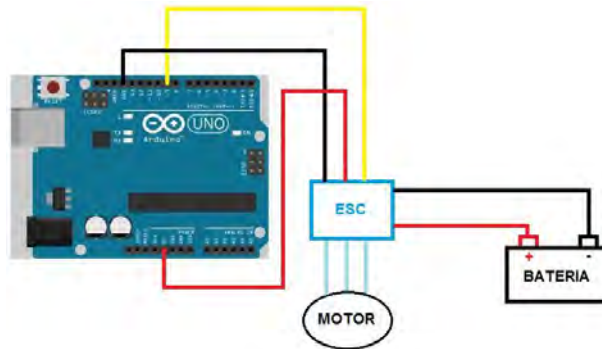
El *procesamiento de señal de control y sensores*, tiene varias opciones que se pueden combinar, es decir que no solamente se puede elegir una sola opción, si no que se pueden usar varias opciones en conjunto. Durante la búsqueda externa, se encontró un fragmento de concepto para el procesamiento, se trata de la placa SimpleBGC, que reúne en su totalidad muchas de las sub-funciones que se tienen para el proyecto y al mismo tiempo es compatible con otras, como se mencionaba al principio de este párrafo, se puede tener las funcionalidades de un Arduino junto con las ventajas de una placa de SimpleBGC.

Pic es una opción presente pero no se toma en cuenta ya que no es un micro-controlador adaptable y flexible como los demás, si existe algún cambio en varios componentes, requiere que se haga un cambio significativo en la adecuación del Pic y esto necesita de tiempo.

6.5.1 Pruebas. Uno de las sub-funciones que puede ser crítica o que debe ser analizada con más detalle es el *Movimiento traslacional del dispositivo*, debido a que este es encargado de desplazar de un lugar a otro todo el sistema del Dolly. Por eso se realizan unas pruebas físicas que permitan visualizar que conceptos son los más débiles para esta sub-función.

“Para el *movimiento traslacional del dispositivo*, utilizar un motor brushless puede ser factible, pero al momento de implementarlo se necesita de adecuaciones electrónicas extras como un ESC como se muestra en la figura 28, o que el motor tenga un encoder para saber su posición”²⁰.

Figura 28. Configuración electrónica para un motor brushless.



Fuente: Controle de velocidad de do motor brushless com Arduino. [en línea]. [consultado el 21 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <https://automacaoifrsrg.wordpress.com/category/sem-categoria/>

Debido a esto puede ser más conveniente el uso de un motor DC o en su mejor caso un motorreductor para obtener mayor torque, no se requiere mucha velocidad para el dispositivo ya que si se analiza la tabla 5, se puede ver que el máximo de rpm necesarios según benchmarking, para estos dispositivos es de

²⁰BARAZA, Carlos. ESC's. [en línea]. 19, noviembre, 2010. [consultado el 21 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://www.quadruino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/esc>

300 rpm. Y no requiere la misma adecuación electrónica que un motor brushless permitiendo un control de movimiento con un mando a distancia.

6.6 PLANEACIÓN DE PROTOTIPADO

Para los prototipos se analizan los resultados de la tabla 7 que permiten planear de forma correcta cada uno de los elementos tanto electrónicos como de estructura física, donde se incluirán todos los datos de los prototipos para cada elemento.

Tabla 7. Planeación de prototipo

Elemento	Físico Vs Analítico	Parcial Vs Completo	Propósito	Plan Experimental
Batería LiPo	Físico	Parcial	Aprendizaje	Se realizó pruebas de rendimiento en tiempo de la batería, conectando tarjeta de control, junto con motores brushless y sensores.
Sensores de estabilización IMU	Físico	Completo	Milestones	Se realizó pruebas de los sensores con la estructura de la parte superior que comprende (motores brushless, cámara y estructura física)
Motores Brushless	Físico	Completo	Milestones	Se realizó pruebas de la capacidad de torque de los motores, acoplandolos a la estructura de la parte superior y agregando una cámara que normalmente se usaría en el producto.
Tarjeta de control SBGC	Analítico	Completo	Milestones	Se realizó pruebas de respuesta y capacidad de procesar los datos de los sensores y entregar la corriente correcta a los motores para realizar la estabilización
Estructura de la parte superior	Físico	completo	Integración	Se colocaron todos los componentes de la parte superior sobre la estructura superior para analizar si soporta los pesos y los movimientos sean los adecuados.
Comunicación con dispositivo móvil	Físico	Parcial	Aprendizaje	Comprobar la funcionalidad de los dispositivos bluetooth para lograr la comunicación entre el dispositivo móvil y la tarjeta de control SBGC
Estructura de Acople	Físico	Completo	Integración	Se crearon las estructuras de acople que con los materiales exactos y medidas adecuadas según análisis de resultados dados por el fabricante
Motores DC	Analítico	Parcial	Aprendizaje	Obtener la parte superior y acople con todos los componentes para hacer cálculo de torques con la llanta adecuada y peso total de la estructura
Tarjeta de control arduino	Físico	Parcial	Aprendizaje	Revisar el consumo de corriente y la función para los movimientos traslacionales una vez armada la estructura de la parte inferior. Para conocer el Driver correcto para los motores
Estructura de la parte Inferior	Físico	Parcial	Aprendizaje	Realizar estructura de la parte inferior para revisar su sistema de suspensión para que permita un movimiento fluido

6.7 SELECCIÓN DEL CONCEPTO

Una vez teniendo los conceptos generados gracias a la tabla de combinación, se debe hacer una selección del concepto, para que el producto sea enfocado al cliente y se tomen las mejores decisiones y se cumpla cada una de las necesidades que el usuario tiene. También genera un diseño competitivo, ya que para la selección del concepto se usa diseños existentes como referencia, para mejorar, igualar o analizar si el rendimiento del producto es peor que el rendimiento de la competencia. Para realizar la correcta selección del concepto se usa la tabla 8, que se trata de una matriz de selección, donde se reúnen los conceptos obtenidos y se comparan con criterios de selección, tomando como referencia el concepto 8, dando una calificación de; mejor que (+), Igual a (0) o peor que (-). Luego se saca un puntaje total de cuantos +, -, 0, obtuvo cada concepto y el de mejor calificación sería el concepto a desarrollar, no es necesario ligarse en este proyecto a un solo concepto a desarrollar ya que se pueden escoger varios con mejores puntajes que se puedan poner a prueba y analizar el rendimiento.

Tabla 8. Matriz de selección de conceptos.

Criterios de selección	Conceptos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Precisión	0	0	0	0	0	0	+	0	0
Fácil manufactura	-	0	+	-	-	+	-	0	0
Costo de componentes	-	-	-	0	0	-	-	0	-
Adaptabilidad a cambios	-	0	+	-	0	0	-	0	+
Durabilidad (tiempo de uso)	-	0	+	-	0	+	-	0	+
Control emisor sencillo	-	0	+	0	-	+	0	0	-
Programación	-	-	+	-	0	+	-	-	0
Alcance en conexión	+	+	0	0	+	0	0	+	+
Estabilidad en conexión	+	-	0	0	+	0	0	-	+
Suma +	2	1	5	0	2	4	1	1	4
Suma 0	1	5	3	5	5	4	3	6	3
Suma -	6	3	1	4	2	1	5	2	2
Puntaje	-4	-2	4	-4	0	3	-4	-1	2
Continuar? (Si, No, C=combinar)	NO	NO	C	NO	NO	SI	C	NO	C

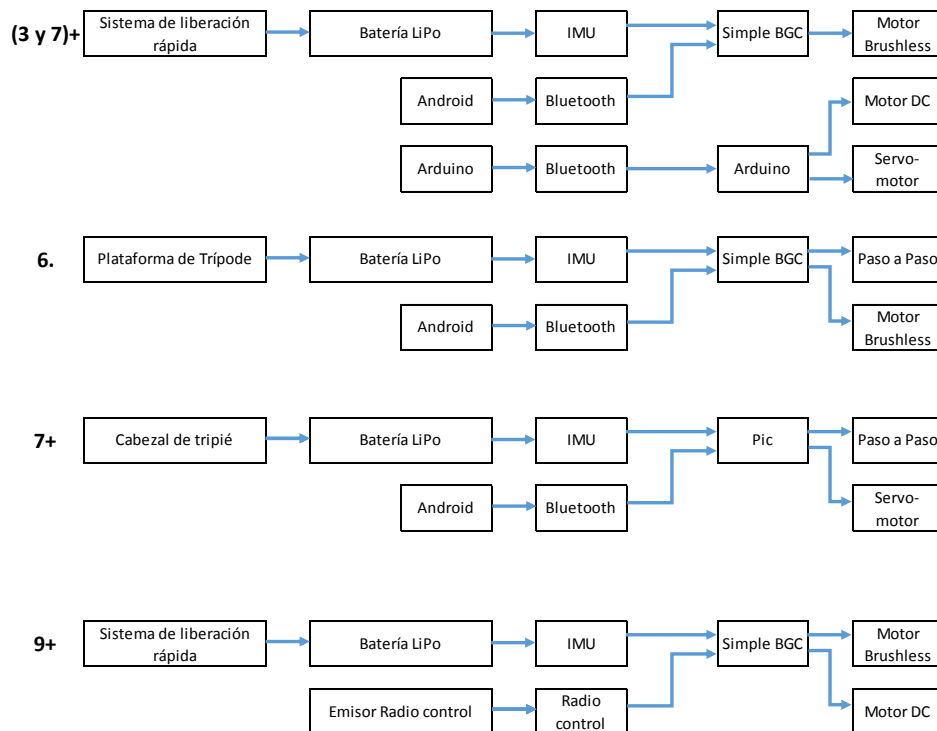
En un principio, en la tabla 8, se muestra todos los conceptos generados y los criterios de selección, en un principio se tuvo dentro de los criterios, *fácil manejo*, pero debido a los resultados obtenidos frente a los conceptos donde no había variabilidad con respecto a cada uno, se decidió omitir este criterio. Los conceptos que obtuvieron peor puntaje, se decide desecharlos para poder refinar más la matriz y se obtiene la tabla 9.

Tabla 9. Refinamiento de la matriz de selección de concepto.

Criterios de selección	Conceptos			
	3	6	7	9
Precisión	0	0	+	0
Fácil manufactura	+	+	-	0
Costo de componentes	-	-	-	-
Adaptabilidad a cambios	+	0	-	+
Durabilidad (tiempo de uso)	+	+	-	+
Control emisor sencillo	+	+	0	-
Programación	+	+	-	0
Alcance en conexión	0	0	0	+
Estabilidad en conexión	0	0	0	+
Suma +	5	4	1	4
Suma 0	3	4	3	3
Suma -	1	1	5	2

Estos conceptos se pueden combinar entre sí para obtener uno o más conceptos mejorados. En el cuadro 12, se encuentra los conceptos combinados de la tabla 9, donde lo que se busca es eliminar desventajas y mejorar las ventajas con el fin de tomar la mejor decisión preliminar de concepto.

Cuadro 12. Resultados de combinaciones de conceptos.



Para el concepto 3 se combinan fragmentos de las diferentes definiciones con el fin de mejorar criterios, se incluye utilizar dos tarjetas cada una específicamente para cada tipo de movimiento y consecuente a esto se agrega uno de los tipos de motor que se encuentra en el concepto 7 y 9. Para el concepto 7 se decide cambiar el tipo de batería ya que en los demás conceptos predominó la Batería LiPo. Para el concepto 9 se cambia el tipo de acople de cámara ya que el *Sistema de liberación rápida* es mucho más sencillo que los otros tipos de acoples. En la tabla 10, se evalúan los conceptos para tener una mejor resolución y diferencia entre cada uno de ellos que permita realizar una mejor selección.

Tabla 10. Matriz de evaluación de conceptos

Criterios de selección	Peso %	(3 y 7)+		6 (referencia)		7+		9+	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Precisión	11	4	0,44	3	0,33	4	0,44	2	0,22
Fácil manufactura	8	3	0,25	3	0,25	2	0,17	3	0,25
Costo de componentes	14	4	0,56	3	0,42	3	0,42	3	0,42
Adaptabilidad a cambios	8	4	0,33	3	0,25	2	0,17	3	0,25
Durabilidad (tiempo de uso)	8	3	0,25	4	0,33	3	0,25	3	0,25
Control emisor sencillo	14	4	0,56	3	0,42	3	0,42	2	0,28
Programación	14	3	0,42	3	0,42	2	0,28	3	0,42
Estabilidad en conexión	22	3	0,67	3	0,67	3	0,67	4	0,89
Total puntos			3,47		3,08		2,81		2,97

Al realizar la matriz de evaluación, primero se realiza una ponderación de los criterios, es decir se le asigna un peso de importancia en porcentaje. Al momento de realizarlo se obtiene que uno de los criterios de selección, *alcance en conexión*, obtuvo 0%, este se excluye de la tabla 10 y se procede a realizar los cálculos, tomando como referencia el concepto 6.

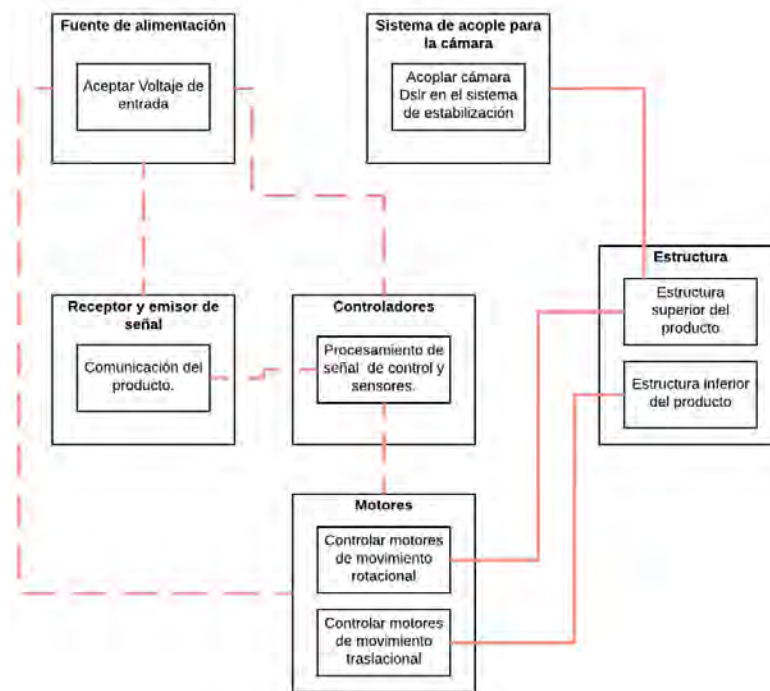
Los resultados que arroja la tabla 10, dejan ver que el concepto combinado y mejorado de (3 y 7)+, obtiene la mejor calificación, es decir que es no es el concepto definitivo con el que el proyecto va a apegarse, pero si es el mejor concepto a desarrollar y probar. Obtiene el mejor punto debido a que su elección de motores presenta una mejor precisión, ya que se incluye servomotores, la combinación de placas de *open source*, permite una conexión modular, dejando vía libre para ser adaptable a cambios y generar un mejor emisor de control, sencillo para su uso, a su vez que la programación se vuelve sencilla ahorrando tiempo en su fabricación, con respecto a los costos no disminuyen, pero son tantos los beneficios que el concepto ofrece, que es aceptable, ya que en los otros conceptos, si se requiere un cambio, podría generar un costo más alto que en el concepto mejor calificado.²¹

²¹ SonRobots. Motores, servomotores y motores Paso a paso. [en línea]. [consultado el 21 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://sonrobots.com/arduinos/motores-servomotores-y-motores-paso-a-paso/>

6.8 ARQUITECTURA DEL PRODUCTO.

A través de la arquitectura del producto, se establecen los elementos funcionales, que son obtenidos de la descomposición de la caja negra trabajados anteriormente, es decir que vienen siendo las sub-funciones y estos se relacionan con los elementos físicos, que son aquellos que se obtienen de los conceptos generados en la selección. Estos elementos físicos se pueden relacionar con respecto a los elementos funcionales a través de flujo de material y señales entre sí, los cuales se organizan en “*chunks*” o trozos que agrupan ambos elementos como se puede ver en el esquema de la figura 29. Todo esto con el fin de expresar un esquema de cómo irán las componentes físicas del dispositivo y las funciones que estos generan con respecto al concepto que se va a desarrollar.

Figura 29. Organización a trozos de los elementos funcionales y físicos



Las líneas punteadas representan el flujo de señal o datos entre cada bloque y las líneas no punteadas representa el flujo o relación de material entre cada bloque. Algunas líneas están conectadas a un bloque entero porque afectan a un grupo completo y otras están conectadas un bloque en específico debido a que solamente afecta a un elemento en específico.

El producto se compone de dos estructuras una inferior y una superior mostradas en el anexo A, donde la inferior estará conformada por unas ruedas que permitan el desplazamiento y estarán impulsadas por un motores DC, para avanzar hacia adelante o atrás, que también dará dirección hacia la derecha o izquierda del dispositivo. Este dispositivo estará controlado por una placa de procesamiento (Arduino), que estará conectada con el usuario a través de Bluetooth, el usuario tendrá un Joystick para facilitar el control, llevar la dirección y velocidad de la estructura inferior. Todo esto alimentado con una batería LiPo de alta capacidad. Encima de la estructura inferior estará ubicada la superior, que está conformada por una estructura de 3 ejes de libertad conocidos como (Tilt (inclinación), Pan (paneo), Roll (rodamiento).), un motor brushless para cada eje generará el movimiento, el control de estos ejes será a través de una placa de procesamiento (SimpleBGC), que recibirá señales del IMU, para mantener la estabilidad de la cámara que el usuario acople a la estructura superior, también el usuario podrá ejecutar movimiento de los ejes a través de una aplicación conectada a la placa vía Bluetooth. Todo el conjunto de esta estructura estará alimentado por una batería LiPo.

Para un mejor análisis se realiza un esquema. Ver figura 30. Que muestra la relación directa de los elementos físicos con los elementos funcionales de manera más explícita, esto con el fin de entender qué tipo de arquitectura va a manejar el producto ya sea modular o integral.

Figura 30. Relación directa entre los elementos físicos y funcionales

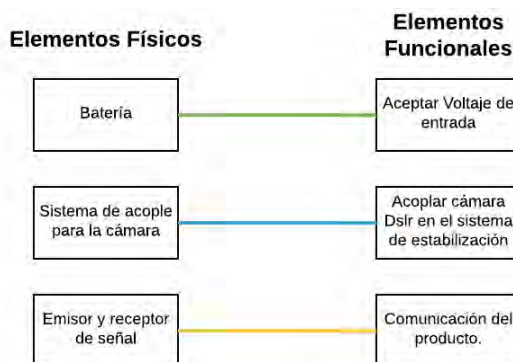
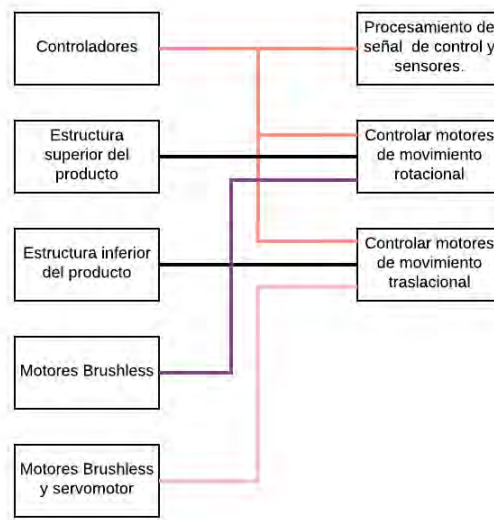


Figura 30. (Continuación)



Si se analiza la figura 30, podemos plantear que la arquitectura que se presenta para el producto es una arquitectura tanto modular como integral. Donde ciertos componentes físicos como la batería, el acople, los emisores y receptores pueden ser reemplazados sin comprometer las demás partes de la estructura. Y puede permitirse hacer mejoras o variantes del producto.

6.9 DISEÑO DETALLADO

En los anexos de la A hasta la P, se muestra el diseño realizado en SolidWork para observación y detalle de las estructuras superior e inferior que hacen parte del producto, las medidas son mostradas en milímetros.

6.9.1 Diseño para manufactura. A través de este proceso se puede analizar que para el dispositivo se puede reducir el número de partes que componen la parte superior, mas principal mente para el sistema superior debido a la cantidad de piezas individuales que se requieren para tenerlo armado y como son muchas piezas estas requiere de una gran cantidad de acoples en su armado. Al reducir se puede mejorar el tiempo de manufactura, ya que inicialmente el armado genera demasiados retrasos por el armado de piezas pequeñas como las uniones y los tornillos. La ventaja del dispositivo es que se usan elementos estándar para maquinado como los agujeros ya que estos son en su totalidad de un mismo tamaño tanto para la parte superior como la parte inferior. Los maquinados de la parte inferior como lo son los agujeros se realizan con el fin de

que los mecanismos de sujeción queden alineados para evitar mayores complicaciones al momento del armado. Para todo el dispositivo gracias a que sus partes son pequeñas no requiere de maquinados grandes y muy largos que generen costos indeseados. Durante el proceso de ensamble existieron piezas que tuvieron que ser modificadas de forma inmediata como lo fueron, las placas superiores e inferiores ya que estas chocaban con los amortiguadores.

6.9.1.1 Diseño para manufactura parte superior

Tabla 11. Parte superior con niveles de sub-ensamble.

1 Nivel de Sub-Ensamble	2 Nivel de Sub-Ensamble	3 Nivel de Sub-Ensamble	# Identificador	Nombre descriptivo	Cantidad	Función	Características Esenciales para cumplir su función
x			1	Sistema Rotacional	1	Genera el movimiento rotacional para la cámara.	Movientos sin choques entre piezas
x			1.1	Estructura para paneo	1	Permite el movimiento de paneo para todo el sistema.	Longitudes precisas
	x		1.1.1	Base para soporte	1	Acople al sistema traslacional y soporte para motor de paneo	Resistente a la torsión
		x	1.1.1.1	Sujetadores Dobles	6	Aseguran las placas de soporte entre si	Resistente a altos esfuerzos cortantes
		x	1.1.1.2	Placas de Soporte	2	Permite la unión entre el motor de paneo y la base para soporte	Medidas precisas para acople
		x	1.1.1.3	Tornillos	12	Asegura las placas y los sujetadores a la base para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.1.1.4	tuercas	12	Asegura las placas y los sujetadores a la base para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos de compresión
	x		1.1.2	Motor de paneo	1	Genera el movimiento de paneo de toda la estructura	Buen torque
x			1.2	Estructura para roll	1	Permite el movimiento de roll para todo el sistema.	Longitudes precisas
	x		1.2.1	Base de soporte #2	1	Acople de la estructura para paneo, a la de roll	Resistente
		x	1.2.1.1	Placa de Soporte #2	1	Permite la unión entre el motor de paneo y la estructura para roll	Resistente a altos esfuerzos de flexión
		x	1.2.1.2	Sujetadores simples	2	Aseguran la placa de soporte #2 al tubo posicionado en el eje y	Medidas precisas para acople
		x	1.2.1.3	Tornillos	4	Asegura la placa de soporte #2 con los sujetadores para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.2.1.3	tuercas	4	Asegura la placa de soporte #2 con los sujetadores para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos de compresión
	x		1.2.2	Estructura de transmisión del eje Y, al Z	1	Sirve de base para transmitir el movimiento de paneo en la estructura para roll y acoplar uno de los sensores IMU	Resistente

Tabla 11. (Continuación).

		x	1.2.2.1	Tubo posicionado en el eje Y	1	Trasmite el movimiento de paneo a lo largo del eje Y	Diametro exacto
		x	1.2.2.2	Sujetadores Dobles	4	Acoplan el tubo en el eje Y con el tubo en el eje Z	Resistente a altos esfuerzos cortantes
		x	1.2.2.4	Placas de Unión	4	Aseguran los sujetadores para lograr el cambio de eje	Resistente a la flexión
		x	1.2.2.3	Sensor IMU	1	Sensar la posición, aceleración e inclinación de la estructura.	Sensibilidad
		x	1.2.2.5	Tornillos	8	Aseguran las placas de unión con los sujetadores	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.2.2.6	Tuercas	8	Aseguran las placas de unión con los sujetadores	Resistente a esfuerzos de compresión
	x		1.2.3	Tubo posicionado en el eje Z	1	Trasmite el movimiento de paneo a lo largo del eje Z	Diametro exacto
	x		1.2.4	Base de soporte #3	1	Soporte para la batería	Resistente
		x	1.2.4.1	Placa de Soporte #3	1	Sostiene la batería a usarse	Resistente a altos esfuerzos de flexión
		x	1.2.4.2	Sujetadores simples	2	Aseguran la placa de soporte #3 al tubo posicionado en el eje Z	Resistente a altos esfuerzos cortantes
		x	1.2.4.3	Batería	1	Alimenta tanto al circuito como a los motores de la estructura	Capacidad y tamaño moderado
		x	1.2.4.4	Tornillos	4	Asegura la placa de soporte #3 con los sujetadores simples para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.2.4.5	Tuercas	4	Asegura la placa de soporte #3 con los sujetadores simples para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos de compresión
	x		1.2.5	Base de soporte #4	1	Soporte para la el uC y el motor de roll	Resistente
		x	1.2.5.1	Placa de soporte #4	2	Una placa sostiene el uC y otra sostiene el motor de roll	Resistente a altos esfuerzos de flexión
		x	1.2.5.2	Sujetadores Dobles	2	Asegura las placas de soporte #4 entre si, con el tubo posicionado en el eje Z	Resistente a altos esfuerzos cortantes
		x	1.2.5.3	Microcontrolador	1	Controla cada uno de los motores usados en la estructura	Respuesta rápida
		x	1.2.5.4	Tornillos	4	Asegura las placas de soporte #4 con los sujetadores dobles para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.2.5.5	tuercas	4	Asegura las placas de soporte #4 con los sujetadores dobles para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos de compresión
	x		1.2.6	Motor de roll	1	Genera el movimiento de roll de toda la estructura	Buen torque
x			1.3	Estructura para tilt (inclinación)	1	Permite el movimiento de tilt para todo el sistema.	Longitudes precisas

Tabla 11. (Continuación).

	x		1.3.1	Base para soporte #5		Acople de la estructura para roll, a la de soporte (1.3)	Resistente
		x	1.3.1.1	Placa de Soporte #5	1	Permite la unión entre el motor de roll y la estructura para tilt	Resistente a altos esfuerzos de flexión
		x	1.3.1.2	Sujetadores simples	4	Aseguran la placa de soporte #5 al tubo posicionado en el eje X	Resistente a altos esfuerzos cortantes
		x	1.3.1.3	Tornillos	8	Asegura la placa de soporte #2 con los sujetadores para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.3.1.3	tuercas	8	Asegura la placa de soporte #2 con los sujetadores para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos de compresión
	x		1.3.2	Estructura de transmisión de roll a la estructura de tilt	1	Sirve de base para transmitir el movimiento de roll en la estructura para tilt	Resistente
		x	1.3.2.1	Tubo posicionado en el eje X	1	Trasmite el movimiento de roll a lo largo del eje X	Diametro exacto
		x	1.3.2.2	Sujetadores Dobles	8	Acopla cada extremo del tubo en el eje X con los tubos posicionados en el eje Y #2 y #3	Resistente a altos esfuerzos cortantes
		x	1.3.2.3	Placas de Unión #2	4	Asegura los sujetadores para acoplar el tubo en el eje X con los tubos posicionados en el eje Y #2 y #3	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.3.2.4	Tornillos	16	Aseguran las placas de unión #2 con los sujetadores	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.3.2.5	Tuercas	16	Aseguran las placas de unión #2 con los sujetadores	Resistente a esfuerzos de compresión
	x		1.3.3	Tubo posicionado en el eje Y #2	1	Soporta el motor de tilt y la estructura de soporte de la cámara en un extremo	Diametro exacto
	x		1.3.4	Base de soporte #6	1	Acople del motor de tilt al tubo posicionado en el eje Y#2	Resistente
		x	1.3.4.1	Placa de Soporte #6	1	Permite la unión entre el motor de tilt y el resto de la estructura (1.3)	Resistente a altos esfuerzos de flexión
		x	1.3.4.2	Sujetadores simples	2	Aseguran la placa de soporte #6 al tubo posicionado en el eje Y #2	Resistente a altos esfuerzos cortantes
		x	1.3.4.3	Tornillos	4	Asegura la placa de soporte #6 con los sujetadores simples para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.3.4.4	Tuercas	4	Asegura la placa de soporte #6 con los sujetadores simples para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos de compresión
	x		1.3.5	Motor de tilt	1	Genera el movimiento de tilt de toda la estructura	Buen torque

Tabla 11. (Continuación).

	x		1.3.3	Tubo posicionado en el eje Y #3	1	Soporta el rodamiento y la estructura de soporte de la cámara en un extremo	Diametro exacto
	x		1.3.4	Base de soporte #7	1	Acople del rodamiento al tubo posicionado en el eje Y #3	Resistente
		x	1.3.4.1	Placa de Soporte #7	1	Permite la unión entre el rodamiento y el resto de la estructura (1.3)	Resistente a altos esfuerzos de flexión
		x	1.3.4.2	Sujetadores simples	2	Aseguran la placa de soporte #7 al tubo posicionado en el eje Y #3	Resistente a esfuerzos de compresión
		x	1.3.4.3	Rodamiento	1	Sirve de apoyo al otro extremo de la estructura que soporta la cámara	Poca fricción
		x	1.3.4.4	Tornillos	4	Asegura la placa de soporte #7 con los sujetadores simples para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.3.4.5	Tuercas	4	Asegura la placa de soporte #7 con los sujetadores simples para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos de compresión
x			1.4	Estructura de soporte la cámara DSLR	1	Soporta y transmite a la cámara todos los movimientos de cada una de las estructuras	Resistente a la flexión
	x		1.4.1	Tubo posicionado en el eje X #2	1	Soporta la cámara DSLR y la base de soporte #8	Diametro exacto
	x		1.4.2	Placa de acople	1	Acopla el motor de tilt a la estructura (1.4)	Resistente a la tracción
		x	1.4.2.1	Tornillos	5	Asegura la placa de acople con el motor de tilt	Resistente a esfuerzos cortantes
	x		1.4.3	Placa de acople #2	1	Acopla el rodamiento a la estructura (1.4)	Resistente a la tracción
		x	1.4.2.2	Tornillos	5	Asegura la placa de acople #2 con el rodamiento.	Resistente a esfuerzos cortantes
	x		1.4.4	Base de soporte #8	1	Soporta la cámara DSLR y uno de los sensores IMU	Resistente
		x	1.4.4.1	Placa de Soporte #8	1	Permite la unión entre la cámara y el resto de la estructura (1.4)	Resistente a altos esfuerzos de flexión
		x	1.4.4.2	Sujetadores simples	2	Aseguran la placa de soporte #8 al tubo posicionado en el eje X #2	Resistente a esfuerzos de compresión
		x	1.4.4.3	Sensor IMU	1	Sensar la posición, aceleración e inclinación de la cámara DSLR	Sensibilidad
		x	1.4.4.4	Tornillos	4	Asegura la placa de soporte #8 con los sujetadores simples para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.4.4.5	Tuercas	4	Asegura la placa de soporte #8 con los sujetadores simples para que no se muevan de su posición	Resistente a esfuerzos de compresión

6.9.1.2 Diseño para manufactura parte inferior

Tabla 12. Parte inferior con niveles de sub-ensamble.

1 Nivel de Sub-Ensamble	2 Nivel de Sub-Ensamble	3 Nivel de Sub-Ensamble	# Identificador	Nombre descriptivo	Cantidad	Función	Características Esenciales para cumplir su función
x			1	Sistema Traslacional	1	Genera el movimiento traslacional para la cámara.	Movimientos sin choques entre piezas
x			1.1	Soporte superior	1	Acopla el sistema rotacional al sistema traslacional	Longitudes precisas
	x		1.1.1	Placa superior	1	Soporta y acopla todos los sistemas de suspensión del carro y se acopla con el sistema rotacional	Longitudes precisas
	x		1.1.2	Sistema de suspensión	4	Eliminar saltos y vibraciones que se generan por la irregularidad del suelo	Buen acople
		x	1.1.2.1	Amortiguador	8	Controlar los movimientos de suspensión	Resistente a la compresión y tracción
		x	1.1.2.2	Placa de soporte	4	Placa de soporte para amortiguador	Resistente a la flexión
		x	1.1.2.3	Eje de unión	4	Acopla las placas de soporte entre si junto con la placa de acople	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.1.2.4	Tornillos	24	Asegura cada una de las piezas a la placa superior	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.1.2.5	Tuercas	24	Asegura los tornillos usados para las piezas	Resistente a la compresión
	x		1.1.3	Placa de acople	4	Acopla el soporte superior con el soporte de las llantas, ubicado al en el soporte inferior	Resistente a la flexión
x			1.2	Soporte Inferior	1	Lleva las uniones de las llantas motores y amortiguadores en la parte inferior del sistema	Resistente
	x		1.2.1	Placa inferior	1	Soporta las llantas y motores	Resistente a la flexión
		x	1.2.1.1	Placa de soporte #2	4	Soporta directamente las llantas y los motores y acopla el otro extremo de los amortiguadores a la llanta	Resistencia a la torsión
		x	1.2.1.2	Ejes de unión #2	8	Acopla la placa de soporte #2 a la placa inferior para permitir el funcionamiento de los amortiguadores	Resistencia a la torsión
		x	1.2.1.3	Tornillos	40	Aseguran la placa de soporte #2, los ejes de unión #2, las llantas y los motores	Resistente a esfuerzos cortantes
		x	1.2.1.4	Tuercas	40	Aseguran las placas de soporte #2, los ejes de unión #2, las llantas y los motores	Resistente a la compresión
	x		1.2.2	Llantas	4	Permiten el desplazamiento del sistema completamente	Buena fricción con el diferentes suelos
	x		1.2.3	Motores	4	Generan el movimiento necesario para el desplazamiento	Buen torque

6.9.2 Diseño para ensamble. A través de este proceso su puede identificar el que diseño tiene ciertas ventajas ya que su armado comienza desde el sistema rotacional que se encuentra arriba, hasta el sistema traslación que se encuentra abajo, para sistema rotacional se presentan simetrías en el armado de los esquineros, que son el ensamble de las bases para soporte, esto permite mayor optimización. Los mismo para el sistema de traslación los ensambles trabajados para el soporte de las llantas son simétricos en cada una de ellas. Las desventajas del dispositivo en su totalidad es que las piezas es para su ensamblaje se requieren ambas manos. El sistema de traslación presenta dificultades de acceso para los ejes de unión tornillos y tuercas de este.

6.9.2.1 Diseño para ensamble de la parte superior

Tabla 13. Diseño para ensamble de la parte superior con tiempos de operación.

No.	Part/Operation Description	Time Factors (seconds)										K	L	M	N	O
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J					
		End-to-End Orientation	Rotational Alignment	Part Size	Part Thickness	Insertion Clearance	Insertion Direction	Insertion Condition	Fastening	Fastening Process	Handling Condition	Time/Each Operation (T _{op})	Number of Repetitions (N _{rep})	Repetition Time (K*L)/(T _{op})	Insert Part (1 = Yes; 0 = No)	Eliminate Part (1=Yes; 0 = No)
1	Sistema Rotacional															
2	Estructura para paneo															
3	Base para soporte															
4	Sujetadores Dobles	1.8	0.5	0.0	0.0	0.9	0.6	1.4	0.0	0.0	0.0	5.2	6	31.2	1	
5	Placas de Soporte	1.8	1.0	0.0	0.0	0.3	0.6	1.4	0.0	0.0	0.0	5.1	2	10.2	1	
6	Tornillos	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.4	4.0	0.0	2.5	11.3	12	136	1	
7	tuercas	1.3	0.5	0.4	0.0	0.0	2.0	1.4	5.0	3.0	0.0	13.6	12	163	1	
8	Motor de paneo	1.8	0.5	0.0	0.0	0.3	0.6	1.4	0.0	0.0	0.0	4.6	1	4.6	1	
9	Estructura para roll															
10	Base de soporte #2															
11	Placa de Soporte #2	1.3	1.0	0.0	0.0	0.3	0.6	1.4	0.0	0.0	0.0	4.6	1	4.6	1	
12	Sujetadores simples	1.8	0.5	0.0	0.0	0.9	0.6	1.4	0.0	0.0	0.0	5.2	2	10.4	1	
13	Tornillos	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.4	4.0	4.0	2.5	15.3	4	61.2	1	
14	tuercas	1.3	0.5	0.4	0.0	0.0	2.0	1.4	5.0	3.0	0.0	13.6	4	54.4	1	
15	Estructura de transmisión del eje Y, al Z															
16	Tubo posicionado en el eje Y	1.3	1.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	0.0	1.0	0.0	6.1	1	6.1	1	
17	Sujetadores Dobles	1.8	0.5	0.0	0.0	0.9	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	6.0	4	24	1	
18	Placas de Unión	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	5.6	4	22.4	1	
19	Sensor IMU	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.4	0.0	0.0	1.0	4.3	1	4.3	1	
20	Tornillos	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	4.0	4.0	2.5	16.1	8	129	1	
21	Tuercas	1.3	0.5	0.4	0.0	0.0	1.4	1.4	5.0	3.0	0.0	13.0	8	104	1	
22	Tubo posicionado en el eje Z	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.4	0.0	1.0	0.0	4.0	1	4	1	
23	Base de soporte #3															
24	Placa de Soporte #3	1.3	1.0	0.0	0.0	0.3	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	5.4	1	5.4	1	
25	Sujetadores simples	1.8	0.5	0.0	0.0	0.9	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	6.0	2	12	1	
26	Batería	1.8	0.5	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	0.0	0.0	1.0	6.1	1	6.1	1	
27	Tornillos	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	4.0	4.0	2.5	16.1	4	64.4	1	
28	Tuercas	1.3	0.5	0.4	0.0	0.0	1.4	1.4	5.0	3.0	0.0	13.0	4	52	1	
29	Base de soporte #4															
30	Placa de soporte #4	1.3	1.0	0.0	0.0	0.3	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	5.4	2	10.8	1	
31	Sujetadores Dobles	1.8	0.5	0.0	0.0	0.9	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	6.0	2	12	1	
32	Microcontrolador	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	0.0	0.0	1.0	6.6	1	6.6	1	
33	Tornillos	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	4.0	4.0	2.5	16.1	4	64.4	1	
34	tuercas	1.3	0.5	0.4	0.0	0.0	1.4	1.4	5.0	3.0	0.0	13.0	4	52	1	
35	Motor de roll	1.8	0.5	0.0	0.0	0.3	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	5.4	1	5.4	1	

Tabla 13. (Continuación).

36	Estructura para tilt (inclinación)																		
37	Base para soporte #5																		
38	Placa de Soporte #5	1,3	1,0	0,0	0,0	0,3	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	5,4	1	5,4	1				
39	Sujetadores simples	1,8	0,5	0,0	0,0	0,9	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	6,0	4	24	1				
40	Tornillos	1,8	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	4,0	4,0	2,5	16,1	8	129	1				
41	tuercas	1,3	0,5	0,4	0,0	0,0	1,4	1,4	5,0	3,0	0,0	13,0	8	104	1				
42	Estructura de transmisión de roll a la estructura de tilt																		
43	Tubo posicionado en el eje X	1,3	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	0,0	1,0	0,0	6,1	1	6,1	1				
44	Sujetadores Dobles	1,8	0,5	0,0	0,0	0,9	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	6,0	8	48	1				
45	Placas de Unión #2	1,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,4	0,0	0,0	0,0	4,8	4	19,2	1				
46	Tornillos	1,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,4	4,0	4,0	2,5	15,3	16	245	1				
47	Tuercas	1,3	0,5	0,4	0,0	0,0	2,0	1,4	5,0	3,0	0,0	13,6	16	218	1				
48	Tubo posicionado en el eje Y #2	1,8	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	0,0	1,0	0,0	6,6	1	6,6	1				
49	Base de soporte #6																		
50	Placa de Soporte #6	1,3	1,0	0,0	0,0	0,3	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	5,4	1	5,4	1				
51	Sujetadores simples	1,8	0,5	0,0	0,0	0,9	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	6,0	2	12	1				
52	Tornillos	1,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,4	4,0	4,0	2,5	15,3	4	61,2	1				
53	Tuercas	1,3	0,5	0,4	0,0	0,0	2,0	1,4	5,0	3,0	0,0	13,6	4	54,4	1				
54	Motor de tilt	1,8	0,5	0,0	0,0	0,3	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	5,4	1	5,4	1				
55	Tubo posicionado en el eje Y #3	1,3	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	0,0	1,0	0,0	6,1	1	6,1	1				
56	Base de soporte #7																		
57	Placa de Soporte #7	1,8	1,0	0,0	0,0	0,3	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	5,9	1	5,9	1				
58	Sujetadores simples	1,8	0,5	0,0	0,0	0,9	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	6,0	2	12	1				
59	Rodamiento	1,8	1,0	0,0	0,0	0,3	1,4	1,4	2,5	1,0	0,0	9,4	1	9,4	1				
60	Tornillos	1,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,4	4,0	4,0	2,5	15,3	4	61,2	1				
61	Tuercas	1,3	0,5	0,4	0,0	0,0	2,0	1,4	5,0	3,0	0,0	13,6	4	54,4	1				
62	Estructura de soporte la cámara DSLR																		
63	Tubo posicionado en el eje X #2	1,3	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	0,0	1,0	0,0	6,1	1	6,1	1				
64	Placa de acople	1,3	1,0	0,0	0,0	0,3	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	5,4	1	5,4	1				
65	Tornillos	1,8	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	4,0	4,0	2,5	16,1	5	80,5	1				
66	Placa de acople #2	1,3	1,0	0,0	0,0	0,3	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	5,4	1	5,4	1				
67	Tornillos	1,8	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	4,0	4,0	2,5	16,1	5	80,5	1				
68	Base de soporte #8																		
69	Placa de Soporte #8	1,8	1,0	0,0	0,0	0,3	0,6	1,4	0,0	0,0	0,0	5,1	1	5,1	1				
70	Sujetadores simples	1,8	0,5	0,0	0,0	0,9	0,6	1,4	0,0	0,0	0,0	5,2	2	10,4	1				
71	Sensor IMU	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,4	0,0	0,0	1,0	4,8	1	4,8	1				
72	Tornillos	1,8	1,0	0,0	0,0	1,5	0,6	1,4	4,0	4,0	2,5	16,8	4	67,2	1				
73	Tuercas	1,3	0,5	0,4	0,0	0,0	2,0	1,4	5,0	3,0	13,6	27,2	4	109	1				
															214	2526	58		
															TOP	TAT	NUF		

Tabla 14. Resumen de estadísticas de la parte superior del diseño para ensamble.

Summary Statistics		
NUP	58	= number of unique parts (Sum of Column N)
TOP	214	= total number of operations (sum of Column L)
TAT	2526,2	= total assembly time (sum of Column M)
NP	214	= number of parts = sumproduct(L ₄ :N)
T _{avg}	11,8	= avg time/operation = TAT/TOP
P _{min}	214,0	= min # parts = NP - sumproduct(L ₄ :N,O)
AR	0,20	= Assembly rating = 2.35 * NP/TAT
PE	1,00	= Part Efficiency = Pmin/NP
C	2012,60	= Assembly complexity = TAT - (2.4*TOP)
OR	4,92	= Operation difficulty rating = TAT/(2.4*TOP)

A través de la tabla de ensambles se obtiene el tiempo total de ensamble que es aproximadamente 42 minutos, para un total de 214 piezas, casi 12 minutos por cada pieza.

6.9.2.2 Diseño para ensamble de la parte inferior.

Tabla 15. Diseño para ensamble de la parte inferior con tiempos de operación.

No.	Part/Operation Description	Time Factors (seconds)										K	L	M	N	O
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J					
		End-to-End Orientation	Rotational Alignment	Part Size	Part Thickness	Insertion Clearance	Insertion Direction	Insertion Condition	Fastening	Fastening Process	Handling Condition	Time/Each Operation (Top)	Number of Repetitions (Nep)	Repetition Time (K*L) (Top)	Insert Part (1 = Yes; 0 = No)	Eliminate Part (1 = yes; 0 = No)
1	Sistema Traslacional															
2	Soporte superior															
3	Placa superior	1,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,4	0,0	0,0		4,3	8	34,4	1	
4	Sistema de suspension															
5	Amortiguador	1,8	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	5,6	8	44,8	1	
6	Placa de soporte	2,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,4	0,0	0,0	0,0	5,3	4	21,2	1	
7	Eje de unión	1,3	0,5	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	0,0	1,0	2,5	8,1	4	32,4	1	
8	Tornillos	1,8	1,0	0,1	0,0	1,6	0,6	1,4	4,0	0,0	0,0	10,5	24	252	1	
9	Tuercas	1,3	0,5	0,4	0,0	0,0	2,0	1,4	5,0	3,0	0,0	13,6	24	326	1	
10	Placa de acople	2,3	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	0,0	3,0	0,0	9,1	4	36,4	1	
11	Soporte Inferior															
12	Placa inferior	1,3	0,5	0,0	0,0	0,9	0,6	1,4	0,0	0,0	0,0	4,7	1	4,7	1	
13	Placa de soporte #2	1,8	1,0	0,0	0,0	0,3	0,6	1,4	0,0	0,0	0,0	5,1	4	20,4	1	
14	Ejes de unión #2	1,3	0,5	0,4	0,0	0,0	1,4	1,4	0,0	3,0	0,0	8,0	8	64	1	
15	Tornillos	1,8	1,0	0,1	0,0	0,9	0,6	1,4	4,0	0,0	2,5	12,3	40	492	1	
16	Tuercas	11,3	0,5	0,4	0,0	0,0	2,0	1,4	5,0	3,0	0,0	23,6	40	944	1	
17	Llantas	1,3	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	0,0	1,0	0,0	6,1	4	24,4	1	
18	Motores	1,3	1,0	0,0	0,0	0,9	1,4	1,4	0,0	1,0	0,0	7,0	4	28	1	
												177	2325	14		
												TOP	TAT	NUP		

Tabla 16. Resumen de estadísticas de la parte inferior del diseño para ensamble.

Summary Statistics

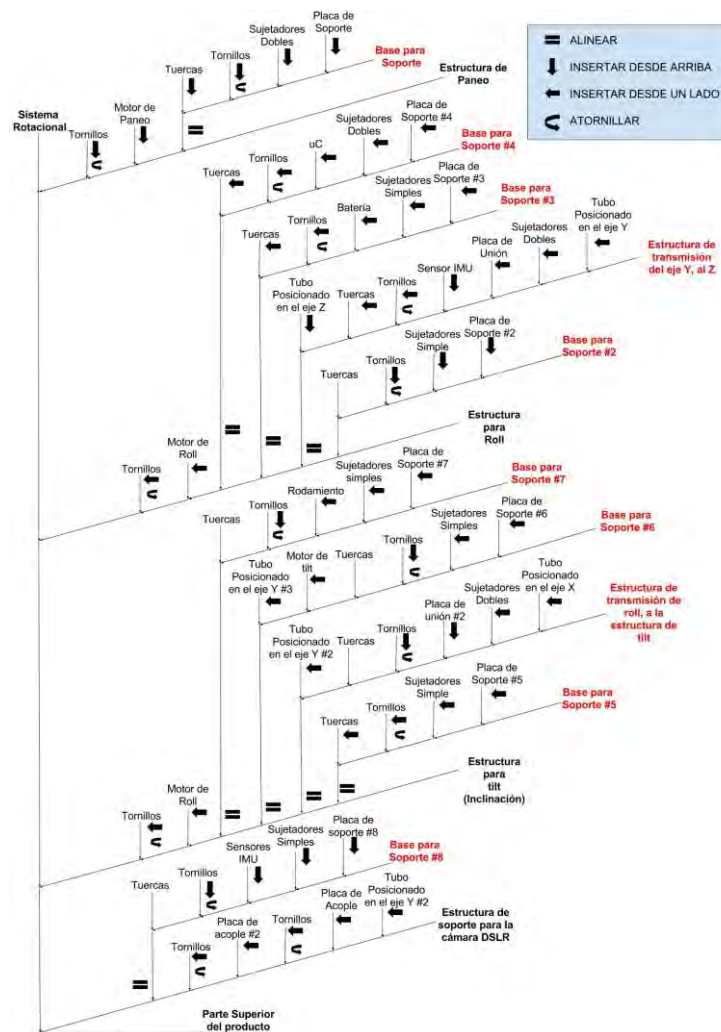
NUP	14	= number of unique parts (Sum of Column N)
TOP	177	= total number of operations (sum of Column L)
TAT	2325,1	= total assembly time (sum of Column M)
NP	177	= number of parts = sumproduct(L,N)
T _{avg}	13,1	= avg time/operation = TAT/TOP
P _{min}	177,0	= min # parts = NP - sumproduct(L,N,O)
AR	0,18	= Assembly rating = 2.35 * NP / TAT
PE	1,00	= Part Efficiency = Pmin/NP
C	1900,30	= Assembly complexity = TAT - (2.4*TOP)
OR	5,47	= Operation difficulty rating = TAT/(2.4*TOP)

A través de la tabla de ensambles se obtiene el tiempo total de ensamble, que es de 38 minutos aproximadamente, para un total de 177 piezas, casi 13 minutos por cada pieza, estas operaciones tienen mayor dificultad ya que la orientación de inserción de algunas piezas, no son de arriba hacia abajo, si no de abajo hacia arriba y desde un lado, dificultando su ensamblado.

6.9.3 Árbol de ensamble. A través del árbol de ensamble se puede ver las posiciones y la secuencia que se debe seguir para armar cada parte del producto.

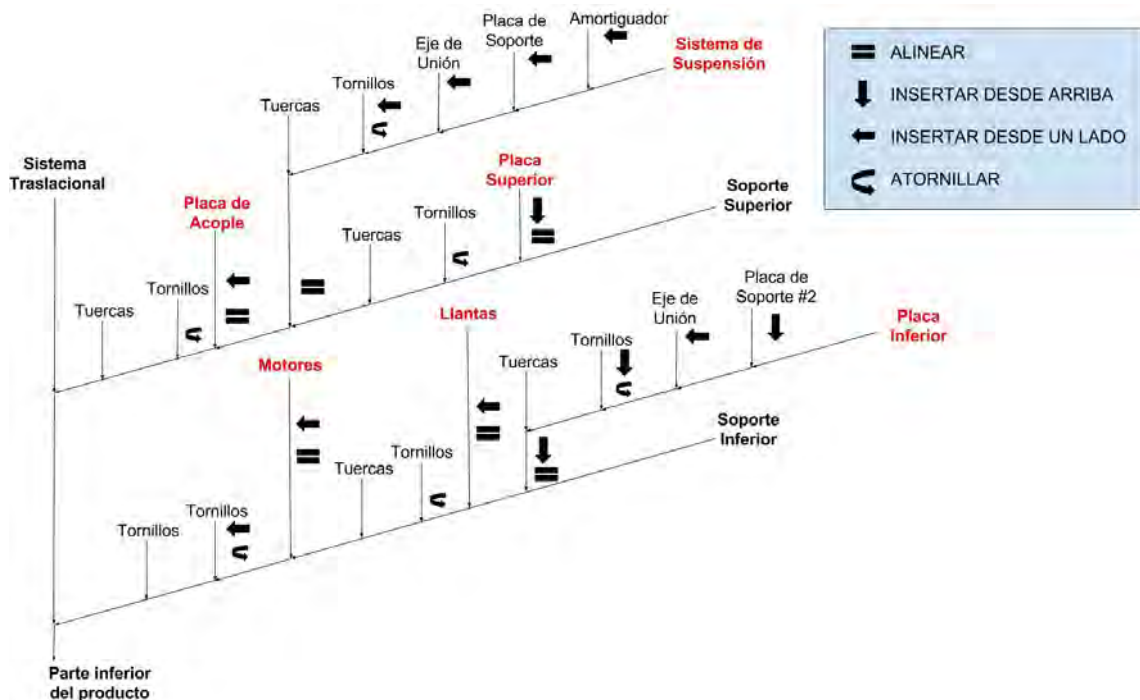
6.9.3.1 Árbol de ensamble de la parte superior.

Cuadro 13. Árbol de ensamble parte superior con indicadores.



6.9.3.2 Árbol de ensamble de la parte inferior.

Cuadro 14. Árbol de ensamble parte inferior con indicadores.



6.9.4 Diseño industrial. Para este diseño es necesario analizar las necesidades ergonómicas y estéticas del producto, ya que estas son las que están más conectadas con el usuario.

Para las necesidades ergonómicas la facilidad de uso de este producto puede ser compleja, siempre y cuando el usuario no tenga conocimiento alguno a lo relacionado con el producto. Es necesario una explicación o demostración de uso como guía de manejo.

No es necesario que tenga una gran facilidad de mantenimiento, ya que son piezas de ensamble que pueden ser reemplazadas sin ninguna dificultad.

Como el producto requiere precisión, es necesario una alta interacción con el usuario, puede ser a través de una aplicación o unos pulsadores y joysticks, que permitan hacer cambios inmediatos y de manera muy fácil, en las variables del producto.

A demás la seguridad tiene que ser alta, debido a que el producto sirve de soporte para la cámara y es un dispositivo a distancia.

Para las necesidades estéticas, no se requiere de mucha diferenciación visual del producto ya que no es algo que todas las personas conocen, por ello no se encuentra un referente específico de cómo debe lucir visualmente el producto.

Como este es un producto poco visto, genera un alto orgullo de posesión, ya que para un usuario tener un producto como este, en un ambiente donde no se ve seguido, genera una identidad y moda con el producto y debido a que es un producto que puede ser bien acogido dentro del medio audiovisual, genera una alta motivación dentro de las personas que desarrollen el producto.

A continuación se presenta un cuadro de resumen de las calificaciones con respecto a ¿Qué tanto tiene que ser? de ergonomía y estética que necesite del producto en el diseño industrial:

Cuadro 15. Resumen de diseño industrial.



7. PROTOTIPO

7.1 MATERIALES DEL PROTOTIPO.

Para realizar el prototipo, se trabajaron distintos materiales, como el aluminio, fibra de carbono y acrílico. A través del software CES Edupack 2016 se hace el análisis de los elementos que conforman el producto, sus precios, su durabilidad y propiedades mecánicas. En los anexos Q al W, se muestran los productos seleccionados.

A través de las imágenes en los anexos mencionados anteriormente, se puede ver que la fibra de carbono es un excelente material para trabajar, por su resistencia y densidad, comparado con otros materiales, para el proyecto sería el material indicado para trabajar todas las piezas diseñadas, pero su alto costo representa un problema debido a que el proyecto es de bajo costo de fabricación.

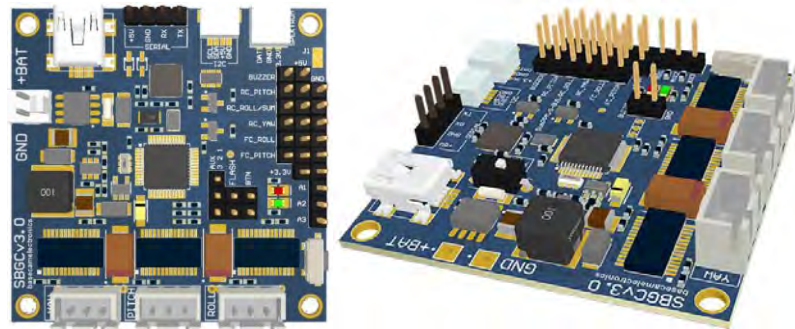
7.2 COMPONENTES DEL PROTOTIPO.

Para el desarrollo del prototipo se eligieron los siguientes componentes con sus especificaciones.

7.2.1. Componentes de la parte superior. La parte superior como se muestra en la figura 26 se encuentra la estructura superior y el sistema de estabilización que tiene los siguientes componentes.

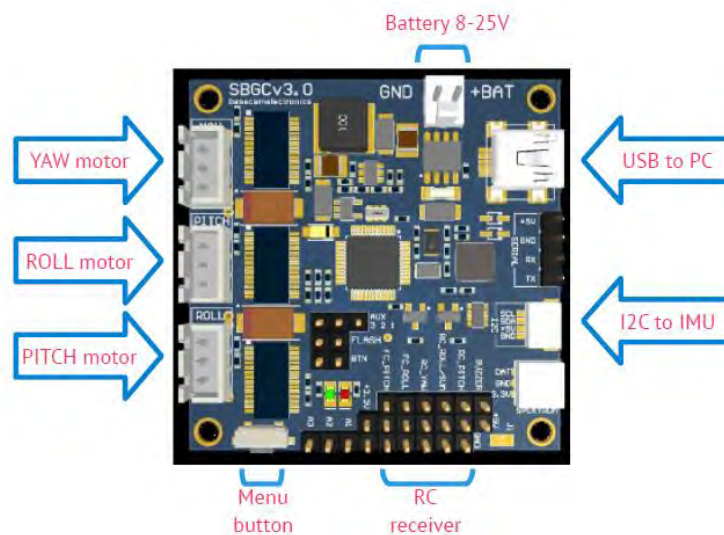
Tarjeta de control SBGC. Esta tarjeta es la encargada de realizar el control de estabilización para la estructura de la parte superior. Se elige esta tarjeta gracias a las prestaciones que tiene, ya que permite un excelente control para los motores, posee un software con una interfaz amigable tanto para usuarios inexpertos y los que poseen conocimientos de programación. También permite una conexión bluetooth y otros tipos de conexiones inalámbricas que se encuentran en la selección de concepto, permitiendo integrar mejoras a futuro. Su bajo consumo de corriente y amplio voltaje de operación permiten tener una elección variada para los componentes que los acompañan. A continuación se presenta los detalles de la tarjeta con sus especificaciones de hardware y software.

Figura 31. Tarjeta de control SBGC modelado en 3D.



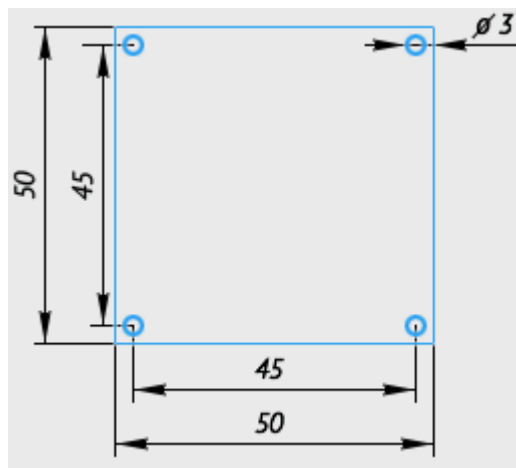
Fuente: BaseCam SimpleBGC 32-Bit. [en línea]. [consultado el 3 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: <https://www.basecamelectronics.com/simplebgc32bit>.

Figura 32. Conexiones externas más relevantes de la tarjeta de control.



Fuente: BaseCam SimpleBGC 32-Bit. [en línea]. [consultado el 3 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.basecamelectronics.com/files/v3/SimpleBGC_32bit_manual_2_6x_eng.pdf.

Figura 33. Dimensiones en mm de la tarjeta SBGC.



Fuente: BaseCam SimpleBGC 32-Bit. [en línea]. [consultado el 3 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.basecamelectronics.com/files/v3/SimpleBGC_32bit_manual_2_6x_eng.pdf.

Tabla 17. Especificaciones técnicas de la tarjeta SBGC.

	SBGC Revisión A	SBGC Revisión B
Tamaño de la tarjeta	50 x 50 mm	50 x 50 mm
Distancia entre los agujeros de montura	45 mm	45 mm
Diametros de los agujeros de montura	3 mm	3 mm
Voltaje de alimentación	8-25V (3s-5s LiPo)	8-26V (3s-6s LiPo)
Corriente maxima de entrega por motor	1,5 A	1,5 A
Corriente de los 5V salida para alimentación externa para	Hasta 1 A	Hasta 1 A
Salida de 3V	-	50 mA

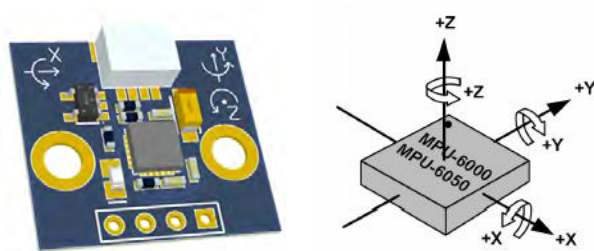
Fuente: BaseCam SimpleBGC 32-Bit. [en línea]. [consultado el 3 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: <https://www.basecamelectronics.com/simplebgc32bit>.

Especificaciones de software:

- Conexión con sistema de escritorio: Windows, MacOS, Linux.
- Conexión con teléfonos inteligentes: Andorid 4.0+, iOS (iPhone y iPad)
- Interfaz de Programación Abierta.
- Procesador: 32-bit ARM Cortex M4 72MHz
- Tuning automático para parámetros PID: Permite preparar de forma rápida el sistema para diferentes tipos de trabajo, condiciones iniciales o cambios en las condicones.
- Soporte para dos sensores IMU.
- Compensación de caída de voltaje de la alimentación.

Sensor IMU. Sensor de unidad de medida inercial, mostrado en la figura 33 es el encargado de retroalimentar el lazo cerrado para el control de la tarjeta como se muestra en la figura 57. Se elige este sensor, ya que la tarjeta SBGC, solo trabaja con este tipo de sensores debido a su gran precisión, sensibilidad y respuesta a estímulos. La tarjeta SBGC tiene la capacidad de alimentar con el voltaje correcto y configurar la orientación y posición, en un set-point, los sensores que estén conectados a ella.

Figura 34. Sensor IMU de 6 grados de libertad.



Fuente: BaseCam SimpleBGC 32-Bit. [en línea]. [consultado el 6 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.basecamelectronics.com/files/v3/SimpleBGC_32bit_manual_2_6x_eng.pdf.

Especificaciones técnicas de sensor. La tabla 18 muestra las especificaciones técnicas de un sensor MPU-6050 que integra un giroscopio, acelerómetro y sensor de temperatura.

Tabla 18. Especificaciones técnicas del sensor MPU – 6050.

TIPO DE SENSOR	RANGO DE GYRO (°/seg)	RANGO DE ACCELEROMETRO (g)	SALIDA DIGITAL	RANGO DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN (V+/-5%)	DIMENSIONES DE L SENSOR (mm)
MPU - 6050	± 250	± 2	I ² C	2.375V–3.46V	4 x 4 x 0.9
	± 500	± 4			
	± 1000	± 8			
	± 2000	± 16			

Fuente: Mpu – 6050 [en línea]. [consultado 24 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>.

Motores Brushless. Son los tipos de motores como se muestran en la figura 35 utilizados para el movimiento y estabilización de la cámara. A pesar de su alto costo con respecto a otros motores, estos motores tienen muy buen torque y precisión en el movimiento, ideales para estabilizar la cámara. Además existe una amplia gama de este tipo motor, puede reemplazarse por otras series de brushless que soporten cámaras más pesadas. Además son motores que por defecto la tarjeta SBGC.

Figura 35. Motor brushless GBM5208



Fuente: GBM5208-200T. [en línea]. Iflight [consultado 24 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <http://www.iflight-rc.com/ipower-motor-gbm5208h-200t-brushless-gimbal-motor.html>

Especificaciones técnicas del motor brushless:

- Modelo del motor: GBM5208H-200T.
- Peso: 179g.
- Dimensiones del motor: 63x26mm.
- Configuración: 12N 14P.
- Tipo: Estrella.
- Rango de pesos soportados de cámaras: 600-1550g.

Bluetooth. El bluetooth HC-05 mostrado en la figura 36, es utilizado para establecer una conexión entre la tarjeta de control SBGC y el usuario, esto con el fin de eliminar el contacto físico directo con el sistema de estabilización. Su disponibilidad en el mercado y su bajo costo lo hace muy asequible. Y puede reemplazarse por uno de mayor alcance, para mejoras futuras. También es usado para el control de la parte inferior, permitiendo libertad de movimiento a todo el producto.

Figura 36. Bluetooth HC-05



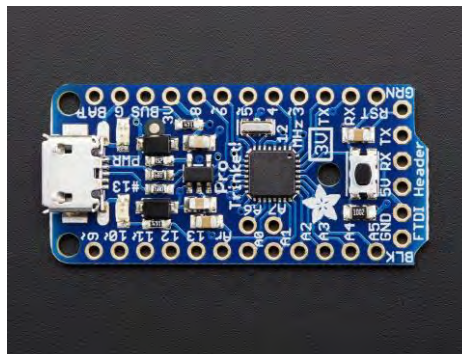
Fuente: Bluetooth HC-05 [en línea]. [consultado 5 de marzo de 2017]. Disponible en internet: <http://www.electronicoscaldas.com/modulos-rf/452-modulo-bluetooth-hc-05.html>.

Especificaciones técnicas del Bluetooth:

- Puede configurarse como maestro, esclavo, y esclavo con autoconexión (Loopback) mediante comandos AT.
- Alcance 5 m a 10 m.
- Velocidad: Asíncrona: 2.1 Mbps (max.)/160 kbps, síncrona: 1 Mbps/1 Mbps.
- Consumo de corriente: 50 mA.
- Voltaje de alimentación: 3.6 V a 6 V.
- Dimensiones totales: 1.7 cm x 4 cm aprox..

Tarjeta Pro Trinket 3V. Esta tarjeta como se muestra en la figura 37, es utilizada para realizar el control a distancia del sistema de estabilización junto con el sensor MPU-6050 y el Bluetooth HC-05, permitiendo al usuario realizar movimientos libres para la cámara en los tres ejes(Yaw, Pitch y Roll), permitiendo direccionar la cámara a donde desee, sin contacto físico directo.

Figura 37. Pro Trinket 3V.



Fuente: Adafruit Pro Trinket 3V. [en línea]. [consultado el 6 de Marzo del 2017].
Disponibile en internet: <https://www.adafruit.com/product/2010>.

Especificaciones de la tarjeta Pro Trinket 3V:

- 29Kb de Memoria ROM.
- 2Kb de Memoria RAM.
- Chip Atmega328P.
- Regulador Incorporado de 3.3V a 150mA.
- 16V máximo de alimentación.
- Protección térmica y contra corriente.

7.2.2. Sistema de acople entre la parte superior y la parte inferior. Para poder unir la parte superior donde se encuentra el sistema rotacional o de estabilización, con la parte inferior donde se encuentra el sistema de traslación, se realiza un sistema de acople que soporte todo el peso de la parte superior pero al mismo tiempo permita reducir las vibraciones que se trasladen desde el suelo hasta el sistema de estabilización generando vibraciones desagradables en los videos.

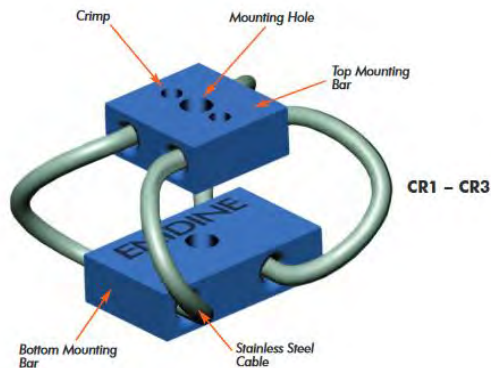
Según Enidine²², Para esto se implementa, Aislador compacto alambre (Compact Wire Rope Isolator), como su nombre lo indica son para aplicaciones donde el espacio es muy limitado. Estos sistemas permiten aislar estructuras de vibraciones y golpes, se utilizan cables trenzados, los montajes están hechos de acero u aluminio.

El aislador compacto de cable mostrado en la figura 38, presenta un comportamiento de rigidez no lineal. Las pequeñas deflexiones, generalmente son asociadas con el aislamiento de las vibraciones. Estos aisladores están compuestos, por cubos de aluminio 6061-T6 o acero inoxidable 302/304 y cables

²² Enidine. Wire Rope Isolator Technologies [en línea], agosto 2008. [consultado 5 de marzo de 2017]. Disponible en internet: http://www.enidine.com/CorporateSite/media/itt/Resources/TechnicalData/WR_Catalog_2012.pdf?ext=.pdf

de acero inoxidable o galvanizado. Se fabrican por valores típicos de rigidez de vibración K_v (Lbs/in), estos valores pueden ser calculados con las siguientes ecuaciones dependiendo del peso W (Lbs) y la frecuencia F (Hz) de la vibración y son asociados a una tabla para la elección de medidas. Y con su respuesta gráfica como se muestra en la figura 39.

Figura 38. Aislador compacto de cable.



Fuente: Wire rope Isolator Technologies. [en línea]. [consultado el 6 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.enidine.com/CorporateSite/media/itt/Resources/TechnicalData/WR_Catalog_2012.pdf?ext=.pdf.

Para poder hacer la elección correcta de los aisladores se deben tener en cuenta los siguientes cálculos.

$$W = \frac{W_T}{n}$$

Donde W_T (Lbs) es el peso total que soportará los aisladores, n es la cantidad de aisladores a utilizar.

$$f_n = \frac{f_i}{3.0}$$

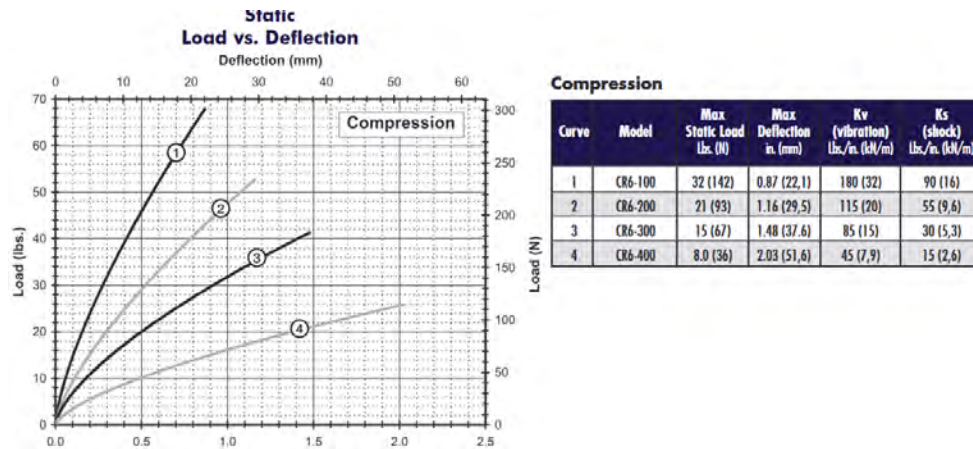
f_i (Hz) es la frecuencia de excitación, f_n (Hz) es la frecuencia natural para 80% de aislamiento.

$$K_v = \frac{W (2\pi f_n)^2}{g}$$

K_v (Lbs/in) es la máxima rigidez del aislador, donde $g = 386 \text{ in/sec}^2$.

A través del valor de Kv se analizan las siguientes tablas y gráficas para elegir los valores apropiados para las dimensiones de los aisladores según número de modelo. El modelo utilizado para el proyecto es CR6-300, y se usa los valores especificados de la tabla 19 para el modelo elegido.

Figura 39. Respuesta de un aislador con respecto a un peso en libras.



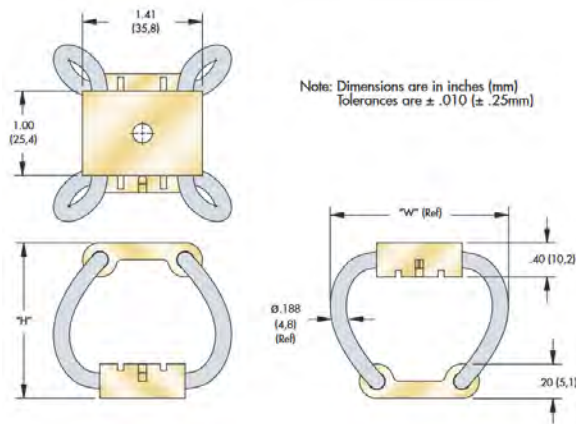
Fuente: Wire rope Isolator Technologies. [en línea]. [consultado el 6 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.enidine.com/CorporateSite/media/itt/Resources/TechnicalData/WR_Catalog_2012.pdf?ext=.pdf.

Tabla 19. Dimensiones del aislador según modelo elegido.

Size	Height "H" in. (mm)	Width (Ref) "W" in. (mm)	Unit Weight oz. (g)
CR6-100	1.83 (47)	2.11 (54)	2.0 (57)
CR6-200	2.15 (55)	2.31 (59)	2.2 (62)
CR6-300	2.51 (64)	2.50 (64)	2.3 (65)
CR6-400	3.09 (79)	2.86 (73)	2.6 (74)

Fuente: Wire rope Isolator Technologies. [en línea]. [consultado el 6 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.enidine.com/CorporateSite/media/itt/Resources/TechnicalData/WR_Catalog_2012.pdf?ext=.pdf.

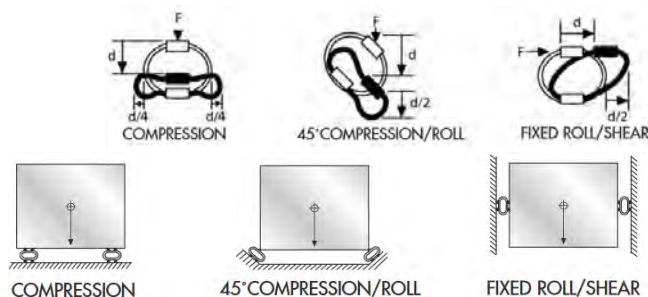
Figura 40. Ubicación de las dimensiones del aislador.



Fuente: Wire rope Isolator Technologies. [en línea]. [consultado el 6 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.enidine.com/CorporateSite/media/itt/Resources/TechnicalData/WR_Catalog_2012.pdf?ext=.pdf.

Las tablas y gráficas anteriores pueden variar sus valores dependiendo también de la orientación del montaje como se muestra en la figura 41, para el proyecto se elige la compresión debido a que la fuerza que reciben los aisladores se origina de forma paralela a estos.

Figura 41. Orientación de los aisladores dependiendo de la dirección de la fuerza



Fuente: Wire rope Isolator Technologies. [en línea]. [consultado el 6 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.enidine.com/CorporateSite/media/itt/Resources/TechnicalData/WR_Catalog_2012.pdf?ext=.pdf.

Existen versiones electrónicas que pueden eliminar vibraciones, pero este aislador compacto provee lo necesario para eliminarlas, siendo ventaja para el proyecto ya que reduce costos considerablemente y no requiere elementos extras para su funcionamiento.

7.2.3 Componentes de la parte inferior. La parte inferior como se muestra en la figura 42, se encuentra la estructura inferior y el sistema de traslación. Y se muestran los componentes de cada parte.

Figura 42. Modelo 3D de la parte inferior.



Estructura inferior. Esta compuesta por la estructura en acrílico y siendo los componentes principales, los amortiguadores y las llantas.

Amortiguadores RC. Son amortiguadores de aceite que funcionan para absorber impactos, los amortiguadores usados en este proyecto son para buggys RC de escala 1/8. Se usan este tipo de amortiguadores, basados en el concepto para la estructura inferior mostrado en la figura 27, donde normalmente los coches RC usan este tipo de amortiguadores cuando andan superficies (off road) o exteriores, para evitar choques o daños a la estructura física.

Figura 43. Amortiguadores RC.



Fuente: Amortiguadores RC [en línea]. [consultado 5 de marzo de 2017]. Disponible en internet: https://es.aliexpress.com/store/product/2pcs-blue-oil-adjustable-122mm-aluminum-shock-absorber-damper-for-rc-car-1-8-buggy-crawler/1987487_32586803385.html.

Llantas. Las llantas utilizadas son, neumáticos para RC de 1/8, con 150mm de diametro, 80mm de ancho, 17mm en el adaptador hexagonal. Los neumáticos que se utilizan para este proyecto son especialmente para suelos irregulares.

Figura 44. Neumáticos RC.



Fuente: Llantas RC [en línea]. [consultado 5 de marzo de 2017]. Disponible en internet: <https://es.aliexpress.com/item/4pcs-lot-RC-Rubber-Sponge-Tires-Tyre-Rim-Wheel-For-RC-1-8-HSP-Hobby-Tyranno/32218914631.html?spm=2114.13010608.0.0.0aCS5V>.

Sistema de traslación. El sistema de traslación se compone de arduino UNO como tarjeta de control con una placa Joystick, un arduino UNO con un Driver (puente H), para control de 4 motorreductores DC. También hace parte del sistema, la batería LiPo que alimenta totalmente el prototipo.

Arduino UNO. El control de la parte inferior según a través de la selección de conceptos, se hace a través de arduino. Se usa una comunicación entre dos arduinos vía Bluetooth, donde un arduino será el emisor, que físicamente tiene una placa de joystick, como periférico y el receptor tiene un Driver (puente H) que permite el control de los 4 motores. Se utiliza esta placa gracias a su bajo costo y tamaño. También siguiendo la línea de selección de conceptos es la más indicada. Además condiciona el uso de placas adicionales ya que las obtenidas para este proyecto son compatibles directamente con Arduino UNO.

Figura 45. Arduino UNO



Fuente: Arduino UNO. [en línea]. [consultado el 6 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>.

Especificaciones Técnicas del Arduino.

- Voltaje de Operación: 5V
- Voltaje de entrada: 7 -12V
- Velocidad de CPU: 16 MHz

- Cantidad de puerto serial: 1
- Largo / Ancho / Peso: 68.6 mm, 53.4 mm, 25 gr.

Joystick Shield. Esta placa que se conecta con el arduino UNO de forma sencilla, se utiliza para hacer el control de movimiento del sistema de traslación, gracias a su Hardware. Gracias a los botones y joystick, hace su uso más ergonómico y sencillo de usar. Permitiendo un control sencillo del desplazamiento de toda la estructura.

Figura 46. Joystick Shield Module.



Fuente: Funduino Joystick Shield. [en línea]. [consultado el 6 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: http://www.gearbest.com/boards-shields/pp_236610.html?currency=GBP&gclid=CKvOx76k0soCFUieGwodKTcD-w.

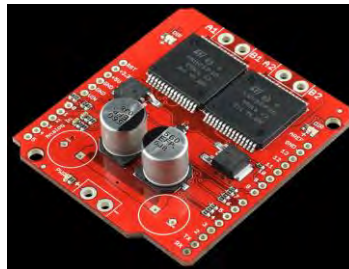
Especificaciones Técnicas del Joystick Shield.

- Plataforma: Arduino
- Voltaje de operación: 3.3- 5V
- PS2 Joystick

- Botones de selección
- Botón de reset.
- Interfaz para módulo Bluetooth
- Largo / Ancho / Alto: 9 cm / 6 cm / 2 cm
- Peso: 37 gr.

Driver para motores DC (Puente H). EL driver utilizado en este proyecto como se muestra en la figura 47, es un driver conocido como Sparkfun Monster Motor Shield. Donde este driver no viene integrado con el típico puente H L298H, si con un par de drivers de motor VNH2SP30 y con un circuito con capacidad de soportar motores de alta corriente. Esta placa es directamente compatible con arduino UNO, permitiendo una fácil programación de esta, además permite usar motores de gran capacidad y potencia, es decir que para mejoras futuras se pueden hacer cambios de motores sin problema alguno y sin necesidad de modificar hardware.

Figura 47. Sparkfun Monster Moto Shield.



Fuente: SparkFun Monster Moto Shield. [en línea]. [consultado el 10 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: <https://www.sparkfun.com/products/10182>.

Especificaciones del Driver:

- Voltaje máximo: 16V
- Máxima Corriente: 30 A

- Corriente continua: 14 A
- Frecuencia Máxima de PWM: 20 KHz
- Apagado Térmico
- Apagado por baja tensión y sobretensión.

Motor DC. Gracias a los valores marginales de la tabla 5, donde se encuentran los valores como referencia para el prototipo, se puede buscar motores con las características más aproximadas a estos valores, el motor mostrado en la figura 48, es el motor usado para este prototipo. Su bajo costo y su fácil control permiten desarrollar de forma rápida un sistema de desplazamiento, además tiene un bajo consumo de corriente. Existe una amplia gama de motores que dan la posibilidad de elegir los motores con las especificaciones que se necesiten para proyecto.

Figura 48. Motorreductor DC.



Fuente: ZGA37RG/ZGB37RG [en línea]. [consultado el 10 de Marzo del 2017].
 Disponible en internet: <http://www.zhengkemotor.com/product/product48.html>

Para elegir de forma correcta el motor mostrado en la figura anterior para el sistema de traslación, se debe tener en cuenta, el peso que debe soportar los motores, el torque minimo que deben tener y la velocidad que deben alcanzar. Para el proyecto se utilizan 4 motores, uno por cada llanta, con las especificaciones técnicas anteriormente mencionadas. Las especificaciones iniciales, se trabajan a través de los valores marginales e

ideales, se debe tener en cuenta que según investigaciones con productos similares, la velocidad con que se puede trabajar esta entre, 0.5 – 300 rpm, con un promedio de entre todos los productos comparados de 64 rpm. El peso de todo el proyecto suma un total de entre 6 - 10 kg (esto puede variar debido al tipo de cámara y lente que se esté usando).

Para un motor entre el rango de torque mencionado, se encontró el motor mostrado en la figura 48, con las siguientes especificaciones

- Voltaje de alimentación: 6 – 12V
- Potencia: 2.5 – 5w
- Velocidad (rpm): 30 rpm

$$P_{max} = 5 \text{ watts}$$

$$\omega = \frac{\pi * 30 \text{ RPM}}{30} = 3.1415 \text{ rad/s}$$

$$P = \omega * M$$

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{5W}{3.1415 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 1,591 \text{ Nm}$$

Para una masa de 8kg del prototipo y coeficiente de fricción de la superficie de 0.8

$$\frac{Wp}{4} = \text{peso del prototipo dividido 4, por las 4 llantas} = 19,62 \text{ N}$$

$$f_f = \mu * Normal = 19,62N * 0,8 = 15,696N$$

$$Torque = f_f * \text{radio de la llanta} = 15,696N * 0,075 \text{ m} = 1,1772Nm$$

Se necesita 1,1772 Nm por motor para que comience a moverse el prototipo sobre una superficie de cemento. Los motores entregan 1,591 Nm. Para conocer a qué velocidad puede llegar basta solo realizar la siguiente ecuación:

$$V = \omega * r = 3.1415 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 0,075 \text{ m} = 0.235 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ ó } 0,84816 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Batería LiPo. A través de la selección de conceptos, se determina que una batería LiPo sería la fuente de alimentación para la parte superior y la parte inferior del prototipo. Estas son los tipos de baterías que la tarjeta SBGC requiere, además su gran de entrega de corriente la hace útil para alimentar el proyecto por horas. También lo hace útil que se puede usar carga rápida pero deteriora poco a poco la vida útil de la batería.

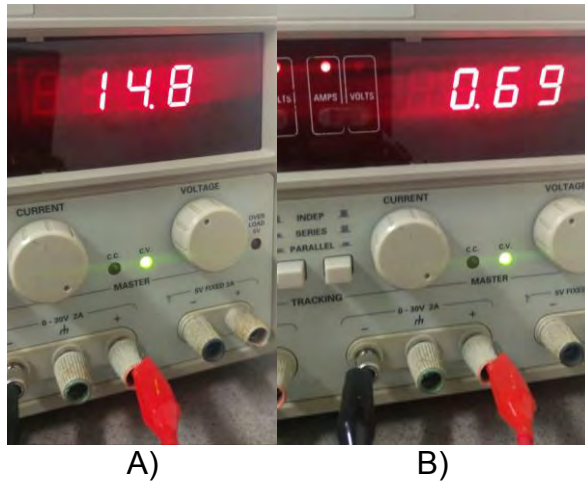
Figura 49. Batería LiPo.



Fuente: Turnigy 5000mAh [en línea]. [consultado el 10 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://hobbyking.com/es_es/turnigy-5000mah-4s1p-14-8v-20c-hardcase-pack.html/?__store=es_es

Se escoge una batería de 5000 mA, a 4s (14.8V) porque es el voltaje máximo con que se puede trabajar para el proyecto aunque la tarjeta de control SBGC puede recibir más voltaje otros componentes no pueden trabajar con baterías de celdas más altas como 6s porque excede sus voltajes de alimentación. El bajo consumo de la tarjeta, más la potencia que exigen dan a la batería suficiente tiempo de autonomía para el proyecto, eso sí dependiendo del tiempo de grabación para el que se emplee. No se opta por una batería de mayor amperaje debido a su tamaño, peso y costo.

Figura 50. Consumo energético A) Voltaje aplicado a sistema de estabilización. B) Corriente pedida por el sistema a la fuente de voltaje.



En la figura anterior se muestra un consumo de 0.69 A, donde los motores y tarjeta están a pleno funcionamiento, también se tiene que el consumo máximo de los motores es de 0,416 A entonces se tiene que:

- Consumo de corriente de la parte superior (incluyendo motores y tarjeta de control): 690mA
- Consumo de corriente de la parte inferior por motor: 416mA
- Consumo de corriente de la tarjeta de control de la parte inferior: 50mA

Total consumo de corriente del prototipo: 2404mA
si $\begin{bmatrix} 5000mA \sim 1 \text{ hora} \\ 2404mA \sim x \end{bmatrix}$
Duración total con la batería escogida:
 ± 30 minutos continuos
(con motores de la parte inferior exigidos al máximo)

7.3 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO ARMADO.

A través de la descripción se muestran los detalles de cada una de las piezas más relevantes del sistema con respecto a la estructura en su análisis de elementos, como las medidas y el análisis estático de tensiones, también se muestra la integración de los sistemas que hacen parte del proyecto, permitiendo visualizar la relación directa que existe entre cada elemento, la información que debe manejarse entre el usuario y el proyecto, y la operación correcta del

prototipo.

7.3.1 Integración de Sistemas. A continuación se muestra las siguientes tipos de interfaces usadas dentro del proyecto.

Interfaces computacionales:

- PC
 - USB 2.0
- Arduino Y Atmel (Tarjeta SBGC)
 - I2C
 - Bluetooth

Interfaces humanas:

- Supervisión
 - Visualización estándar: alarma integrada en la tarjeta SBGC
 - Observación de variables relacionadas con el sensor IMU
 - Evaluación de los parámetros de la estabilidad
- Estaciones de control
 - Algoritmos de control PID

Interfaces HMI

- Ambas tarjetas de control (SBGC y arduino), son basados en programación java.

El usuario debe suministrar:

- Las especificaciones técnicas, como el número de polos e indicación si los cables están invertidos en el software.
- Los valores de PID (0-255) para cada eje en el software.
- La potencia que recibirá cada motor de (0-255), en el software.
- La orientación que tienen cada uno de los sensores conectados, en el software.

El usuario debe visualizar:

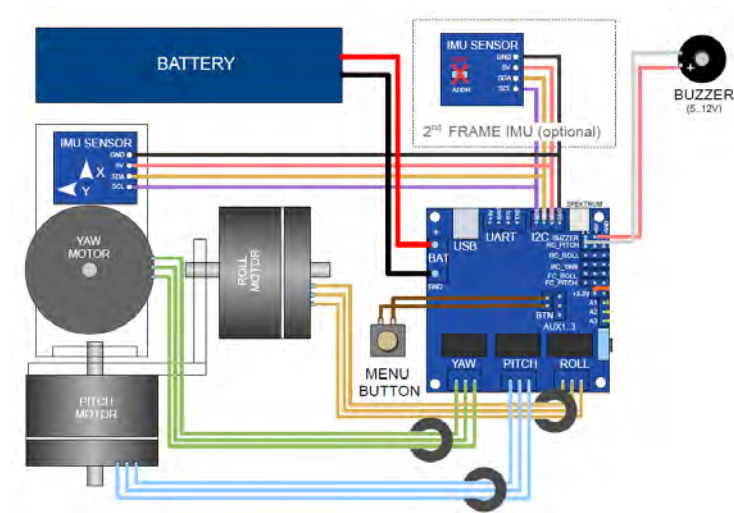
- La posición en la que se encuentra cada eje con respecto a un set point, en el software.
- Monitorear a través del software, en tiempo real la estabilización y posición de sistema superior.

El usuario debe manipular:

- La calibración de los sensores en el software.
- La orientación de cada eje de la estructura, en el software.
- Los perfiles diseñados para cada uso del prototipo, en el software.

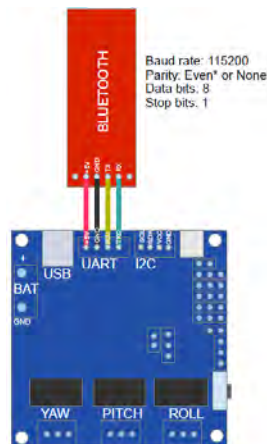
En la figura 51 y 52 se muestran las conexiones entre los elementos que hacen parte del sistema de estabilización.

Figura 51. Conexiones del sistema de estabilización.



Fuente: BaseCam SimpleBGC 32-Bit. [en línea]. [consultado el 3 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.basecamelectronics.com/files/v3/SimpleBGC_32bit_manual_2_6x_eng.pdf.

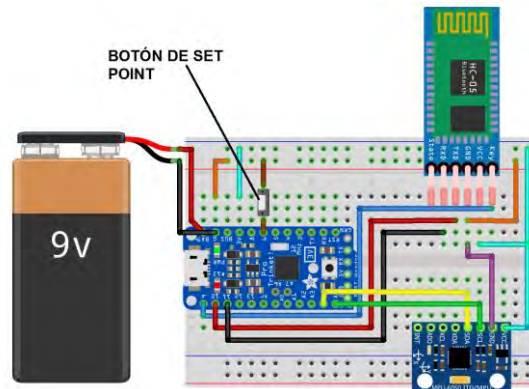
Figura 52. Conexión de la tarjeta SBGC para la comunicación.



Fuente: BaseCam SimpleBGC 32-Bit. [en línea]. [consultado el 3 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.basecamelectronics.com/files/v3/SimpleBGC_32bit_manual_2_6x_eng.pdf.

El control de posición se realiza a través de la imitación de movimiento que realice el usuario a través del el siguiente circuito mostrado en la siguiente figura.

Figura 53. Conexiones para circuito transmisor para control de rotación.



Para el control de la parte inferior donde se encuentra el sistema de traslación, se muestran las siguientes figuras 54 y 55, que permiten ver las conexiones entre el mando de control y el driver para los motores.

Figura 54. Conexiones para circuito transmisor para control de traslación.

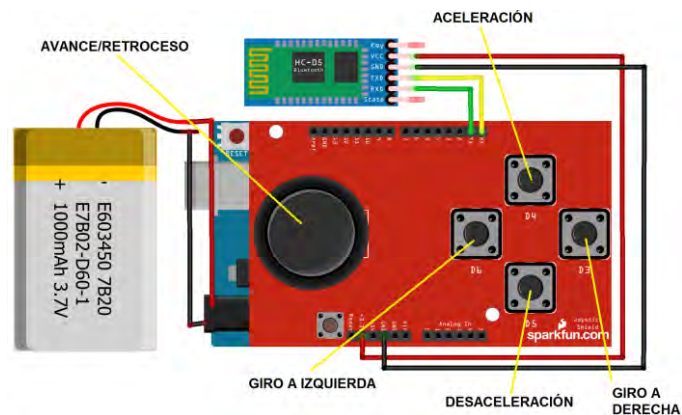


Figura 55. Conexiones para circuito receptor para control de traslación.

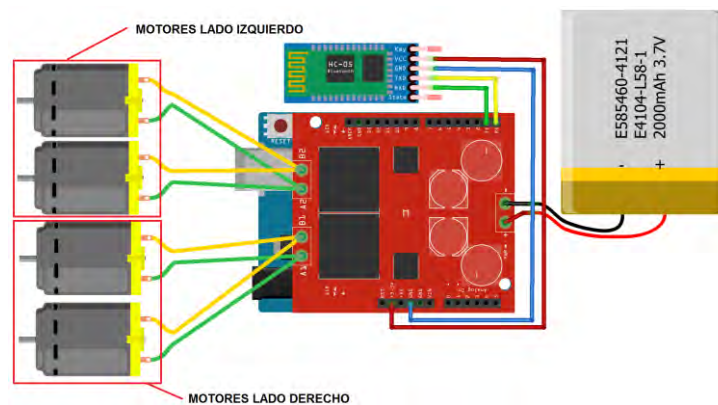


Diagrama de flujo para balancear la cámara, a demás, calibrar y orientar los sensores.

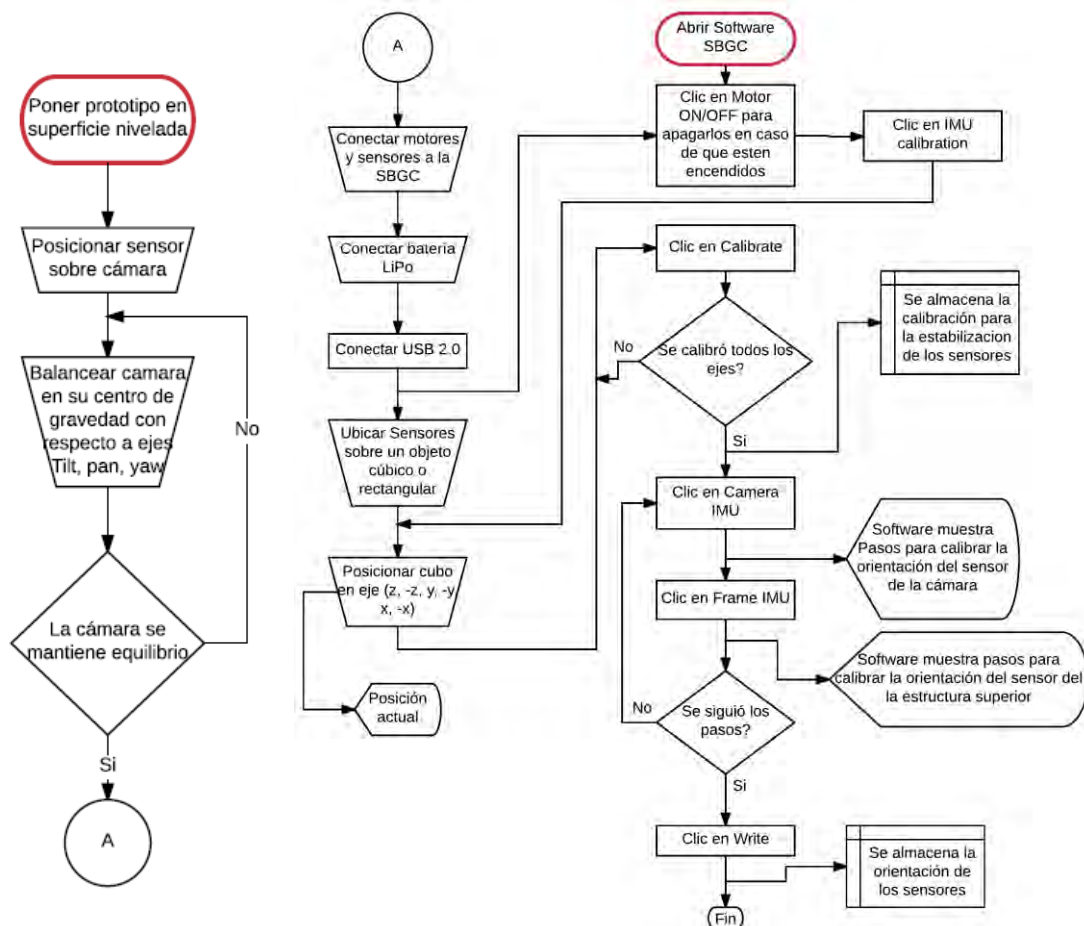


Diagrama de flujo para introducir los valores numéricos de (0 a 255), para configuración de parámetros de POWER y PID.

Figura 56. A). Posición opcional y recomendada de los sensores. Frame IMU (Sensor para la estructura), Camera IMU (Sensor para la cámara).

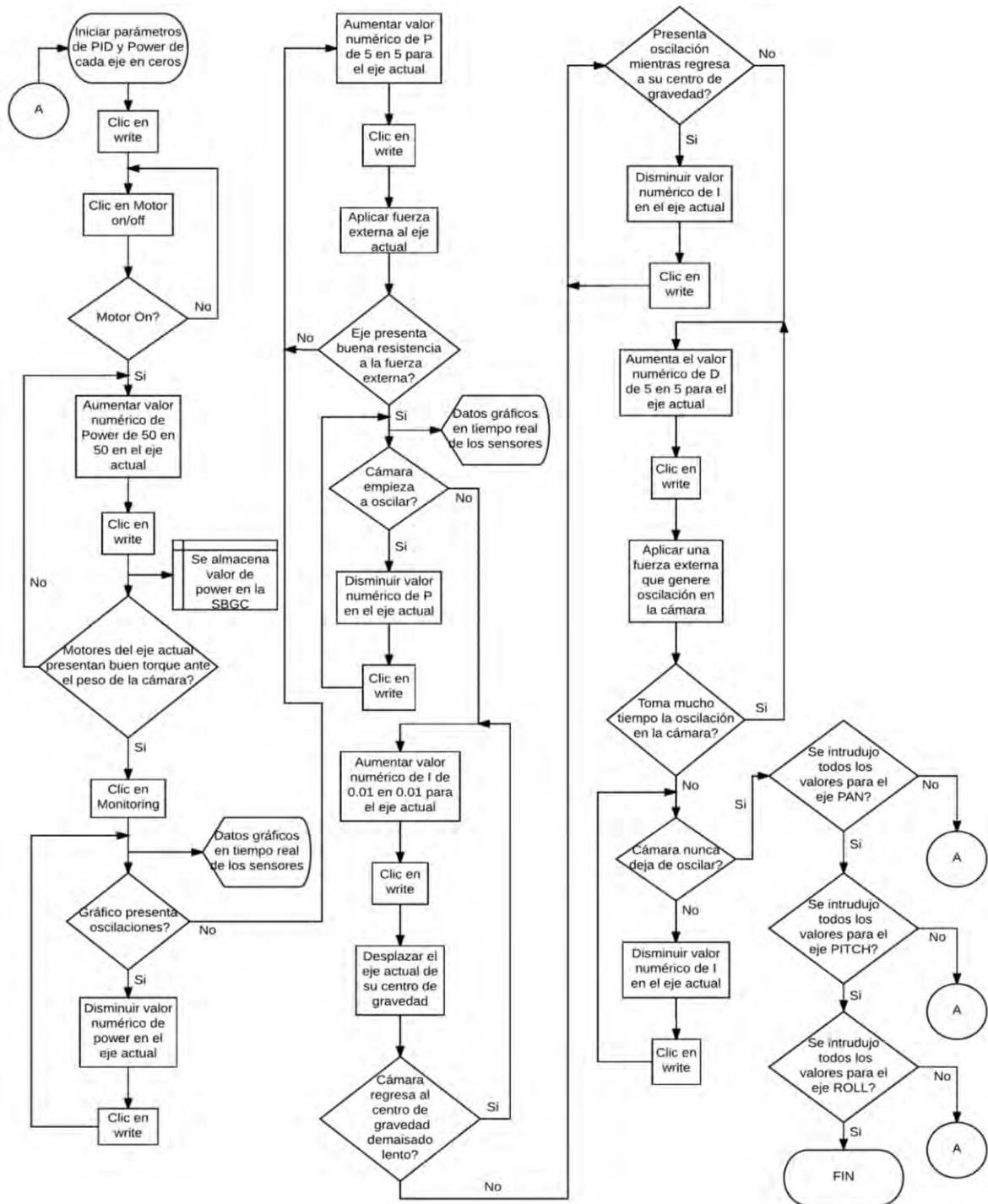
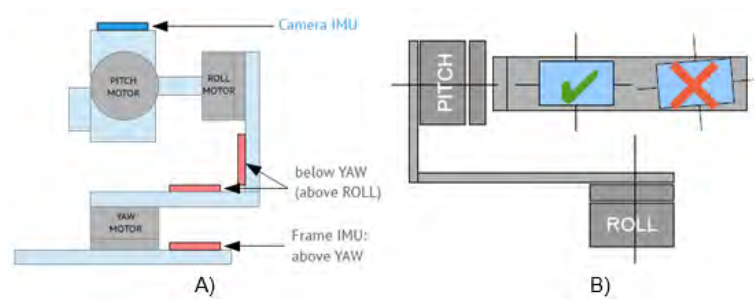


Figura 56. b B). Posicion correcta del sensor IMU



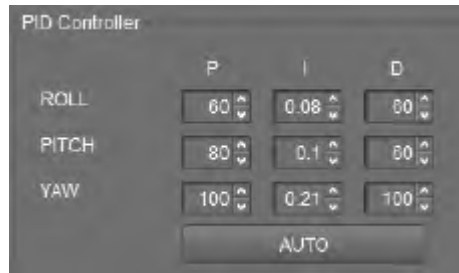
Fuente: BaseCam SimpleBGC 32-Bit. [en línea]. [consultado el 3 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.basecamelectronics.com/files/v3/SimpleBGC_32bit_manual_2_6x_eng.pdf.

Figura 57. Interfaz gráfica del Software para la tarjeta SBGC



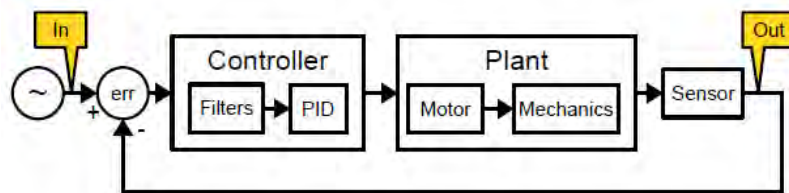
Fuente: BaseCam SimpleBGC 32-Bit. [en línea]. [consultado el 3 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.basecamelectronics.com/files/v3/SimpleBGC_32bit_manual_2_6x_eng.pdf.

Figura 58. Cuadro de control PID



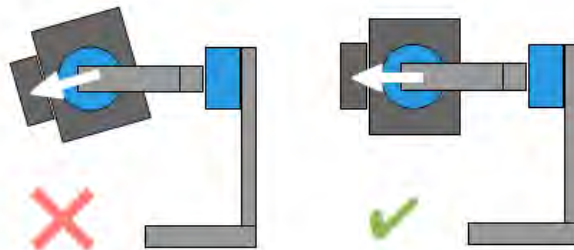
Para poder establecer un correcto funcionamiento del sistema se deben introducir unos valores de control PID para cada eje de 0 a 255, con el fin de obtener una buena estabilización y precisión de la posición de la cámara. El sistema de control de la tarjeta SBGC actúa como un sistema de lazo cerrado como se es mostrado en la figura 59.

Figura 59. Sistema lazo cerrado del proyecto



Los valores relacionados para la P son para incrementar el torque y el motor tenga suficiente fuerza para mover la cámara que se encuentre en la estructura, no se suma el peso de la estructura a la cantidad de torque que debe entregar el motor porque antes de poder iniciar con los ajustes de estabilización se debe balancear la cámara con su centro de gravedad para que sin alimentación la cámara se mantenga balanceada como se muestra en la figura 59, esto con el fin de que la tarjeta no realice mas esfuerzos de los necesarios.

Figura 60. Cámara balanceada usando solo su centro de gravedad.



Los valores relacionados para la I, sirven para establecer la velocidad con la que la cámara vuelve a su posición de estabilización, o cuando esta es desplazada de su centro. Los valores relacionados con la D, son para eliminar oscilaciones y vibraciones que afecten directamente a la cámara. Cada uno de los valores de PID son introducidos analizando el comportamiento que arrojan los sensores en las gráficas en tiempo real de la interfaz, o también la interfaz permite una configuración automática del PID.

Figura 61. Grafica en tiempo real de los valores del Gyro y acelerómetro.



Figura 62. Valores para la alimentación de los motores.



Los valores POWER, para alimentar cada motor de cada eje, van desde 0 hasta 255, donde este último es el valor máximo que entrega la batería hacia el motor. NUM.POLES, son la cantidad de polos en los que viene fabricado el motor. INVERT, para indicar si los cables del motor están o no invertidos en la conexión con la tarjeta, cada uno de estos valores numéricos puede ser colocado de forma automática.

Figura 63. Calibración de la orientación de los sensores.



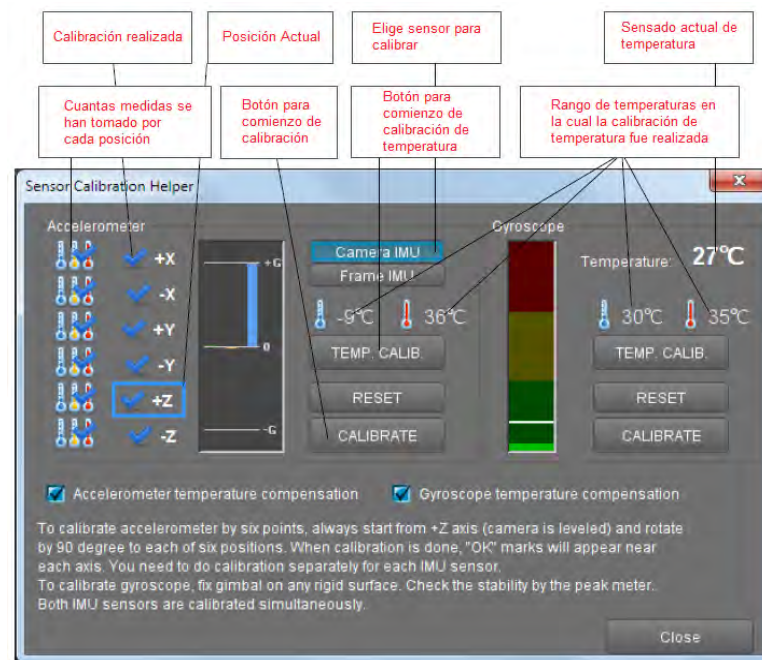
La orientación de los sensores puede ser calibrados de forma automática bajo indicaciones paso a paso de la interfaz, y son colocados de forma manual según la ubicación del sensor como se muestra en la figura 56 A.

Figura 64. Orientación en tiempo real del sensor para la cámara.



En la figura 64, se muestra gráficamente la orientación en tiempo real del sensor para la cámara a través del software, donde los símbolos negros con la orientación en tiempo real y la flecha blanca es la calibración del sensor establecida por el usuario.

Figura 65. Calibración de los sensores para balance de la cámara.



Fuente: BaseCam SimpleBGC 32-Bit. [en línea]. [consultado el 3 de Marzo del 2017]. Disponible en internet: https://www.basecamelectronics.com/files/v3/SimpleBGC_32bit_manual_2_6x_eng.pdf.

7.4 RESULTADOS Y VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.

En esta etapa es necesario identificar el nivel de desempeño de lo logrado con el prototipo para esto, se debe verificar los requerimientos del cliente (métricas, necesidades y requerimientos). Algunas métricas son impracticables de medir así que solo se incluyen dentro de este tema aquellas métricas que son sencillas de validar a través de una prueba. Luego se compara con un valor deseado para medir el grado de satisfacción con respecto al resultado de la prueba.

Se describe el procedimiento para ejecutar la prueba, el objetivo de la prueba y los instrumentos necesarios para realizarla.

- Prueba 1: Peso.

Objetivo: Verificar si el peso del prototipo sobrepasa el peso de los productos similares.

Se ubica el prototipo en la balanza, con todos los dispositivos que lo conforman, incluyendo la cámara.

Cuadro 16. Prueba de validación para peso.

Peso. [kg]		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
8	<9	X	
Observaciones: El peso actual puede variar debido a aditamentos que se agregen al dispositivo			

Instrumento requerido: Balanza

- Prueba 2: Tiempo de armado.

Objetivo: Comparar tiempo de armado, con el tiempo calculado de el arbol de ensamble.

Se sigue el paso a paso que se muestra en el arbol de ensamble mientras un cronómetro comienza a contar. Se pausa durante el tiempo que se realice una actividad que no sea correspondiente al ensamblado del prototipo.

Cuadro 17. Prueba de validación para el tiempo de armado.

Segundos. [seg]		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
16200	<4800		X
Observaciones: El tiempo de armado por primera vez genera retrasos, luego de práctica el tiempo se reduce.			

Instrumento requerido. Cronómetro

- Prueba 3: Velocidad de avance/retroceso

Objetivo: Revisar si la velocidad alcanza los RPM de las especificaciones técnicas del motor.

Se mide con un tacómetro, las RPM, mientras el sistema rotacional con todos los componentes, avanza en línea recta sobre una superficie lisa.

Cuadro 18. Prueba de validación para la velocidad de avance/retroceso

Velocidad de Avance/Retroceso [RPM]		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
30	0,5-300	X	
Observaciones: El valor actual esta dado por los componentes disponibles para el proyecto			

Instrumento requerido: Tacómetro

- Prueba 4: Capacidad de batería.

Objetivo: Superar en miliamperios-hora, el valor de consumo de corriente del prototipo.

A travez de una fuente de alimentación que entrega voltaje y al mismo tiempo muestra el consumo de corriente, se procede a usar una batería que supere la corriente, con el fin de poder usar el prototipo durante un tiempo.

Cuadro 19. Prueba de validación para la capacidad de batería.

Capacidad de batería. [mAh]		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
5000	>2000	X	
Observaciones: El esperado, es el consumo aproximado de todo el prototipo.			

Instrumento requerido: Multímetro

- Prueba 5: Rosca universal.

Objetivo: Comprobar si la rosca universal encaja y ajusta la cámara al soporte del prototipo.

Se mide con un calibrador si la rosca tiene el mismo diametro y luego se ajusta en la cámara. Se le da movimientos al sistema rotacional, para saber si la cámara se ajusta.

Cuadro 20. Prueba de validación para rosca universal.

Rosca Universal. [in]		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
1/4	1/4	X	
Observaciones: La rosca sirve para asegurar la cámara a la platina y tiene el tamaño universal que tienen las cámaras.			

Instrumento requerido: Calibrador (Pie de rey)

- Prueba 6: Bluetooth.

Objetivo: Comprobar el alcance e intensidad de la comunicación bluetooth entre el mando y el prototipo.

Se realiza comunicación via bluetooth, luego se comienza a alejar el mando del

prototipo hasta que un punto que deja de responder. Se marca el límite y se mide la distancia desde el prototipo y el mando.

Cuadro 21. Prueba de validación para bluetooth

Bluetooth. Intensidad dBm [metros]		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
≤4 [≤10]	-	X	
Observaciones: se mide el alcance del Bluetooth, en un espacio sin paredes de por medio.			

Instrumento requerido: Cinta métrica

- Prueba 7: Giroscopio.

Objetivo: Comprobar la respuesta y precisión del giroscopio.

A travez del software se analiza la respuesta de los sensores, observando el monitoreo en tiempo real. Como no se tiene al alcance un instrumento preciso para hacer mediciones de grados*segundos. Se confía en los datos técnicos suministrados de los sensores.

Cuadro 22. Prueba de validación para el giroscopio.

Giroscopio. [°/seg]		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
2000	-	X	
Observaciones: Lo sensores responden con gran rapidez y sensibilidad cualquier cambio en la orientación de la cámara.			

Instrumento requerido: Datos tecnicos de fabricante

- Prueba 8: Platina de acople.

Objetivo: Medir el tamaño de la platina de acople.

Se mide el tamaño de la platina de acople que es el punto donde se une la cámara con todo el prototipo, con un calibrador y se calcula el área para observar si la platina es la adecuada o no.

Cuadro 23. Prueba de validación para la platina de acople.

Platina de acople. Largo X Ancho[mm]		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
6 X 5	10 X 8		X
Observaciones: El area de la platina de acople es un poco mas pequeña de lo común dificultando la colocación de la cámara			

Instrumento requerido: Calibrador (pie de rey)

- Prueba 9: Herramientas para el mantenimiento.

Objetivo: Analizar cuantas herramientas de mantenimiento que se necesitan para ensamblar y desensamblar el prototipo.

Durante el arbol de ensamble se tiene en cuenta, cuantas herramientas se necesitaron para armar el prototipo.

Cuadro 24. Prueba de validación de las herramientas para el mantenimiento.

Herramientas para mantenimiento		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
2	1		X
Observaciones: Entre menos cantidad de herramientas para el mantenimiento o ensamble se usen, sera mas práctico el mantenimiento del prototipo			

Instrumento requerido: ninguno

- Prueba 10: Torque.

Objetivo: Calcular el torque real que se necesita para cada motor de la parte

inferior, para mover el dispositivo

Medir el peso del prototipo y cronometrar el tiempo que le tarda recorrer un metro, para obtener la potencia medida, luego se relaciona con la velocidad angular medida y se obtiene un torque real aproximado (actual) y se compara con el torque esperado (teórico).

Cuadro 25. Prueba de validación para el torque.

Torque. [Nm]		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
1,0392	$\leq 1,1772$	X	
Observaciones: Gracias a que el valor es menor del esperado, es ventaja para que los motores de la parte inferior puedan desempeñar su labor			
Instrumento requerido: Balanza, cinta métrica y tacómetro			

- Prueba 11: Potencia de Consumo.

Objetivo: Calcular la potencia de consumo total del prototipo

Se conectan todas y cada una de los componentes que van a la batería, se mide el voltaje de entrada, y luego con el multímetro de mide la corriente de carga que pide el prototipo. Para luego por ecuación comparar la potencial real (actual), con la calculada (esperado).

Cuadro 26. Prueba de validación para la potencia de consumo.

Potencia de consumo. [watts]		Cumple	
Actual	Esperado	Si	No
40W	$\leq 35W$		X
Observaciones: La potencia es mayor debido al consumo de los motores de la parte inferior.			
Instrumento requerido: Multímetro			

8. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PRODUCTO

Para el análisis económico se establecen los diferentes precios de cada sistema y sub-sistema del prototipo, con el fin de determinar que partes deberían tener una mejor inversión y que otras no. También se presenta los precios de cada componente con el fin de dar un total de lo invertido en el proyecto. Los precios de los componentes que aparecen en la tabla 20, son precios de los elementos que fueron adquiridos con proveedores.

Tabla 20. Precios de componentes

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO (COP)
Motor DC	x4	\$16.240
Llantas RC	x4	\$12.665
Amortiguador	x8	\$8.511
Bluetooth	x4	\$7.714
Driver	x1	\$14.558
Joystick	x1	\$11.020
Arduino UNO	x2	\$15.428
Motor Brushless	x3	\$60.000
Tarjeta SBGC	x1	\$200.000
Acople Motor DC	x4	\$3.770
Bateria LiPo 5Ah	x1	\$160.000
Alarma Bateria	x1	\$9.600
Acrílico	x1	\$108.000
Cable acero	x1	\$12.400
Cubos aluminio	x6	\$7.883
MPU 6050	x1	\$15.000
Pro Trinket	x1	\$23.500
Estructua Superior*	x1	\$280.000
Total		\$1.321.876

Los precios de los componentes suman un total de \$1.321.876 pesos colombianos, la estructura superior se resume a un solo precio debido a que todo el conjunto fue a trabajado con un proveedor que lo desarrolló bajo especificaciones de diseño y materiales, trabajados en SolidWorks.

Análisis de precios de cada Subsistema:

Cuadro 27. QFD Métricas Vs Subsistemas

METRICAS	SUBSISTEMAS	Estructura Superior	Sistema de estabilización	Sistema de Antivibración	Estructura Inferior	Sistema de Traslación
	W(%)					
Masa Total	1,34	9	3	9	9	9
Resistencia del material	2,345	9		9	9	
Prueba de resistencia a la estructura	2,01	9		9	9	
Tiempo de armado	1,229	9		3	9	
Velocidad de avance y retroceso	4,021					9
Velocidad de Pan, tilt, Roll	6,701		9			
Posicionamiento de la cámara respecto a su centro	3,797	9	3			
Capacidad de la batería del dispositivo (Dolly)	6,366	3	3	1	3	9
Diseño llamativo	0,335	9		9	9	
Bluetooth	6,813		9			3
WiFi	6,813		9			3
Platina de acople	5,398			9		
Rosca universal	4,17	9		3	9	
Herramientas para mantenimiento	2,904	9			3	
Pruebas en diferentes suelos donde se utilizaría el dispositivo	3,462		3	3		9
Aplicación para control del dispositivo	8,414		9			3
Giroscopio y Acelerómetro	9,717		9	1		1
Torque	13,51	3		3	3	9
Costo de fabricación	4,952	3	9	1	3	9
Potencia de consumo	5,696		3			9
PRIORIDAD		237,7	452,7	191	186,1	430
PRIORIDAD RELATIVA		0,16	0,30	0,13	0,12	0,29

Del QFD del cuadro anterior, obtenemos el grado de importancia de cada subsistema en el proyecto y como era de esperar debido a que la necesidad a resolver es automatizar el desplazamiento de una cámara y mejorar la estabilidad de la imagen, los que comparten la mayor relevancia son los sistemas de traslación y de estabilización, los cuales son los encargados de darle la funcionalidad al proyecto.

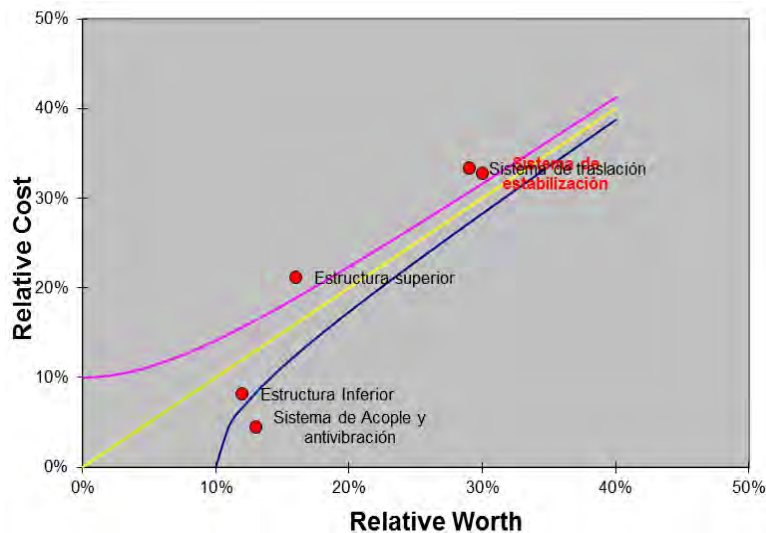
Luego se suma los precios de los componentes para sacar un total de cada subsistema y se relacionan con la prioridad relativa del cuadro 28.

Cuadro 28. Porcentaje de precios.

Part #	Part	Part Cost	Relative Worth *	Part Relative Cost	Cost / Worth
1	Estructura Superior	\$280.000,00	16%	21%	1,32
2	Sistema de estabilización	\$433.927,00	30%	33%	1,09
3	Sistema de Antivibración	\$59.700,00	13%	5%	0,35
4	Estructura Inferior	\$108.000,00	12%	8%	0,68
5	Sistema de Traslación	\$440.250,00	29%	33%	1,15
Total Part Cost		\$1.321.877,00	100%	100%	

Gracias al cuadro 28, se puede obtener la relación de los precios con el grado de importancia de cada subsistema, permitiendo conocer cuanto inversión corresponde al grado de importancia de los subsistemas es decir si se ha invertido lo necesario, muy poco, mucho o si algunos subsistemas necesitan mayor atención o menor atención en la inversión, la siguiente figura permite analizar esto.

Figura 66. Prioridad Relativa Vs Costos Relativos



La figura anterior muestra que el sistema de estabilización y de traslación están un poco excedidos de costo pero corresponde al grado de importancia que tienen en el proyecto, es decir que el costo pagado por los componentes es ligeramente elevado con respecto a la importancia de cada uno de estos, la parte superior, donde se encuentra el sistema de estabilización está excedida de costos debido a el tipo de material con que se trabajó, para poder tener un mejor

rendimiento y funcionalidad del prototipo, y la parte inferior donde se encuentra el sistema de traslación esta excedida de costos debido a la capacidad de la fuente de alimentación que se adquiere para el proyecto.

8.1 ANÁLISIS DE PRECIO DE VENTA Y FABRICACIÓN DE BAJO COSTO

El proyecto como se menciona anteriormente en la tabla 1, esta pensado en ser destinado para alquiler y venta, por ello para lograr estos objetivos es necesario recaudar la mayor cantidad de utilidad bruta, a través de alquiler, para así tener los fondos suficientes para comenzar una producción del producto para venta y alquiler en mayor cantidad.

Se realiza un análisis de mercado y de un benchmarking con una reconocida empresa y se realizó una encuesta para determinar el precio que estarían dispuestos a alquilar y cuanto, los encuestados fueron para un total de 20 personas conocedoras del tema y de productos relacionados en el que esta relacionado el proyecto y se obtuvo que:

- Un 84% de los encuestados estarían dispuestos a adquirir el dispositivo
- De ese 84% todos estarían dispuestos a pagar entre \$500.000 y \$1.000.000 de pesos Colombianos.
- El precio de alquiler se establece a \$570.000 COP, por día.
- En un mes con al menos 2 alquiler, se estaría recuperando un 86% del costo total del dispositivo, gracias a que es de bajo costo.

También se vuelve un producto mas adsequible, a traves del benchmarking se obtiene que alquilar productos como el gimbal, slider y dolly generan costos según Alma²³, por \$800.000 pesos aproximadamente, mientras que el proyecto crea un producto que reúne la característica de los tres mencionados anteriormente, en \$570.000.

²³ALMA, Luz. LUZ ALMA FILMS. [en línea]. [consultado el 30 de marzo del 2017]. Disponible en internet: [http:// www.luzalma.com](http://www.luzalma.com)

9. RECOMENDACIONES

- Los valores de set point, PID y calibración de los sensores, ya están introducidos dentro de las tarjetas para mayor rapidez en el montaje, pero si el usuario desea una experiencia mas personalizada, puede introducir sus propios valores. Siempre y cuando este tenga los conocimientos necesarios.
- Los pesos de las cámaras para el prototipo son limitados por las capacidades de carga de los motores, pero estos pueden ser reemplazados sin problemas por motores de mayor capacidad, para cámaras de mayor peso.
- Si se quiere un mayor tiempo de uso del prototipo solo es cuestión de reemplazar la batería por una del mismo voltaje pero de mayor capacidad de mAh.
- La alarma de batería es crucial para que el voltaje de la batería no caiga por debajo de lo permitido y genere daños permanentes en ella.
- Debido a que es una cámara que no requiere contacto físico para poder visualizar lo que la cámara capta en tiempo real, se puede usar un cable HDMI de buena longitud, esto no interrumpe el funcionamiento del prototipo. También se puede usar un sistema de transmisión inalámbrico de video, esto como mejoras futuras al prototipo.
- Alejarse a distancias mayores de ± 10 metros puede generar problemas al control de mando a distancia.
- Algunas lecturas erróneas de los sensores son causadas por el campo electromagnético de los motores, pueden solucionarse agregando anillos de ferrita en los cables de los motores o en los de los sensores.

10. CONCLUSIONES

Es necesaria la investigación y conocimiento de los dolly que ya hacen parte del mercado para tener una base clara y una comprensión correcta del proyecto desarrollado. Como el dispositivo es para fabricación de bajo costo, realizar una investigación concreta permite conocer que tecnologías están al alcance y que sean de bajo costo para el desarrollo del proyecto, también ayuda reconocer que tecnologías están en pleno desarrollo que se puedan aplicar al proyecto y sirva como proyectos de investigación.

La selección de conceptos no se encierra solo a los conceptos que se generaron si no que cada concepto se fortaleció con otros que en un principio no se tuvieron en cuenta, a demás el no refinar las matrices de selección de conceptos pudo generar pérdida de tiempo, conceptos redundantes y conceptos inestables, que al momento de desarrollarlos y probarlos dieran resultados indeseables.

El proyecto tiene como tal una estructura física que tiene partes modulares y otras integrales, los componentes o elementos físicos, tuvieron que ser estudiados y probados en conjunto con la estructura física para ir de acuerdo a lo que se quería del producto.

Algunos elementos como los diferentes tipos de motores y controladores fueron, probados con el fin de encontrar debilidades y ventajas al momento de implementarlos. Como algunos elementos en el momento de las pruebas no se podían conseguir se tomó como recurso de análisis videos que mostraran el uso adecuado.

En un principio se trabajó para la estructura superior con aluminio y acrílico, pero la poca fricción generada entre estos materiales no permitio un buen desempeño del sistema. Es por esto que se optó en trabajar con fibra de carbono y aluminio, para poder garantizar el desempeño del prototipo.

Se logra realizar control de paneo e inclinación permite al usuario, realizar movimientos de la cámara sin contacto directo, durante el movimiento del sistema

de traslación y permite setear una posición de la cámara, si quiere cambiar de plano o ángulo en toma de video.

El prototipo elaborado permite realizar tomas de video, como timelapse en movimiento o con ángulos que serían difíciles de realizar para un operario de forma manual.

Gracias al sistema de estabilización se puede realizar producciones audiovisuales sin temor a tener resultados indeseados, como tomas de video muy movidas o fuera del plano deseado como también el sistema de antivibración permite que el prototipo realice tomas de video sobre superficies irregulares.

Debido a los materiales usados para su elaboración, sin el peso adicional de una cámara dslr o réflex, lo hace liviano para transportarlo.

La integración del sistema rotacional es decir, el microcontrolador empleado y los motores brushless, con la estructura superior, generó ciertas complicaciones puesto que la estructura superior debe de estar muy bien balanceada con respecto a la cámara, de lo contrario los valores numéricos generados para la estabilización generan error inhabilitando el sistema de estabilización.

Los motores brushless generan un acoplamiento capacitivo con el I²C del sensor IMU para la cámara, generando errores de lectura y provocando movimiento indeseados de la cámara, esto se logra eliminar acortando el recorrido de la conexión entre el microcontrolador y el sensor, y añadiendo anillos de ferrita a las conexiones de los motores mas cercanos al sensor.

Una vez se tiene el sistema de traslación, se logran evidenciar ciertos problemas mecánicos como el comportamiento débil de los ejes de la llanta para mantenerlas rectas, esto genera que el recorrido del sistema de traslación no sea completamente recto, para esto se planea realizar un nuevo diseño para el soporte de las llantas basada en el anterior.

BIBLIOGRAFÍA

ALMA, Luz. LUZ ALMA FILMS. [en línea]. [consultado el 30 de marzo del 2017]. Disponible en internet: [http:// www.luzalma.com](http://www.luzalma.com)

BARAZA, Carlos. ESC's. [en línea]. 19, noviembre, 2010. [Consultado el 21 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://www.quadruino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/esc>.

BaseCam SimpleBGC de 32 bits. [en línea]. [Consultado el 16 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <https://www.basecamelectronics.com/simplebgc32bit/>

Baterías de Ni-Cd. [en línea]. [Consultado el 13 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: https://www.ecured.cu/Baterías_de_Ni-Cd.

Baterías de Ni-MH. [en línea]. [Consultado el 13 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: http://www.inalarm.mx/2gig/pdf/documentos_enlace/Bateria-2GIG.pdf

BLANCO, Adolfo. Formulación y Evaluación de Proyectos. 5 ed. Caracas: Editorial S.A. Ciencia 3. 2002. 436 p.

BOILEAU, Pierre, NARCEJAC, Thomas. Vertigo. The Living and the Dead. 1 ed. Nueva York: Hutchinson, 1956.

BROWN, Blain. Cinematography: Theory and Practice: Imagemaking for Cinematographers, Directors & Videographers. 2 ed. Waltham: Focal Press, 2011. 384 p.

Cámaras réflex o DSRL. [en línea]. [Consultado el 6 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://redgrafica.com/Las-camaras-Reflex-o-DSLR>

Dolly Zoom – Zolly: Técnica Cinematográfica [en línea]. [Consultado 26 de agosto de 2015]. Disponible en Internet: <http://tecnicacinematografica.blogspot.com.co/2008/08/dolly-zoom-zolly.html>

Dirección del Cine y Audiovisual Nacional: Ley de Cine (Ley 814 de 2003) [en línea]. Abril, 2004. Disponible en internet: www.icaucine.gov.co/innovaportal/file/3377/1/Ley_cine_Colombia_814.pdf+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=co.

Enidine. Wire Rope Isolator Technologies [en línea], agosto 2008. [consultado 5 de marzo de 2017]. Disponible en internet: http://www.enidine.com/CorporateSite/media/itt/Resources/TechnicalData/WR_Catalog_2012.pdf?ext=.pdf

Falco, Films. Grúas y Travelling [en línea] [consultado 6 de Noviembre de 2016]. Disponible en internet: http://www.falcofilms.com/ES/es/tmp/146/web_falcofilms/Gr%C3%BAas-y-Travelling.html?&Shopping_search_type=id_cat&Shopping_search_v=70&id_tree=70&Shopping_condition_type=venta.

FILMMAKER IQ. Introduction to the Dolly zoom. [en línea]. [consultado el 4 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://filmmakeriq.com/lessons/introduction-to-the-dolly-zoom>

GOODWIN, Graham. Control System Design. 1 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 911 p.

Gimbal. [en línea]. [Consultado el 6 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://medya-audiovisual.com/que-es-un-gimbal/>.

Giroscopio digital. [en línea]. [Consultado el 16 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://www.microsiervos.com/archivo/tecnologia/giroscopio-digital-microscopio.html>.

GÓMEZ, Mónica. Traveling o Dolly: El Cine nos deja planos [en línea]. 8, agosto,

2012 [consultado 28 de agosto de 2016]. Disponible en Internet: <http://elcinenosdejaplanos.blogspot.com.co/2012/08/travelling-o-dolly.html>

HEATH, Steve. Embedded System Desing. 2 ed. Burlington: Newnes, 2003. 451 p.

KOSOW, Irving L. Máquinas eléctricas y transformadores. 2 ed. London: Pearson Educación. 1993. 429 p.

MARTÍNEZ, Elisa María. Hitchcock: Imágenes entre líneas. Biblioteca javier coy d'estudis nord-americans. Valencia: Publicacions de la Universitat de Valencia. 2011. 256 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES. Ley 1556. (9 julio, 2012. Por el cual se fomenta el territorio nacional como escenario para el rodaje de obras cinematográficas. En: Avance Jurídico, Bogotá. 9, julio, 2012. No. 1556. 1-8 p.

REINA, Mauricio. La ley de cine cumple 10 años con muy buenos resultados. [en línea]. En: EL Tiempo, Bogotá. 1, julio, 2013. [Consultado el 3 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12941247>

ROYALE, Nicholas. "El Uncanny". 17 ed. Manchester: Manchester University Press, 1957. 271 p.

Sensores de inclinación. [en línea]. [Consultado el 16 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Inclin%C3%B3metros---Sensores-de-inclinaci%C3%B3n_62/.

SMITH, Warren. Modern optical engineering: the design of optical systems. 2 ed. New York: McGraw-Hill 1966, 646 p.

SonRobots. Motores, servomotores y motores Paso a paso. [en línea].

[Consultado el 21 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://sonrobots.com/arduinos/motores-servomotores-y-motores-paso-a-paso/>

SPOTO, Donald. *El arte de Alfred Hitchcock: Cincuenta años de su Motion Pictures*. 2 ed. New York: Doubleday, 1992.

TRUFFAUT, Francois. *Hitchcock*. Rev. Edition. With Helen G. Scott. 1 ed. New York: Simon & Schuster (Touchstone), 1984.

TRUJILLO, Cesar. Como crear tu propio cortometraje. [en línea]. En: IES Huelin, Málaga. 6, febrero, 2016. [Consultado el 4 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://www.ieshuelin.com/huelinenglish/como-crear-tu-propio-cortometraje>.

Unidad de medición inercial. [en línea]. [Consultado el 18 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://smartdreams.cl/unidad-de-medicion-inercial-imu/>.

Ventajas y desventajas de los microcontroladores PIC [en línea]. [Consultado el 13 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://gigatecno.blogspot.com.co/2013/02/ventajas-y-desventajas-de-los.html>

ULRICH, Karl T., EPPINGER, Steven D. Capítulo 7, Generación de Conceptos. En: Diseño y desarrollo de productos. 5 ed. Mexico: McGraw-Hill. 2013. 409 p.

Ventajas y desventajas de los microcontroladores PIC [en línea]. [consultado el 13 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://gigatecno.blogspot.com.co/2013/02/ventajas-y-desventajas-de-los.html>

Ventas de equipos profesionales para fotografía. [en línea] [Consultado 15 Agosto de 2016]. Disponible en internet: <https://www.bhphotovideo.com/spanish/c/browse/Photography/ci/989/N/4294538916>.

VILDÓSOLA, Eugenio. Asociación de la Industria Eléctrica. Actuadores [en línea]. En: Soltex Chile S.A. [consultado 6 de Noviembre de 2015]. Disponible en

internet: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>

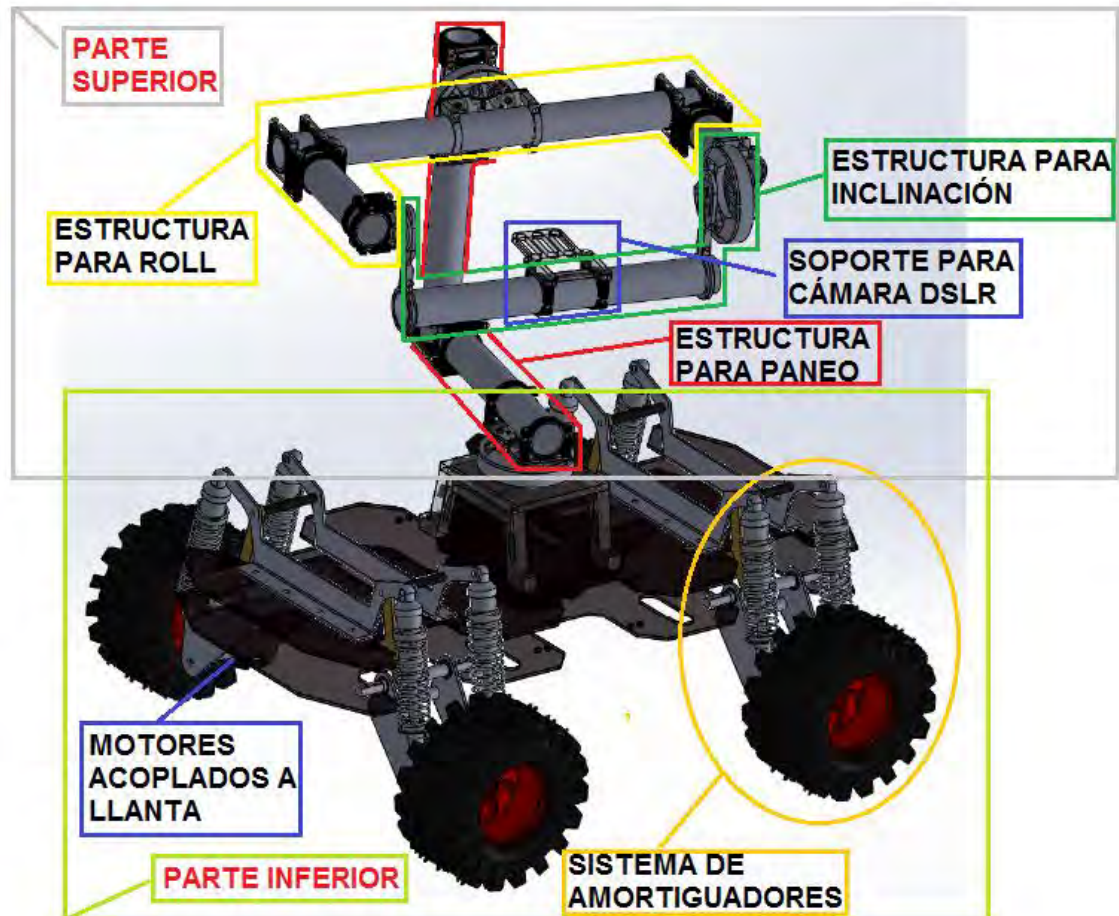
WIFI: La comunicación inalámbrica [en línea]. [Consultado el 13 de septiembre del 2016]. Disponible en internet: <http://www.aulaclic.es/articulos/wifi.html>.

Wire Rope Isolator Technologies [en línea]. [Consultado 5 de marzo de 2017]. Disponible en internet: http://www.enidine.com/CorporateSite/media/itt/Resources/TechnicalData/WR_Catalog_2012.pdf?ext=.pdf

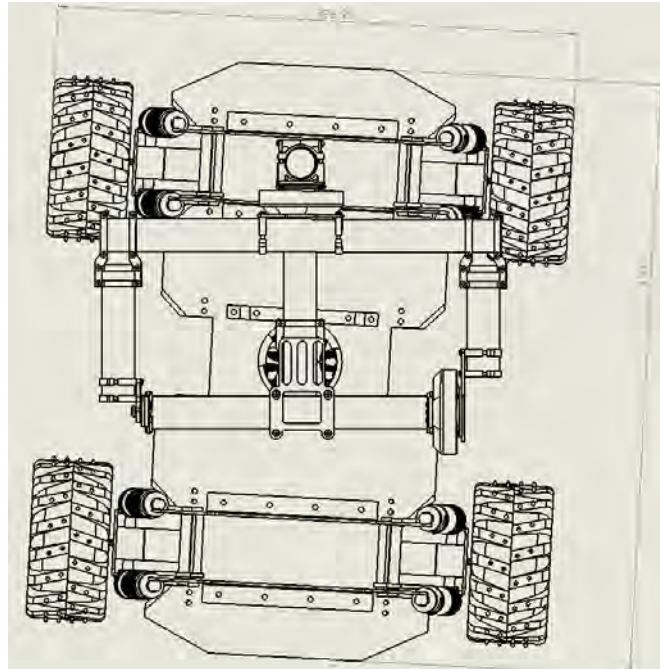
WOOD, Robin. *Films Revisited de Hitchcock*. Nueva York: Columbia University Press, 1989.

ANEXOS

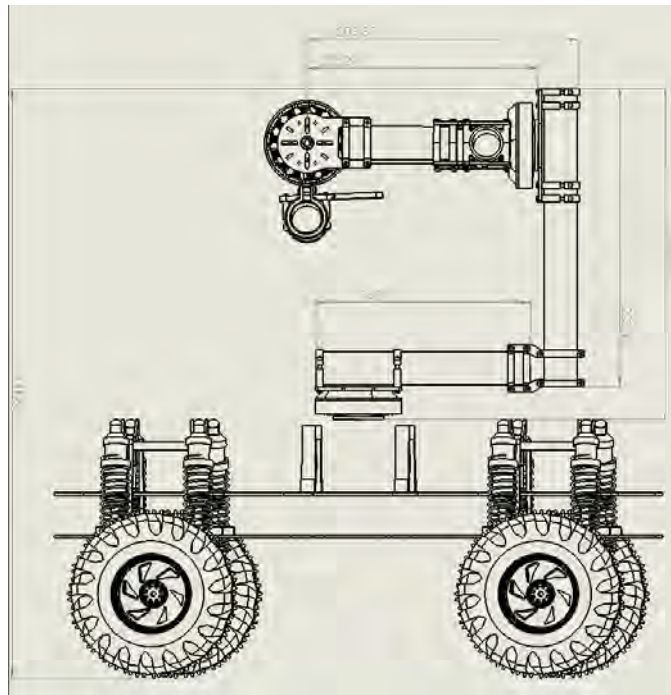
ANEXO A. DISEÑO COMPLETO #1 REALIZADO EN SOLIDWORKS



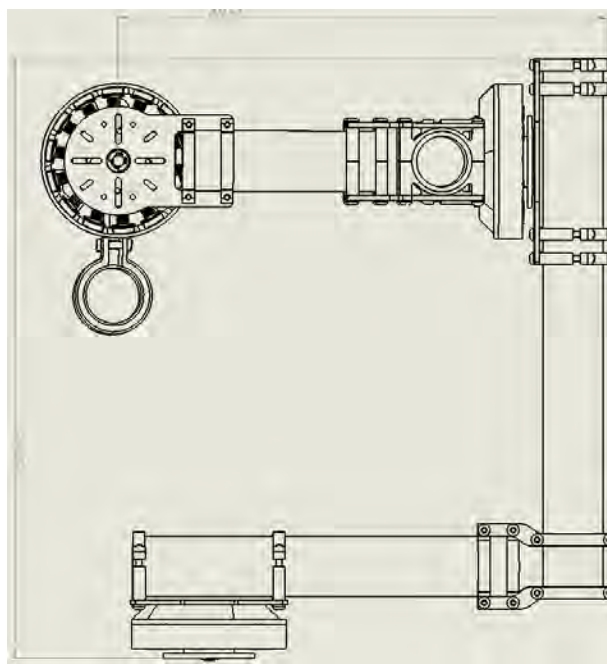
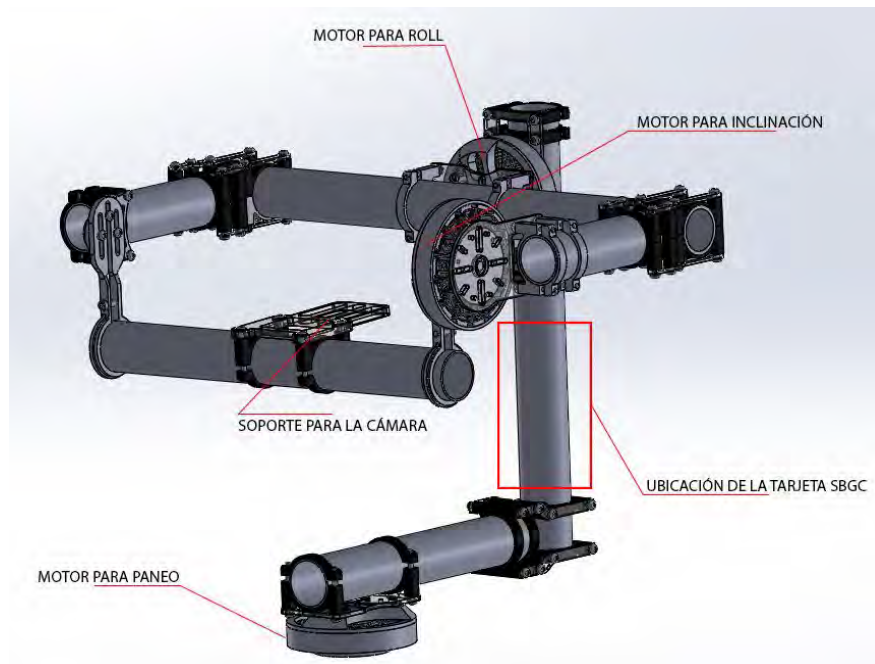
ANEXO B. DISEÑO COMPLETO #2 REALIZADO EN SOLIDWORKS



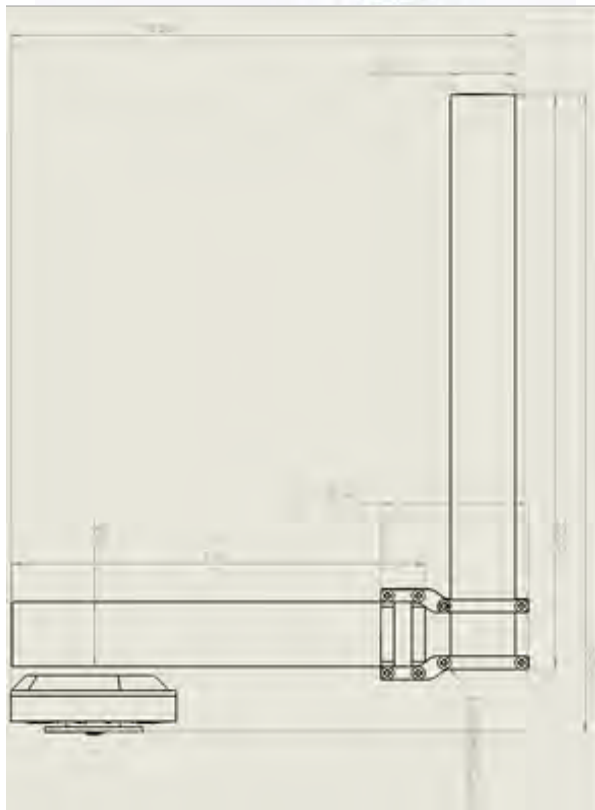
ANEXO C. DISEÑO COMPLETO #3 REALIZADO EN SOLIDWORKS



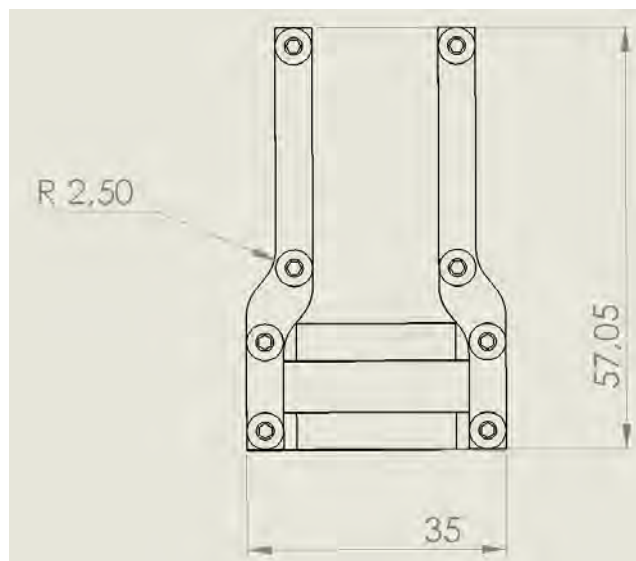
ANEXO D. DISEÑO REALIZADO EN SOLIDWORKS PARA LA PARTE SUPERIOR



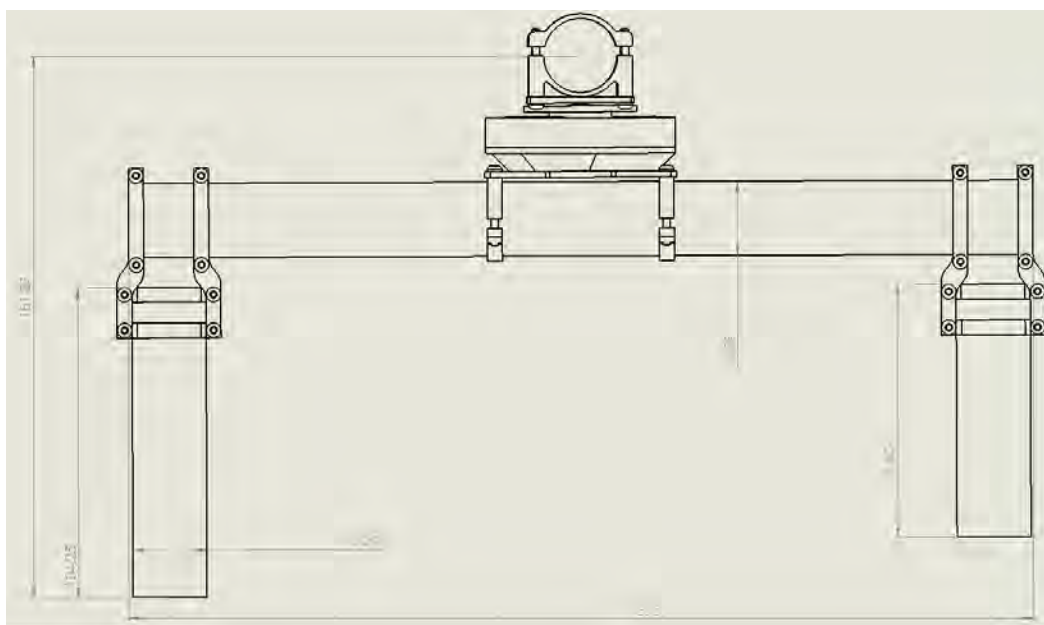
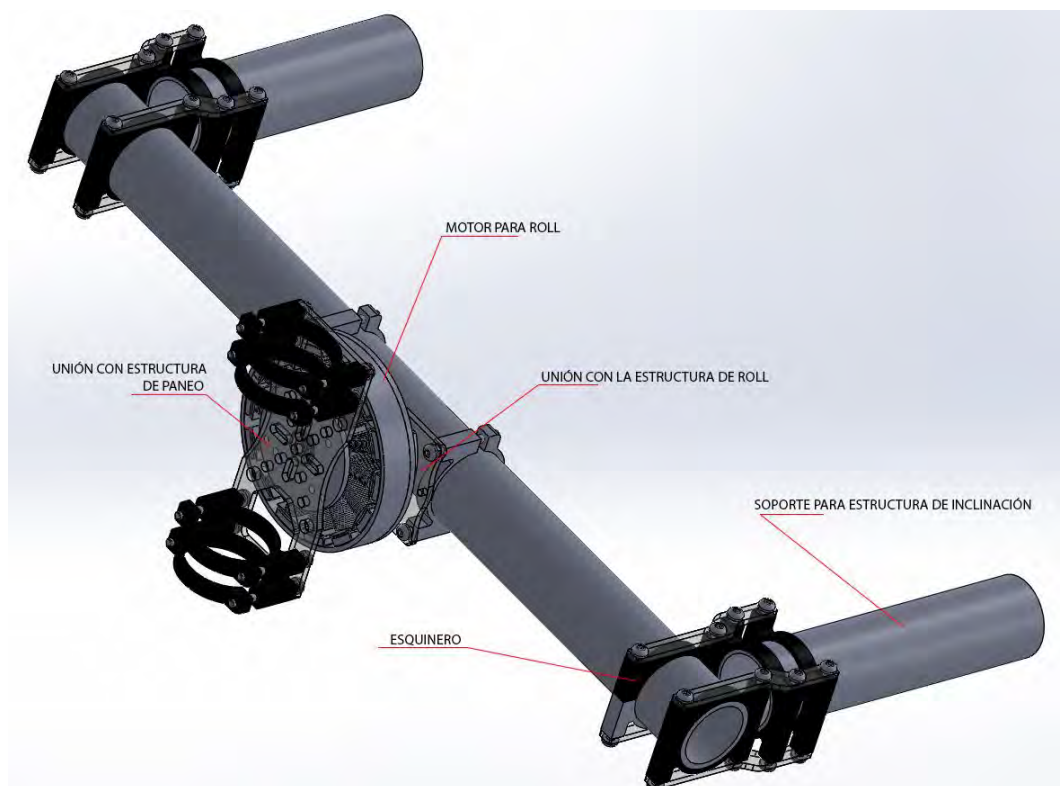
ANEXO E. ESTRUCTURA PARA PANEOS.



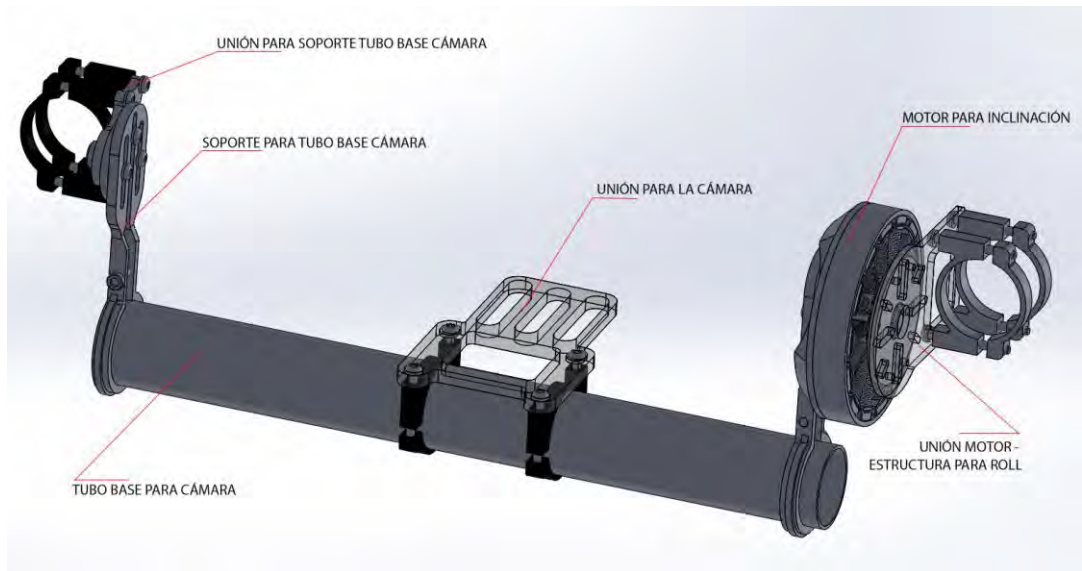
ANEXO F. ESQUINERO.



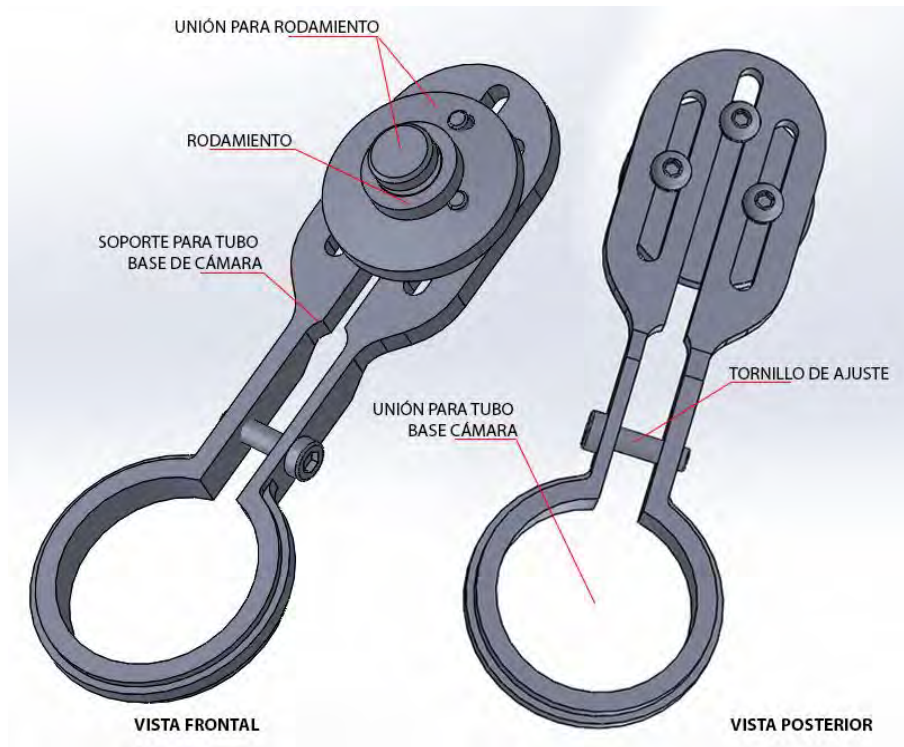
ANEXO G. ESTRUCTURA PARA ROLL.



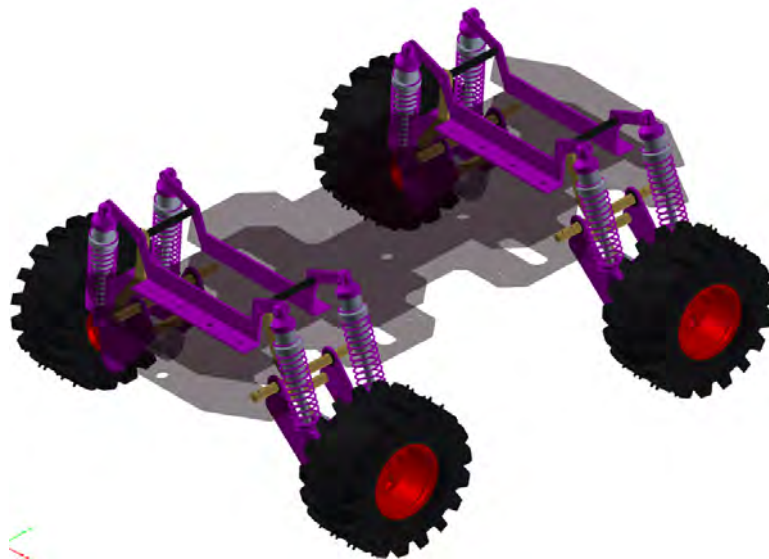
ANEXO H. ESTRUCTURA PARA LA INCLINACIÓN.



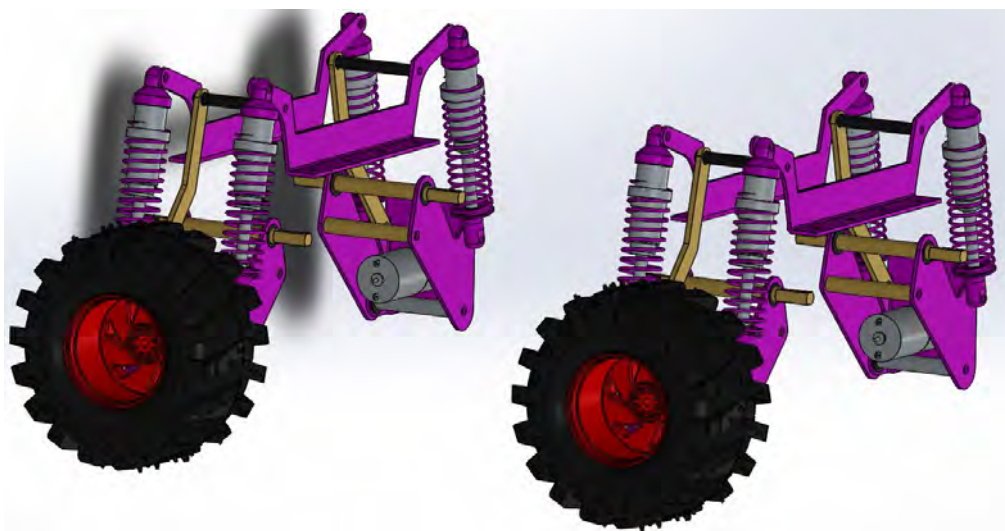
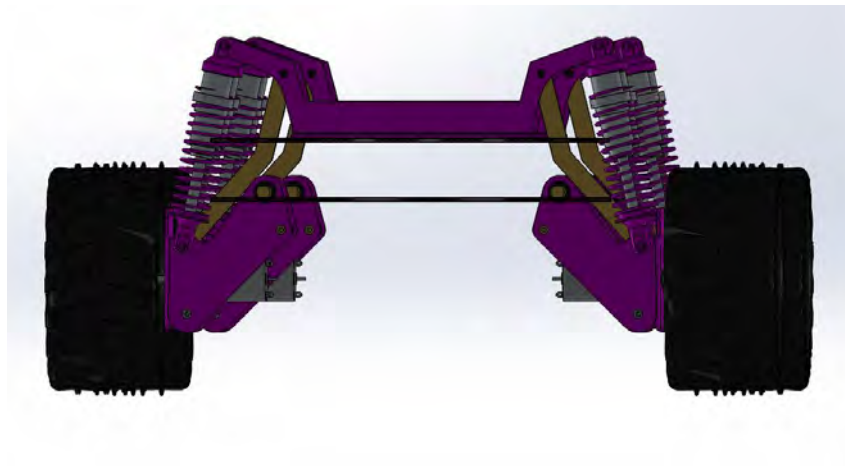
ANEXO I. SOPORTE DE TUBO BASE PARA CÁMARA.



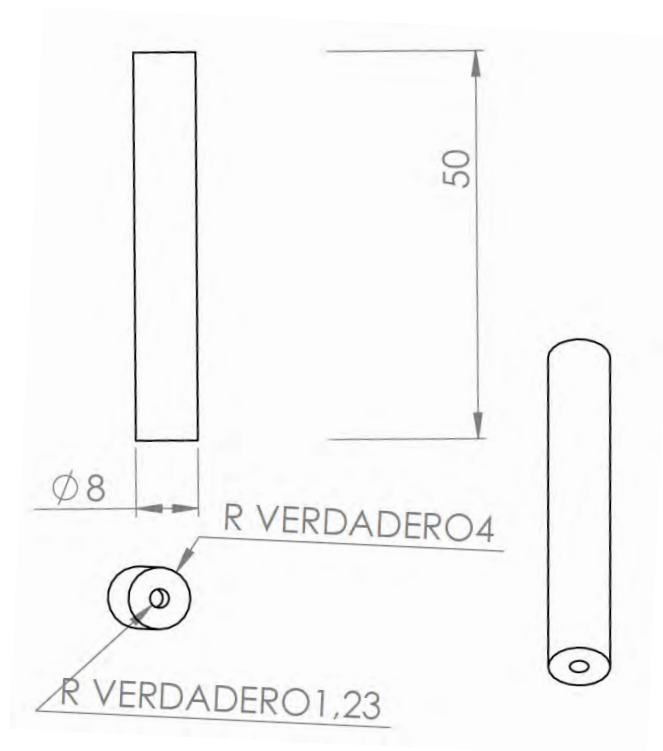
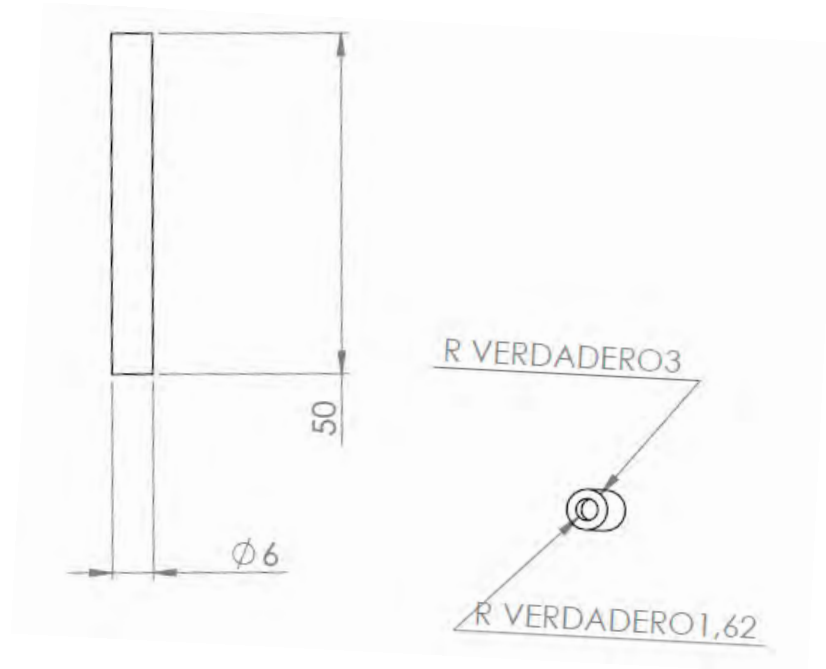
ANEXO J. DISEÑO REALIZADO EN SOLIDWORKS PARA LA PARTE INFERIOR.



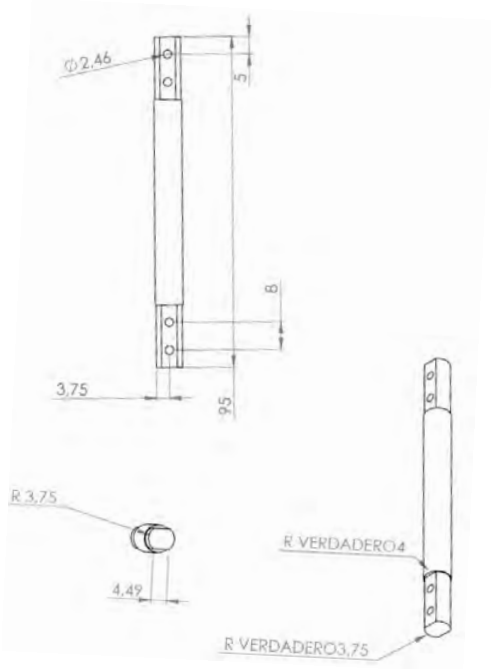
ANEXO J. CONTINUACIÓN



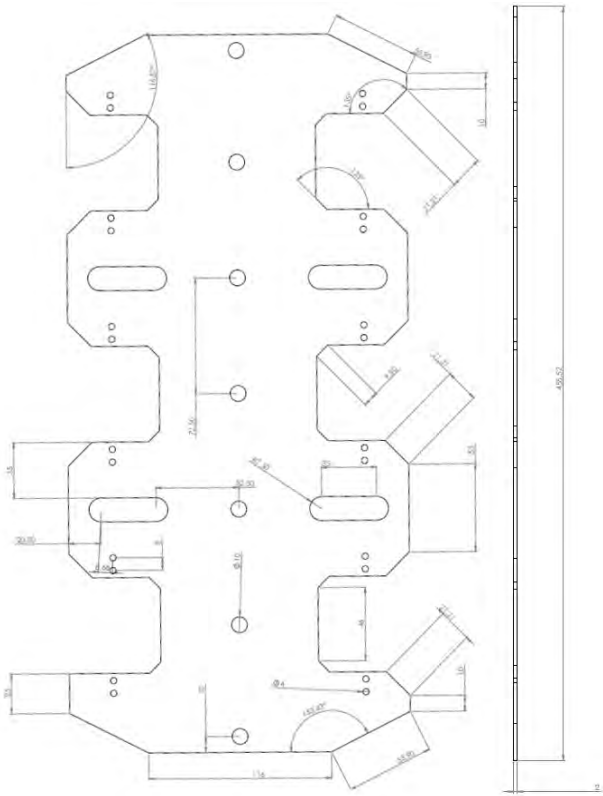
ANEXO K. EJES DE UNIÓN.



ANEXO K. CONTINUACIÓN



ANEXO L. PLACA INFERIOR.

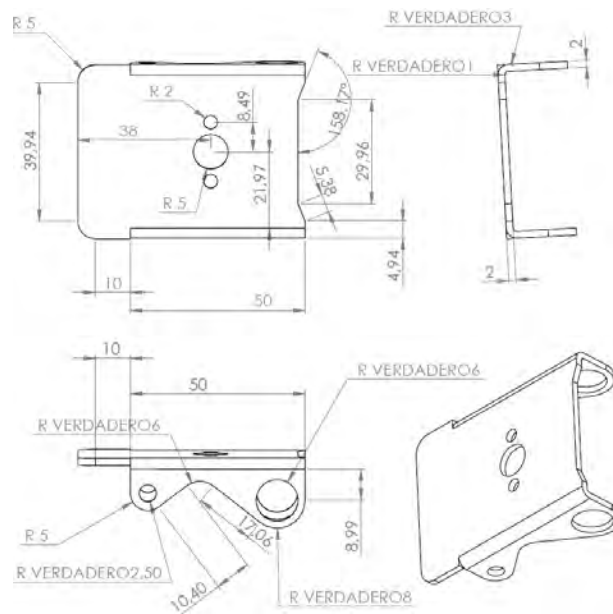


[illegible]

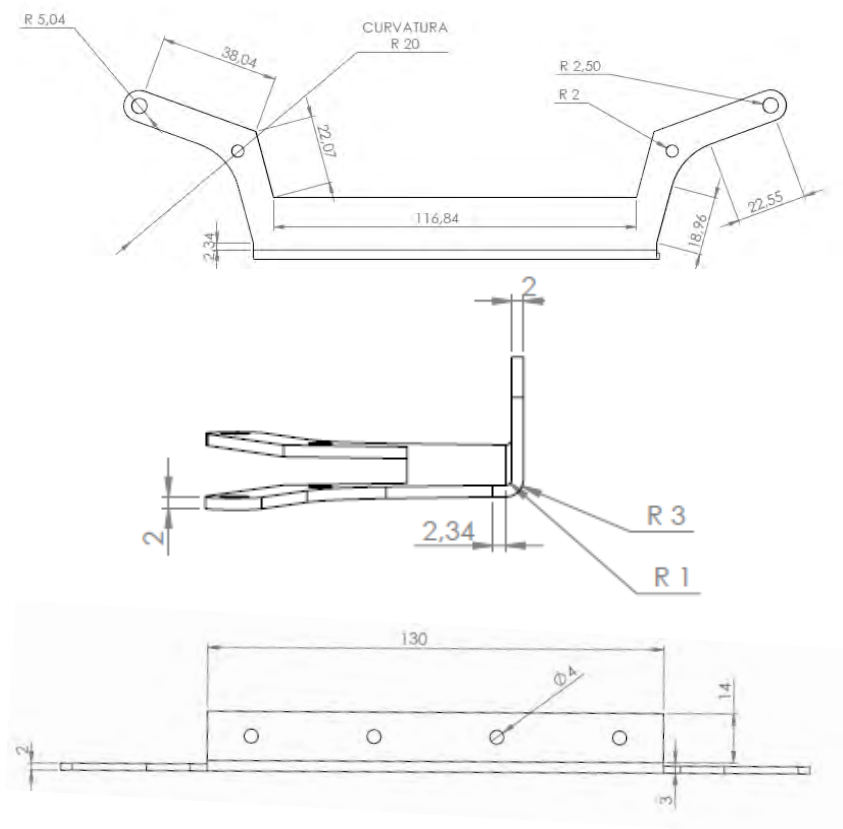
Technical drawing of a mechanical part showing dimensions and feature control frames:

- Top surface: 44.81
- Left side: 66.20
- Internal angle: 152.03°
- Top-left corner angle: 27.97°
- Feature control frames:
 - Top-left hole: $R\ VERDADERO3,50$
 - Bottom-right hole: $R\ VERDADERO3,50$
 - Bottom-right hole: $R\ VERDADERO5$

ANEXO O. PLACA DE SOPORTE #2.



ANEXO P. PLACA DE SOPORTE



**ANEXO Q. SISTEMA SUPERIOR DEL PROTOTIPO TRABAJADO
INICIALMENTE CON ACRÍLICO, PLÁSTICO Y ALUMINIO.**



ANEXO Q. CONTINUACIÓN



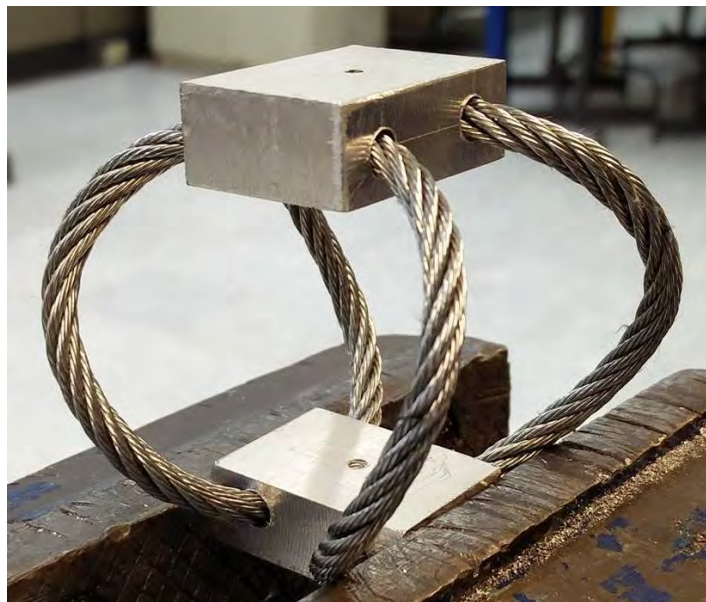
**ANEXO R. SISTEMA SUPERIOR DEL PROTOTIPO TRABAJADO
FINALMENTE CON FIBRA DE CARBONO.**



**Anexo S. Sistema de acople entre la parte superior e inferior conjunto con
el sistema de anti vibración.**



ANEXO T. UNIDAD COMPACTA DEL SISTEMA ANTIVIBRACIÓN.



ANEXO U. PLACAS SUPERIOR E INFERIOR.



ANEXO V. PIEZAS DE LA PARTE INFERIOR TRABAJADAS EN ACRÍLICO.



ANEXO W. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DISPOSITIVO

DISPOSITIVO COMPLETO (Sin Cámara)	Altura	40	cm
	Ancho	31	
	Largo	45	
	Peso	6,5	kg
SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN	Velocidad	0 - 2000	°/seg
	Aceleración	0 - 2000	°/seg ²
	Peso máximo de cámara	2	kg
	Compatible con	Windows	
		MacOs	
		Linux	
		Android 4.0+	
	Conexión Tipo	iOS	
		Bluetooth	
	Alcance de Conexión	Mini USB	
		< 10	m
	Alimentación	8 - 25	V
	Consumo de Corriente	690	
			mA
	Rosca de acople a cámara	1/4	In
SISTEMA MÍMICO	Tipo de motor	Brushless	
	Alimentación	9	V
	Consumo de Corriente	55	mA
	Conexión Tipo	Bluetooth	
	Alcance de Conexión	< 10	m
	Sensibilidad	2000	°/seg
	Tiempo de espera para conexión	±15	Seg
SISTEMA DE TRASLACIÓN	Velocidad	±(20 - 47)	cm/seg
	Conexión Tipo	Bluetooth	
	Alcance de Conexión	< 10	m
	Capacidad de carga	< 9,5	kg
	Ángulos de pendientes	< 30	grados
CONTROL DE TRASLACIÓN TIPO JOYSTICK	Alimentación	9	V
	Consumo de Corriente	60	mA
	Conexión Tipo	Bluetooth	
	Alcance de Conexión	< 10	m
BATERÍA	LiPo 4s	14,8	V
	Capacidad de corriente	5000	mA
	Tiempos uso del dispositivo completo	±40	min
	Tiempo de uso (sistema de estabilización)	≥3	h
	Tiempo de carga	3	h

ANEXO X. MANUAL DE USUARIO (CD-ROM)