

# Proyecto de Graduación

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial

## **Sistema facilitador para la visualización superficial de puentes**

Para optar por el título de Ingeniero en Diseño Industrial con el  
grado académico de Bachillerato.

Di. Carlos Picado, Coordinador de proyecto de graduación  
DI. Sergio Rivas, asesor de proyecto

Daniel Mora Cantero 200750315

II sem 2013

# Resumen

La situación de las carreteras, vías y puentes del país, está en estado crítico. Ante esto es necesario la agilidad para reparar la infraestructura nacional que está en decadencia y abandono.

Los puentes y pasos en altos son necesarios que se evalúen continuamente para proteger a los usuarios y asegurar el flujo continuo de vehículos.

Ante esto el CIVCO del Instituto Tecnológico de Costa Rica, está a punto de adquirir la supervisión de todos los puentes a cargo del MOPT. El proceso de la inspección cuenta de varios pasos, entre esos está la inspección visual.

La inspección visual actualmente se realiza de forma manual, donde los operarios deben bajar a las partes inferiores de los puentes a tratar de tomar fotografías y ver las bases y estructuras de los puentes.

Ante todo esto surgió la necesidad de crear un dispositivo que agilice el proceso de la inspección visual, que evite que los usuarios estén en riesgo de sufrir lesiones o caídas y que se amolde a las condiciones y entorno de los puentes en Costa Rica

Para esto se realizó un proceso de diseño con varias etapas de análisis y desarrollo que

dieron como resultado un dispositivo capaz de satisfacer las necesidades y requerimientos técnicos.

Palabras claves: [Copter](#), [Inspección visual](#), [Puente](#), [Aerodinámica](#), [CIVCO](#), [Control remoto](#), [Inspección de puentes](#).

# Dedicatoria

Este proyecto y en general toda esta etapa, la dedico primeramente a Dios que guió mis pasos.

En segundo lugar a mis padres y familiares que siempre me apoyaron, ayudaron y principalmente creyeron en mí.

# Índice de Páginas

## Introducción

Resumen	2
Dedicatoria	3
Índice	4
Índice de figuras e imágenes	5
Índice de tablas	6
Introducción	7

## Capítulo 1 Planeamiento del Proyecto

Antecedentes	9
Generalidades del CIVCO	10
Justificación	11
Problema	12
Objetivos	12
Definición del proyecto	13
Metodología de trabajo	14
Cronograma de trabajo	15

## Capítulo 2 Análisis General

Perfil de usuario	17
Análisis de involucrados	18
Árbol de problemas	20
Árbol de conceptos	21
Análisis de alternativas	22
Análisis de la situación	23
Análisis de lo existente	26
Aerodinámica	30
Análisis tecnológico	33
Análisis perceptual	36
Análisis ergonómico	42

## Capítulo 3 Alternativas y concepto

Requerimientos	45
Necesidades	46
Tareas	47
Funciones	48
Propuestas de diseño	49
Criterios de selección	50
Diagrama de alternativa	51

## Capítulo 4 Propuesta final

Descripción	53
Desarrollo del concepto	55
Sistemas y subsistemas	57
Que es?	58
Como funciona	59
Como se controla	60
Sistemas de alerta	61
Navegación y GPS	62
Interacción con el usuario	63
Escenarios de uso	64
Partes y Planos	65
Tornillos utilizados	89
Componentes electrónicos	90
Costos	97
Uso Final	98
Simulación de vuelo	100
Gradientes de mejora	101
Conclusiones	102
Recomendaciones	103
Bibliografía	104
Anexos	105

# Índice de Imágenes

1. Puente en el río Virilla	7	33. Sistema de grua	49
2. CIVCO	10	34. Boceto de propuesta	49
3. Inspección por cuerdas	11	35. Propuesta 4	49
4. Inspección por gruas	11	36. Concepto final	54
5. Inspector de puentes	17	37. Desarrollo del concepto	55
6. Autopista general Cañas	17	38. Desarrollo del concepto	56
7. Hoja de reporte	24	39. Relación de tamaño	63
8. Gruas de inspección	26	40. Tapa de batería	63
9. Inspección por cables	26	41. Removiendo la batería	63
10. Estructuras integradas	26	42. Condición de puentes	64
11. Vigilancia por cámaras	27	43. Vista de puente	64
12. Drone militar	27	44. Vista de puente	64
13. Avión RC	29	45. Producto en el entorno	98
14. Helicóptero RC	29	46. Producto en el entorno	98
15. Multicoptero RC	29	47. Producto en el entorno	98
16. Plásticos	33	48. Producto en el entorno	99
17. Aluminio	33	49. Producto en el entorno	99
18. Fibra de Vidrio	33	50. Producto en el entorno	99
19. Fibra de carbono	34	51. Resultado de simulación	100
20. Proceso de inyección	35		
21. 3d printer	35		
22. Corte Laser	35		
23. Motor Turnigy	36		
24. Esc	36		
25. Propelas	36		
26. Batería LIPO	37		
27. Tarjeta de control	37		
28. Cámara GOPRO	37		
29. Vocabulario visual	39		
30. Boceto de grua	49		
31. Propuesta sky cam	49		
32. Sistema de malla	49		

# Índice de Figuras

1. Mapa de Costa Rica	10	33. Características de la unión al motor	76
2. Marco metodológico	15	34. Planos de la unión al motor	77
3. Árbol de problemas	21	35. Características del protector	78
4. árbol de conceptos	22	36. Planos del protector	79
5. Entorno	26	37. Características del protector interior	80
6. Viento en el ala	31	38. Planos del protetor interior	81
7. Sentido de giro	32	39. Características unión al protector 1	82
8. Fórmula de sustentación	33	40. Planos unión al protector 1	83
9. Diagrama eléctrico	39	41. Características unión al protector 2	84
10. Cuadro semántico	41	42. Planos unión al protector 2	85
11. Cromática	42	43. Características unión a la carcasa	86
12. Ergonomía	43	44. Planos unión a la carcasa	87
13. Ergonomía de manos	44	45. Características soporte de cámara	88
14. Criterios de selección	52	46. Planos soporte de cámara	89
15. Exploso del dispositivo	58	47. Características de la batería	91
16. Especificaciones	59	48. Características del motor	92
17. Forma de vuelo	60	49. Características de la tarjeta	93
18. Parametros de control	61	50. Características de la cámara	94
19. Alertas	62	51. Características de los LEDES	95
20. Sistema gps	63	52. Características del sensor	96
21. Uso	64	53. Características de la fotocelda	97
22. Forma de uso	65		
23. Características de la base	66		
24. Planos de la base	67		
25. Características de la carcasa	68		
26. Planos de la carcasa	69		
27. Características del soporte	70		
28. Planos del soporte	71		
29. Características del tubo	72		
30. Planos del tubo	73		
31. Características de la base del motor	74		
32. Planos de la base del motor	75		

# Índice de Tablas

1. Cronograma	16
2. Involucrados	19
3. Análisis de alternativas	23
4. Medidas de manos	44
5. Necesidades	47
6. Tareas	48
7. Funciones	49
8. Criterios de selección	51
9. Sistemas	58
10. Tornillos	90
11. Costos y partes	98

# Introducción

Costa Rica es un país con una geografía muy variada, cuenta con grandes cordilleras y grandes ríos que recorren el país. El grueso de la población vive en el valle central que igualmente esta dentro del Gran Área Metropolitana. En esta zona se encuentran ríos muy importantes como el Virilla, María Aguilar, Torres, entre otros. Estos ríos han modificado el relieve creando cañones y depresiones, lo que ha obligado a que a través de los años se crearan puentes para conectar poblados y ciudades.

Al igual que en esta zona central, el resto del país también posee una gran cantidad de puentes, algunos muy largos y grandes. Como los situados sobre los ríos Tempisque, Terraba, Tarcoles, Reventazón, etc.

La mayoría de dichos puentes se construyeron hace décadas, algunos se encuentran en buen estado. Otros han sufrido daños por inundaciones, lluvias, paso de los años, cargas excesivas, etc. Y otros necesitan reparaciones menores y mayores. Ante estos daños algunos puentes han sufrido colapsos no esperados o daños importantes en la estructura.

Ante la gran cantidad de puentes en el país y las condiciones climatológicas difíciles de un país tropical, ante la gran cantidad de actividad sísmica y el limitado control y recursos que se pueden utilizar para revisar constantemente el estado de los puentes. Es necesario un sistema rápido para monitorear el estado de los puentes.



Imagen1. Puente en Tibas sobre el río Virilla

# Planteamiento del Proyecto

# Antecedentes

En el país el ente encargado de la construcción de y manejo de las carreteras y vías es el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, este ministerio se divide sus funciones entre varios entes como el CONAVI y COSEVI. A parte del MOPT hay instituciones como el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME, UCR) y el Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (CIVCO, TEC) que se encargan de emitir criterios, evaluaciones y controles a dichas estructuras. Además de las regulaciones establecidas por la Ley y por el Colegio federado de Ingenieros y Arquitectos. (CFIA).

Estas entidades controlan, construyen, supervisan y mantienen los puentes y estructuras del país. Además de la subcontratación de empresas privadas para realizar construcciones nuevas y reparaciones.

Los puentes necesitan una constante revisión para asegurarse de que el estado sea óptimo para el tránsito de vehículos. Dichas revisiones cuentan con varias etapas de inspección. En primer lugar está la inspección visual, que consiste en un vistazo general a la estructura. Ver si está presenta grietas, reventaduras, partes dobladas, partes dañadas o corrosión.

Si en esta primera inspección se encuentran fallas o puntos preocupantes se prosigue con

la siguiente inspección. Que es una inspección de toma de muestras de materiales y una inspección propiamente con contacto físico con las estructuras. Luego de ser necesario se analiza la información y se procede a hacer reparaciones o recomendaciones si fuera necesario.



Figura1. Mapa de Costa Rica y principales ríos

# Generalidades del CIVCO

El CIVCO es un centro de investigaciones adscrito a la Escuela de Ingeniería en Construcción del ITCR, que se dedica al desarrollo y mejoramiento del sector construcción, con énfasis en vivienda de interés social.

Fue creado en 1991 gracias a la colaboración y esfuerzo financiero conjunto entre el ITCR, el Banco Hipotecario de la Vivienda, BANHVI, y la Agencia Danesa para el Desarrollo Internacional, DANIDA, quienes apoyaron oportunamente los esfuerzos que en este campo venía desarrollando la Escuela de Ingeniería en Construcción.

El CIVCO está ubicado en el campus central del ITCR, cuenta con una planta física de 2000 m<sup>2</sup>, modernos equipos y laboratorios y personal altamente calificado. Todo el personal técnico y profesional del CIVCO son funcionarios y profesores de la Escuela de Ingeniería en Construcción.

## MISIÓN DEL CIVCO:

“Promover el mejoramiento del sector construcción con énfasis en vivienda de interés social, por medio de la investigación, la capacitación y transferencia de tecnología y el control de calidad y venta de servicios, propiciando cambios en la práctica constructiva, con propuestas económicas, amigables con el ambiente y que mejoren la calidad de vida de los usuarios”.

## ÁREAS TEMÁTICAS

Actualmente, tanto la Escuela de Ingeniería en Construcción como el CIVCO, desarrollan sus labores en cinco áreas temáticas, a saber:

- Estructuras y sistemas de construcción
- Materiales y física de la construcción
- Recursos hídricos y ambiente
- Infraestructura y geotecnia
- Administración de la construcción.

## CAMPOS DE ACCIÓN

Las funciones del CIVCO se agrupan en 7 campos de acción:

- Investigación y extensión.
- Apoyo a la docencia.
- Transferencia tecnológica.
- Asesorías, consultorías y asistencia técnica.
- Prestación remunerada de servicios.
- Capacitación.
- Colaboración con otras dependencias.

Fuente:

Página web del TEC

<http://www.tec.ac.cr/sitios/docencia/construccion/civco/Paginas/default.aspx>



Imagen2. CIVCO

# Justificación

Las inspecciones visuales requieren de una gran movilidad de equipo, personas y logística. A continuación se explica el proceso de la actual inspección visual:

En algunos puentes del país es posible hacer la inspección desde el fondo que está debajo del puente, por donde generalmente pasa un río. Esto sucede en los que son poco profundos y se pueden lograr tomar fotografías para el análisis de la estructura. En otros casos ( la mayoría) esto no se puede hacer, ya que el fondo es muy profundo o es inalcanzable. Para estos casos se debe desplegar operativos especiales para lograr obtener imágenes para el análisis. Si el puente es un paso importante de vehículos, se debe establecer un perímetro para asegurar la integridad de los que están realizando la inspección y de los que están utilizando el paso vehicular. Dicho perímetro puede causar presas o embotellamientos.

El proceso de inspección visual consiste en sujetar una persona por medio de arneses y cables, desde la superficie hasta que la persona quede colgada y pueda ver y tomar fotografías de la parte estructural del puente. Una vez que la persona está en posición de hacer la inspección de esa sección específica del puente, si el puente es muy largo o ancho, debe de subir y volver a hacer este proceso en todas las secciones, lo que hace que el proceso sea largo.

Además de lo extenso del proceso de la inspección. Al colgar personas de cables o estructuras temporales se pone en peligro la integridad física de los que están colgando y los que están en la parte superior están expuestos a incidentes con los vehículos en la parte superior.

Por la incomodidad en la posición del operario que está visualizando y tomando fotografías, en ocasiones no son fotografías de la mejor calidad o se omiten partes de la estructura en la inspección.

Ante estos problemas se obtiene una gran oportunidad de aporte del Diseño Industrial. En la mejora del sistema y metodología que se utiliza actualmente.

Una propuesta que mejore la forma actual de las inspecciones visuales en los puentes, podría reducir el riesgo de los operarios, y disminuir el tiempo requerido para realizar las inspecciones visuales.



Imagen3. Inspección de puentes por medio de cuerdas.



Imagen4. Inspección de puentes utilizando gruas.

# Problema y Objetivos

## Necesidad:

La escuela de Ingeniería en Construcción requiere de un sistema para la inspección visual de la estructura de los puentes. Este sistema debe ser eficiente y no debe comprometer la integridad física de las personas que realizan la inspección.

Esta necesidad surge a través de dicha escuela y la vicerrectoría de Investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

## Problema:

El CIVCO no cuenta con un sistema para la inspección visual de puentes que sea eficiente, que envíe la información de manera inmediata y que sea seguro. Y en el país no existe dicho dispositivo.

## Objetivo General:

- Diseñar un sistema facilitador para la visualización superficial de puentes que no exponga la integridad física de los usuarios a través de un análisis teórico y la aplicación del proceso de diseño.

## Objetivos Específicos:

- Diseñar un sistema que tenga autonomía en términos de energía.
- Crear un dispositivo con la capacidad de contener los sistemas necesarios para la visualización superficial de los puentes.
- Diseñar un producto que se adapte a las condiciones del entorno de uso.

# Definición del Proyecto

## Situación actual:

### A la hora de la inspección:

Dificultad por el entorno y las condiciones de los puentes.  
Falta de estructuras integradas o de soporte adecuadas para la inspección.

### Del equipo:

No existe una articulación adecuada de los equipos necesarios para desarrollar una adecuada inspección visual en la infraestructura de los puentes.

### De los operarios:

Ponen en peligro sus vidas, exponiéndose a caerse o lastimarse. Ya que están sujetos de cuerdas o estructuras temporales.

## Limitantes:

### Del proyecto:

- Tiempo del desarrollo del proyecto.
- Dificultad para probar el desempeño del dispositivo.
- Falta de información de los involucrados.
- Dificultad para conseguir partes o elementos del dispositivo.

## Alcances:

### Del proyecto:

- Modelo virtual.
- Planos Técnicos.
- Técnicas de producción y ensamble.
- Pruebas de funcionamiento.

## Impacto:

### Del dispositivo:

- Local. Para el uso del TEC y escuela de construcción.
- Expansión nacional. Para el uso de instituciones públicas : MOPT, CONAVI, LANAMME.
- Expansión nacional. Uso de empresa privada.
- Expansión internacional. A largo plazo.

# Metodología de Trabajo

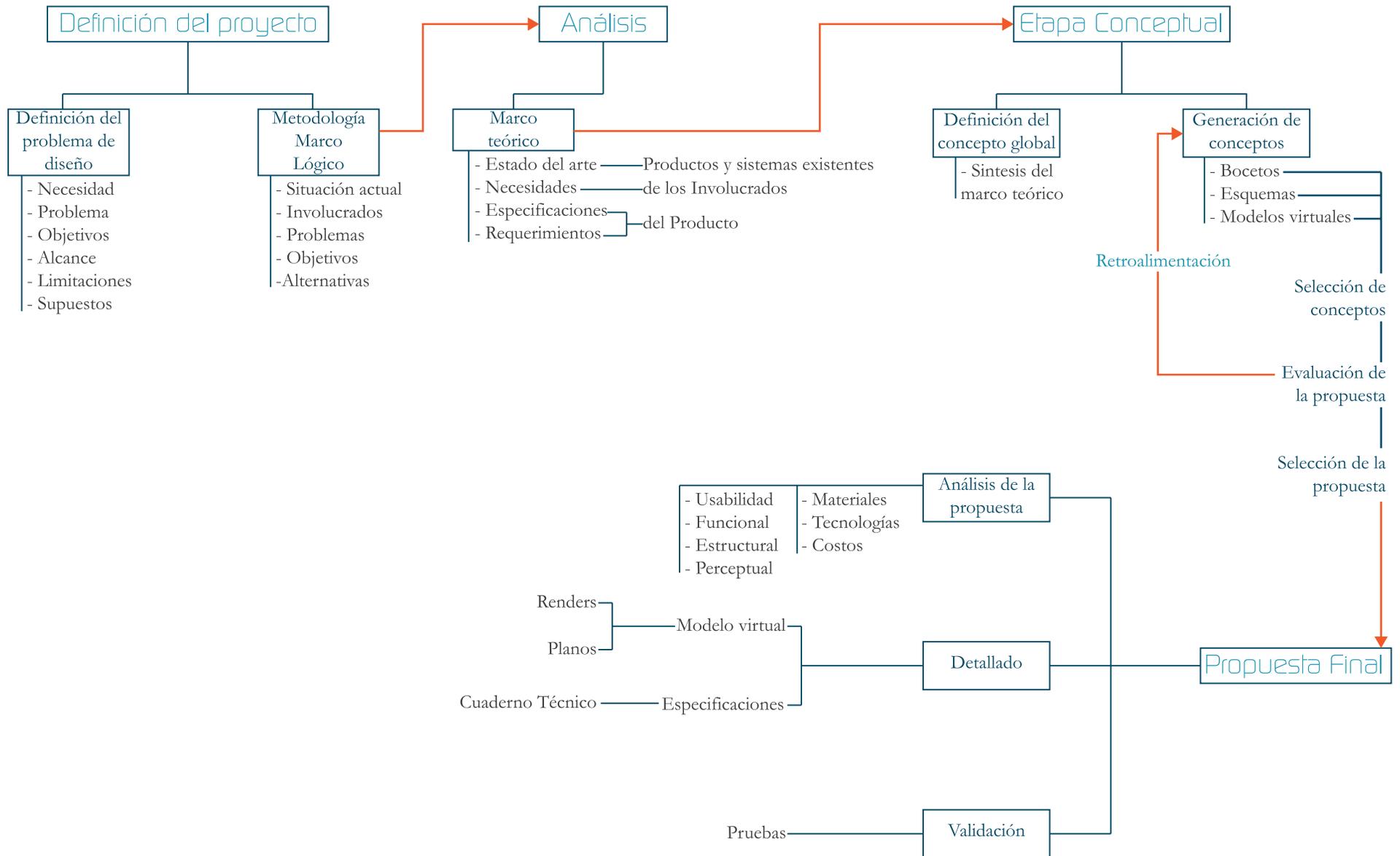
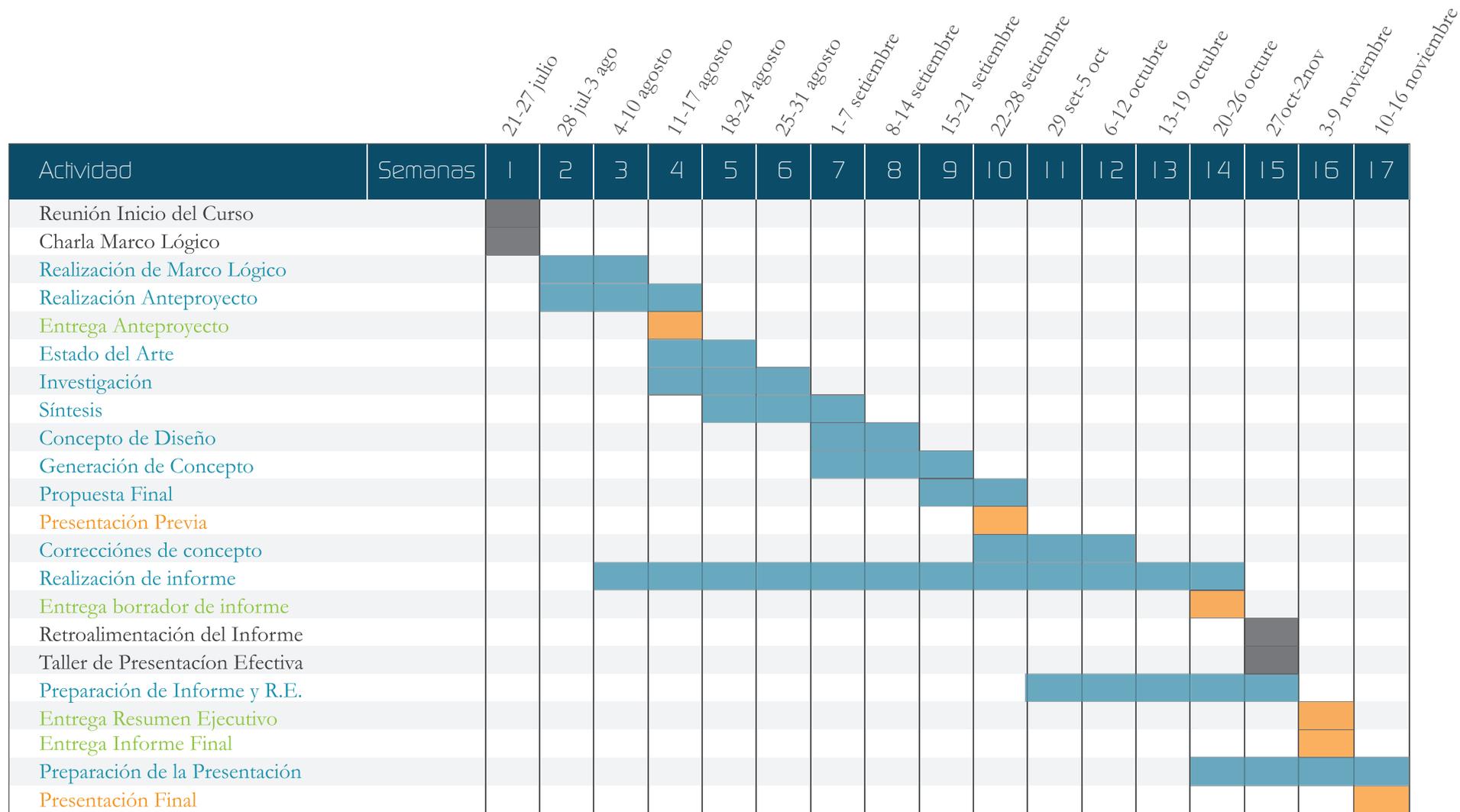


Figura2. Marco metodológico.

# Cronograma de Trabajo



- Presentación Entrega
- Actividad por parte de la escuela
- Actividad del estudiante

Tabla1. Cronograma

# Análisis General

# Perfil del Usuario

## Realizadores de la inspección:

Son personas capacitadas, con estudios universitarios ó técnicos que tienen conocimiento y experiencia en el campo de estudio de la construcción, edificación y atención de estructuras. En este caso son personas funcionarias de CIVCO.

Edad: 20 - 45 años

Profesión: Técnicos o Ingenieros

Genero: ambos



Imagen5. Inspector de puentes

## Usuarios de los puentes:

Todos los conductores y peatones que utilizan el sistema vial a diario son los usuarios de los puentes, ellos requieren que el paso por los puentes sea seguro y fluido. No tienen mayor conocimiento sobre el estado real de cada puente. Pero si desean sentirse seguros al utilizarlos.

Edad: todas las edades

Profesión: cualquiera

Genero: ambos



Imagen6. Autopista General Cañas

# Análisis de Involucrados

## Análisis de Involucrados:

En el siguiente cuadro se analizan los alcances y factores del problema del diseño, desde el punto de vista de todos los grupos y personas involucradas en el proyecto.

Tabla2. Involucrados

Grupo	Interés	Problemas Percibidos	Recursos y mandatos	Intereses en una estrategia	Conflictos potenciales
Interesados en desarrollar el proyecto (Vicerrectoría de Investigación). Proyecto de puentes a nivel nacional.	Desarrollar un dispositivo que agilice la inspección de puentes.	No existe un dispositivo capaz de desarrollar la función de una manera eficiente.	- Presupuesto para la investigación y partes. - Información técnica especializada.	Buscan desarrollar el producto para implementarlo al sistema nacional de puentes. Nivel Alto	- Falta de investigación en diseño. -Falta de recursos económicos para fabricar un prototipo.
Operarios e Ingenieros que realizan las inspecciones.	Realizar la tarea de manera eficiente y sobre todo de una manera segura. Sin comprometer su integridad física.	La manera actual de realizar las inspecciones es mediante formas inseguras. Utilizando cuerdas o estructuras colgantes.	- Requisitos de uso - Información del proceso de inspección.	Realizar su labor de una manera más segura. Nivel Alto	Diversidad de locaciones, entornos y diversidad en las características de las estructuras.
Los usuarios de los puentes. Las personas que utilizan las redes viales.	Transitar por los puentes y carreteras de forma segura y sin contratiempos.	A la hora de hacer mantenimientos se detiene el tránsito. En los últimos años varias estructuras han colapsado.	Uso normal del sistema vial.	Transitar de una manera eficiente y segura. Nivel Bajo	Discoformidad a la hora de la inspección de los puentes.
Instituciones Gubernamentales. MOPT. CONAVI. LANAMME. CNE	Asegurar la confiabilidad y resistencia de los puentes. Realizar estudios preventivos.	Detectar a tiempo fallas o deterioro en la red vial del país y sus puentes.	- Información técnica de los requerimientos de los puentes. - Información del mantenimiento, y de las inspecciones.	Asegurar el buen estado de los puentes. Dar mantenimiento. Nivel Alto	-Falta de capacidad de abarcar todos los puentes de manera efectiva. - Falta de recursos para cumplir la función.
Industria de producción y fabricantes	Oportunidad de nuevo negocio	-Falta de experiencia - Falta de maquinaria y tecnología	- Materiales -Información de especificaciones - Mano de obra - Maquinaria	Posibilidad de fabricar el dispositivo. Nuevo negocio. Concesión. Nivel Medio	- Disposición de nuevas tecnologías. - Falta de especialización.

# Análisis de Involucrados

Desde el punto de vista del Diseñador:

## Intereses:

Diseñar un sistema facilitador para la visualización superficial de puentes que no exponga la integridad física de los usuarios a través de un análisis teórico y la aplicación del proceso de diseño.

Diseñar un sistema que tenga autonomía en términos de energía.

Crear un dispositivo con la capacidad de contener los sistemas necesarios para la visualización superficial de los puentes.

Diseñar un producto que se adapte a las condiciones del entorno de uso.

## Problemas percibidos:

No se tiene conocimiento técnico sobre la inspección de puentes y su proceso.

Se dispone de poco tiempo para hacer una investigación profunda.

Las tecnologías para desarrollar un sistema con las características expuestas en los objetivos, no se encuentran en el país.

Recursos limitados en presupuesto y tiempo.

## Recursos y mandatos:

Conocimientos en áreas diversas que pueda ayudar a solventar el problema en un nivel más concreto y eficiente.

Facilidad de comunicación con el CIVCO para el desarrollo del proyecto.

Acceso a profesionales con el conocimiento técnico adecuado.

Presupuesto.

## Intereses en una estrategia:

Mejorar las condiciones de trabajo de los inspectores.

Disminuir el riesgo físico de los operarios.

Disminuir el tiempo de inspección visual.

## Conflictos potenciales:

Falta de recursos.

Falta de tiempo para la adquisición de partes.

# Análisis de la Situación

## Situación actual:

A la hora de la inspección de los puentes en Costa Rica, se debe desplegar un operativo para que los operarios desciendan utilizando cuerdas o andamios para que realicen las inspecciones visuales de la condición estructural de los puentes. Este procedimiento pone en peligro las vidas de los operarios al estar suspendidos en el aire o utilizar estructuras temporales. Además del peligro para las personas, el operativo implica costos y tiempo en colocar los soportes que utilizan los operarios. Y en algunos casos implica el cierre de carreteras o vías para colocar las estructuras.

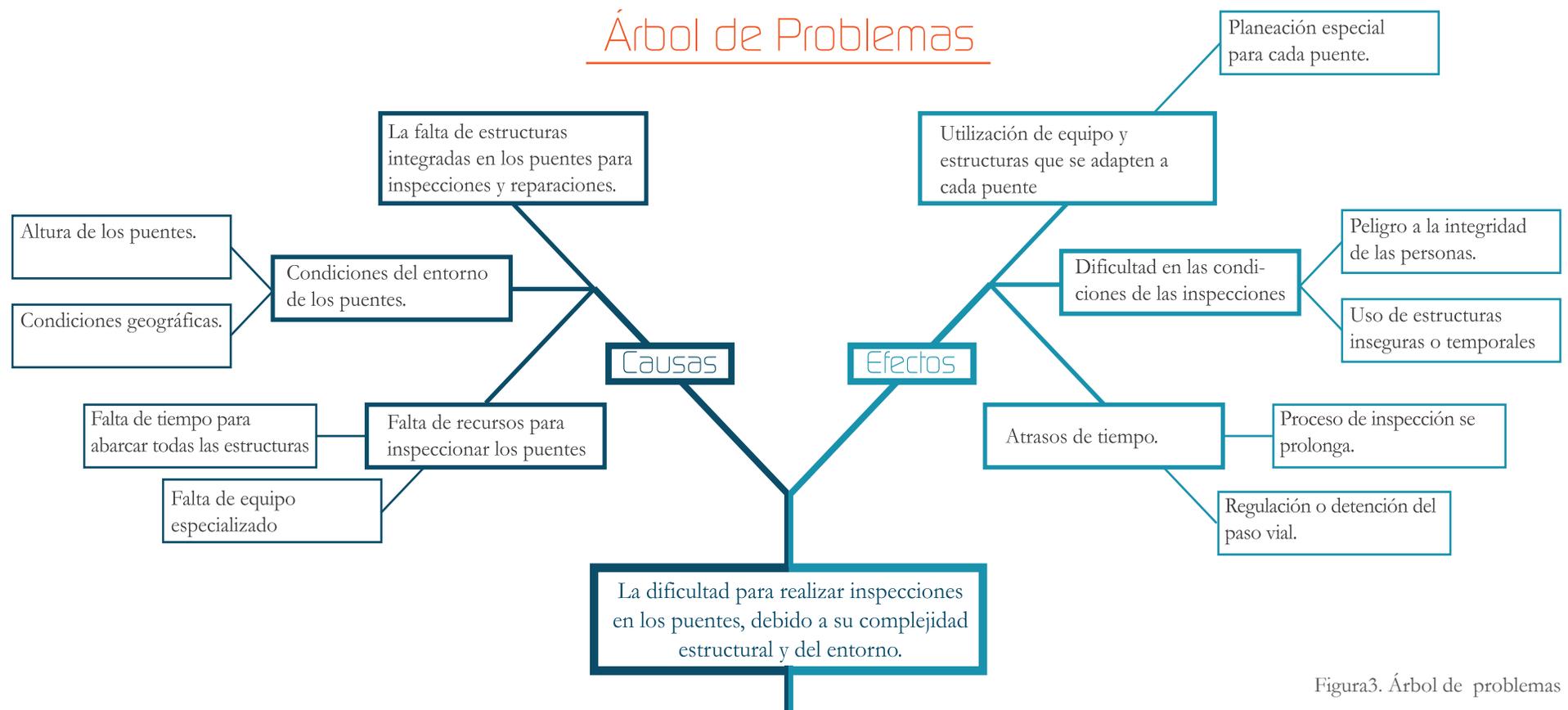


Figura3. Árbol de problemas

# Análisis de la Situación

## Árbol de Conceptos

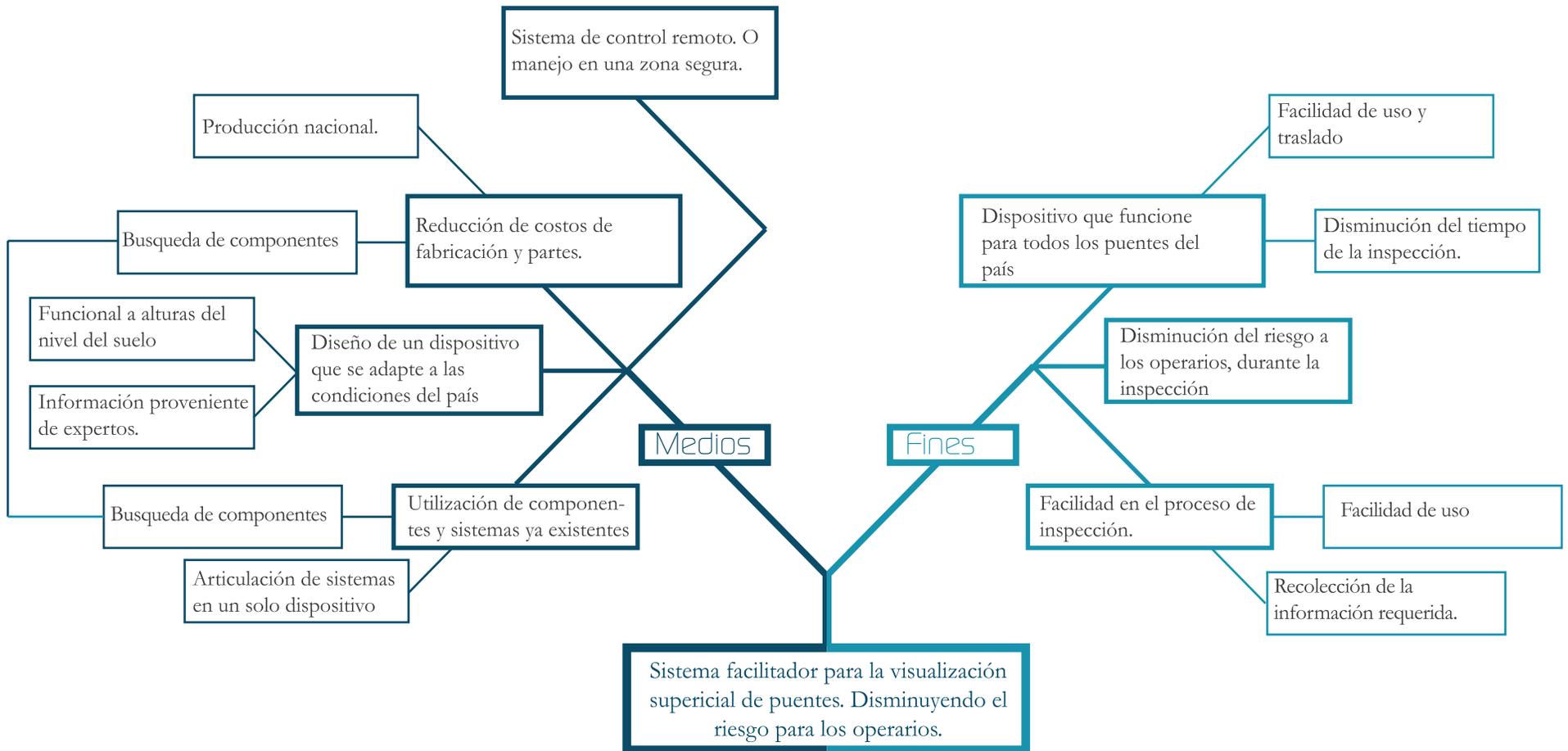


Figura4. Árbol de concepto

# Análisis de la Situación

## Análisis de alternativas:

En el siguiente cuadro se muestran las estrategias y criterios que se utilizarían para la realización del dispositivo, tomando en cuenta las diferentes posibilidades.

Estrategia	Recursos	Probabilidad de Alcanzarlos	Alcance	Sostenibilidad del proyecto
Desarrollar un sistema facil y rapido de utilizar.	Recursos tecnológicos de sistemas de control.	ALTA	Poco tiempo de preparación técnica para el uso del dispositivo	Continuo, con evaluación de alcance de objetivos constante y supervisión, asesoría de rumbo del proyecto
Desarrollar un sistema estable y seguro.	Sistemas de sustentación o sujeción.	ALTA	Lograr un mejor desempeño de la inspección visual.	
Diseñar un sistema que se cumpla con los requerimientos del entorno.	Observación del entorno de uso.	ALTA	Lograr inspeccionar la mayoría de los puentes del país.	
Desarrollar un sistema que mande información en tiempo real	Tecnologías de transferencia. (wi fi, Bluetooth, etc)	ALTA	Análisis y recopilación rapida de la información.	
Desarrollar un sistema que sea eficiente en terminos de energía y autonomía	Tecnologías de motores, baterías, cableado, etc.	MEDIA	Uso continuo, prolongado y que permite completar las inspecciones visuales de forma exitosa.	

Tabla3. Análisis de alternativas

# Análisis de la Situación

## Inspección visual actual de puentes:

La inspección visual es el primer proceso, el cual es no invasivo. No se necesita de equipo especializado que pueda hacer mediciones específicas. Este primer paso da indicadores para ver la necesidad de realizar el proceso completo de inspección.

“Este método, aunque es muy sencillo y fácil de realizar, también tiene algunas limitaciones, que pueden significar un vacío de información, puesto que en muchos casos no se prevé que debido a la configuración del puente o bien de la geografía del lugar, se encuentren sitios inaccesibles, y se tiene que utilizar medios o equipos especializados como escaleras, plataformas de andamiaje, botes, brazos mecánicos, entre otros, y en la mayoría de los casos no se cuenta con la disponibilidad de los mismos.”(Inspección visual en puente piloto, Pablo Tames Orozco, Adriana Vega Calvo)

La inspección visual debe ser un sistema eficiente que a simple vista pueda identificar posibles problemas estructurales o de materiales en los puentes.

Es por esto que como lo explica el MOPT, “la inspección es un conjunto de actuaciones técnicas, realizadas según un plan previo, que facilitan los datos necesarios para conocer en un instante dado el estado de un puente.”

Es importante explicar que en el proceso de inspección se tiene que considerar todos los elementos de la súper y subestructura del

puente, además de la losa de aproximación y los accesorios que están sujetos al puente. Algunos de estos elementos son (MOPT, 2007):

### Accesorios:

- Superficie de Rodamiento
- Barandas
- Juntas
- Tuberías de Servicios
- Sistema de Drenaje
- Señalización

### Superestructuras:

- Vigas Principales y Secundarias
- Losa

### Subestructura:

- Apoyos
- Bastiones

Un factor importante a tomar en cuenta es el material de los puentes. Ya que como los materiales son diferentes, así sus indicadores de fallas. Por ejemplo si el puente es de acero, una de sus fallas puede ser la corrosión, mientras que en madera puede ser astillamiento de las piezas. La mejor manera de manejar la información de la inspección visual es mediante fotografías que luego pueden ser analizadas por medio de varios ingenieros y emitir un criterio.

En cuanto al equipo de trabajo para realizar las inspecciones, se necesita de un equipo mínimo

de tres personas. Una o dos de ellas se encargara de realizar la inspección visual, mientras otra persona está al tanto de cuidar la integridad la del resto, ya sea alertando al tránsito o sosteniendo una estructura donde están colocados el resto. El equipo de tres personas es el mínimo ya que en estructuras grandes se requiere de más personas. La inspección visual de una estructura puede tomar un día según información del CIVCO.

Las personas que realizan la inspección deben tener un conocimiento técnico para emitir criterios y análisis sobre la información recopilada. Del mismo modo deben realizar el informe requerido por el MOPT.

Según el manual del MOPT los inspectores deben de llevar el siguiente equipo:

- Binoculares
- Foco
- Camara
- Lupa

Luego de la inspección se debe elaborar un informe que se muestra en los anexos.

# Análisis de la Situación

## Proceso completo de la evaluación de puentes:

Antes de empezar con la evaluación de puentes, se debe hacer un proceso de planificación. Este consiste en analizar la vía, la logística de la operación, cierre de vías, desvíos, rutas alternas, entre otros.

Según el programa EBRIDGE se deben tener conceptos claros antes de empezar todas las inspecciones, ellos son:

**Evaluación:** valoración del desempeño de un puente existente.

**Falla:** una condición del puente cuando un estado límite es alcanzado o excedido

**Estado límite:** es cuando la condición de los componentes de un puente sobre pasa los criterios para los cuales fue diseñado. (AASHTO, 2011)

La evaluación de puentes consiste de dos partes. La evaluación cualitativa y cuantitativa.

- Primero sería el inventario, esto consiste en identificación de puentes, ubicación, planos, especificaciones, estudio de tráfico, costos y estudios de rehabilitaciones previas.

- En segundo lugar sería la inspección visual, que cabe dentro de los parámetros cualitativos. Este tipo de inspección puede darse por los siguientes motivos:

- Inspecciones rutinarias
- Inspecciones de daños específicos
- Inspecciones detalladas
- Inspecciones de factores críticos
- Inspecciones bajo el agua
- Inspecciones específicas

- Lo tercero por hacer sería la aplicación de criterios de selección para aplicar otros estudios, según la información recopilada, se tomaría una decisión de que equipo especial se ocupa para profundizar en la inspección.

- A partir de aquí seguirían métodos cuantitativos. Que serían las pruebas de materiales, estas se dividen en pruebas destructivas y no destructivas. Con diferentes equipos desde martillos a equipos profesionales. Luego se procede a realizar pruebas de cargas vivas.

- Se pueden establecer criterios para determinar si se llevara un monitoreo permanente o por tiempo definido. Estos monitoreos pueden ser :

- Monitoreo de deformación
- Monitoreo de vibración
- Monitoreo de tránsito
- Monitoreo de desplazamiento

- Modelos de predicción para toma de decisiones: Nivel de confiabilidad (se aplicó en esta investigación Mo)

Modelos de vida útil

Planes de mantenimiento y/o intervención

Luego de todo el proceso se envía un informe al MOPT con la información recopilada, incluyendo las fotografías de la inspección visual.

INVENTARIO BASICO DE PUENTES/FOTOS											
NOMBRE DEL PUENTE		Punto Río Patate		PROVINCIA	Cuepo	ADMINISTRADO POR	MOPT			DIA MES AÑO	
Nº DE LA VÍA	CLASIFICACION	LOCALIDAD	CANTON	El Cuero	LATITUD SUR	9 ° 56 ' 30 "	LONGITUD OESTE	83 ° 57 ' 54 "	FECHA DE DISEÑO	Ago. 1990	
KILOMETRO	km	DISTRITO	San Isidro	LONGITUD ESTE	83 ° 57 ' 54 "	ESTADO DE CONSERVACION ESTRUCTURAL		IN			
Nº	1	UBICACION	Rancho			Nº	2	UBICACION	Superficie de Rodadura		
NOTA			DIA MES AÑO			NOTA			DIA MES AÑO		
Nº 1			12 8 2011			Nº 2			12 8 2011		
Nº	4	UBICACION	Vista lateral vista principal			Nº	5	UBICACION	Vista inferior		
NOTA			DIA MES AÑO			NOTA			DIA MES AÑO		
Nº 4			12 8 2011			Nº 5			12 8 2011		
Nº	6	UBICACION	Vista canal del río								
NOTA			DIA MES AÑO								
Nº 6			12 8 2011								

Imagen7. Hoja de reporte

# Análisis de la Situación

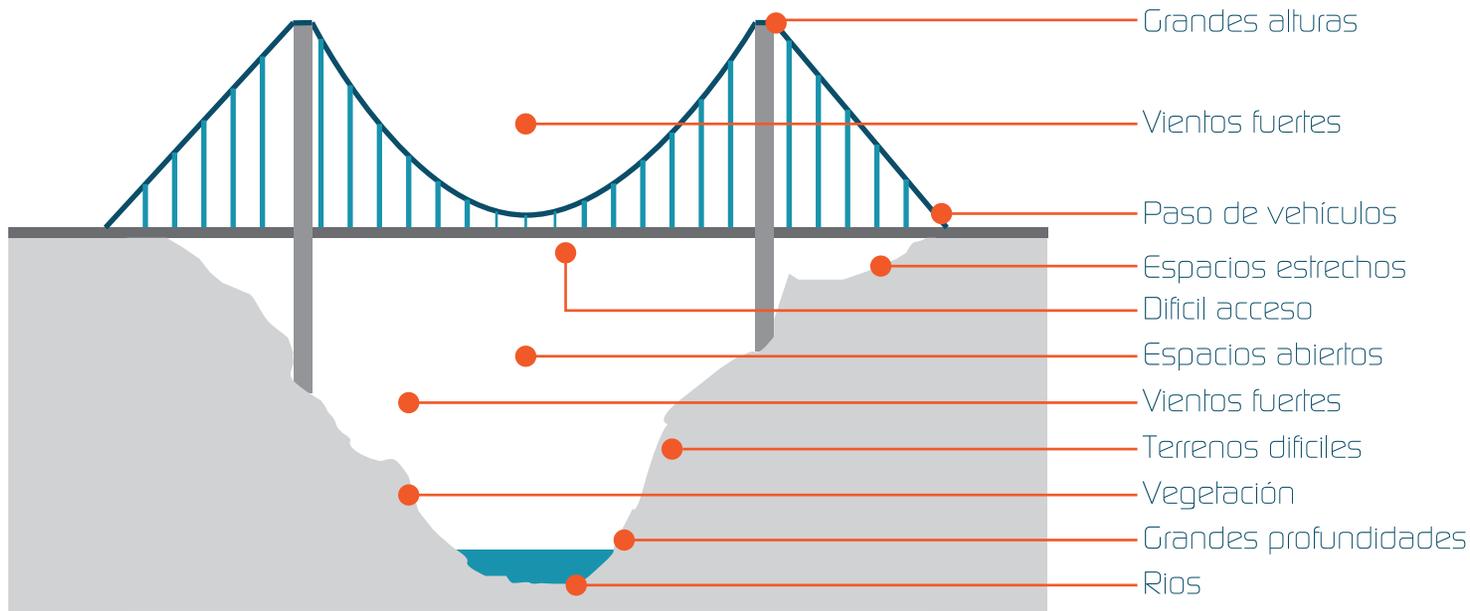


Figura 5. Situación de los puentes

## Entorno:

En la figura de arriba, se muestran los principales problemas o factores que influyen en la inspección visual de los puentes. En algunos casos los puentes cuentan con estructuras que sobresalen del puente hacia arriba.

En la mayoría de los casos los puentes cuentan con estructuras en la parte inferior, inspeccionarlos se complica por las condiciones mencionadas. Estas condiciones hacen que el uso de estructuras temporales sea imposible utilizarlas.

Los operarios no logran alcanzar todas las áreas de la estructura. Aún si están colgando, algunos puentes son anchos (de 4 carriles) lo que hace que de las partes centrales no se puedan obtener fotografías.

Existen diversos tipos de estructuras y puentes, así mismo es igual de diverso el entorno en que se encuentran. Desde precipicios de varios metros de profundidad a puentes sobre pequeños pasos. Diversos tipos de vegetación y de relieve. El dispositivo a proponer deberá ser utilizable en estas condiciones.

El paso de los carros es otro factor importante a ser tomado en cuenta. Ya que se debe evitar obstruirlo cuando se están realizando las inspecciones.

Por último, la iluminación en las estructuras por abajo es otro factor a tomar en cuenta, actualmente los inspectores deben de llevar foco, por las malas condiciones de iluminación existentes.

# Análisis de lo Existente

## Gruas

Uno de los sistemas utilizados actualmente son las grúas con plataformas, en el país hay muy pocas y principalmente es un método utilizado en Estados Unidos.

Personas requeridas: 3 mínimo

Costo: Alto

Riesgo: Medio

Fortalezas:

Entre los métodos existentes es de los más seguros, fácil de maniobrar. Posibilidad de llevar equipo vario en la inspección.

Debilidades:

El costo del vehículo o el alquiler, para desplegarlo se necesita cerrar al menos un carril. No alcanza a todos los lugares de la estructura.



Imagen8. Gruas de inspección

## Cables

Este método es el más común, pero el más peligroso, es el más utilizado en el país. Son cuerdas que se sujetan para suspender a una persona.

Personas requeridas: 3 mínimo

Costo: Bajo

Riesgo: Muy Alto

Fortalezas:

Es el más económico. Requiere de poco espacio.

Debilidades:

Es en extremo peligroso, pone en riesgo la vida de las personas. Es difícil de movilizar, ya que si se quiere mover de segmento, el inspector debe subir y sujetarse a un nuevo segmento. Si el puente no tiene puntos de sujeción se complica la inspección. Y no se puede alcanzar todos los puntos.



Imagen9. Inspección por cables

## Estructuras integradas

Algunos casos, más recientemente los puentes son construidos integralmente con una subestructura para que pueda ser inspeccionado. Tal no es el caso de Costa Rica .

Personas requeridas: 1 mínimo

Costo: Alto

Riesgo: Medio

Fortalezas:

No requiere de adquirir más equipo y es más rápido.

Debilidades:

Actualmente en el país no existen, su costo de fabricación es muy alto. Solo se podría implementar en nuevas estructuras.



Imagen10. Estructuras integradas

# Análisis de lo Existente

## Camaras

En otro tipo de estructuras o instalaciones se utilizan camaras fijas para monitorear y vigilar áreas específicas.

Personas requeridas: 1 mínimo

Costo: Medio

Riesgo: Medio

Fortalezas:

Riesgo bajo porque es un medio remoto, Facilidad de accederlo cuando sea necesario.

Debilidades:

Costo de instalación, y vigilancia continua, deterioro y no sería posible alcanzar a todas las áreas de la estructura.



Imagen11. vigilancia por cámaras

## Drones

Los drones son objetos controlados remotamente, que tienen varios sistemas integrados, como control, mediciones y camaras.

Personas requeridas: 1 mínimo

Costo: Medio

Riesgo: Bajo

Fortalezas:

Es un sistema integrado, no requiere que la vida del inspector se ponga en peligro, porque es conducido remotamente. Puede agilizar el tiempo de inspección.

Debilidades:

Requiere un conocimiento técnico para su uso, actualmente en el país no existen las tecnologías para producir las partes.



Imagen12. Drone militar

# Análisis de lo Existente

Ya que el proyecto está propuesto por parte del CIVCO y el EBRIDGE , se ha analizado conjuntamente las necesidades y requerimientos que debe tener un sistema para la inspección visual de puentes. Por lo que se determinó que el camino a seguir sería el de un dispositivo no tripulado que fuera capaz de alcanzar la mayoría de locaciones de una estructura. No sería tripulado ya que la integridad de los usuarios no se vería comprometida, además el proceso de inspección sería más rápido.

Por lo que los siguientes análisis serán basados dentro de esta posibilidad y el objetivo del proyecto irá de la mano con la posibilidad de crear un dispositivo remoto.

Ya que los sistemas utilizados actualmente para la inspección no cumplen con los requerimientos de seguridad .

# Análisis de lo Existente

## Aviones

Los aviones a control remoto han sido utilizados durante años como recreación. En el país actualmente hay varias tiendas que venden diferentes modelos

### Fortalezas:

Se pueden adquirir fácilmente, son livianos

### Debilidades:

Se requiere mucha destreza para tripularlos. Ocupan una velocidad mínima de desplazamiento. Por lo que tomar fotografías y detenerse sería imposible.

## Helicopteros

Los helicopteros son más maniobrables que los aviones, son más pesados. cuentan con una helice superior y una trasera que permite que no gire descontroladamente.

### Fortalezas:

Se pueden adquirir fácilmente, son livianos.

### Debilidades:

Inestables, las hélices grandes pueden ser peligrosas, difíciles de adaptar a otros propósitos.

## Multi Copters

Utilizan varias hélices pequeñas para volar, sus motores están en disposición radial. En el país no se venden actualmente.

### Fortalezas:

Son livianos, estables y fáciles de tripular, se pueden conseguir sistemas para adaptarlos.

### Debilidades:

Poco conocimiento en el mercado y el país. Consumo de energía.



Imagen13. Avión RC



Imagen14. Helicóptero RC



Imagen15. Multicopter RC

# Aerodinámica

## Principio de Bernoulli:

En la aeronáutica el principio más importante es el principio de Bernoulli. Bajo este concepto es que es posible que todas las aeronaves puedan despegar del suelo.

El principio de Bernoulli estipula que la energía de un fluido (aire en este caso) se mantiene constante al pasar por un punto. Pero esta energía constante depende de la velocidad y presión. Así que si se aumenta la presión, la velocidad del fluido disminuye.

En el caso de las aeronaves, lo que se desea es que la velocidad sea mayor en la parte superior del ala o hélice. Se logra con la forma de las mismas, al tener mayor superficie en la parte superior la velocidad aumenta. Y en la parte inferior disminuye porque recorre menos distancia, pero la presión que disminuye en la parte superior, aumenta en la parte inferior.

## Sustentación:

Estos tres conceptos: velocidad, peso y forma del ala, son importantes porque son factores de la sustentación. La sustentación es la fuerza requerida para que una aeronave se levante del suelo. En un avión gracias a la velocidad que lo hace impulsarse y la forma de las alas hacen que la fuerza de sustentación superen la fuerza de gravedad ejercida sobre el objeto.

En los helicópteros y multirrotores la sustentación depende de las dimensiones de las hélices, la forma y la velocidad con que giran los rotores.

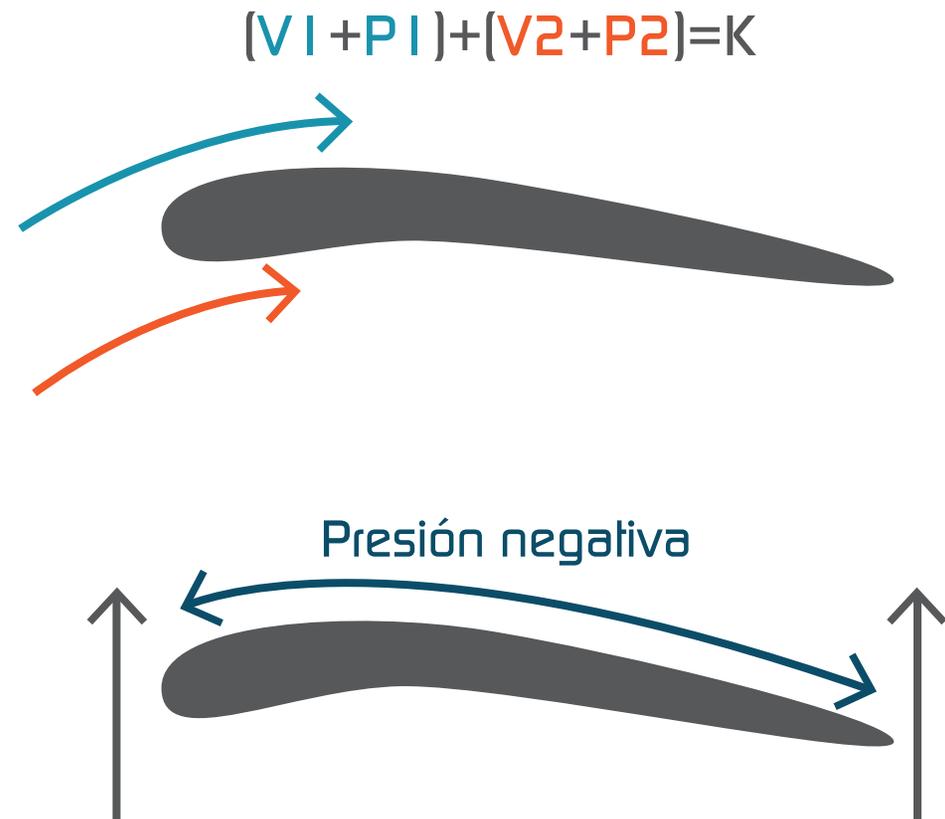


Figura6. Viento en el ala

# Aerodinámica

## Vuelo con hélices:

Como se menciona anteriormente, un avión tiene suficiente fuerza de sustentación gracias a la velocidad del objeto.

En cambio los helicópteros y multirrotores proveen la fuerza de sustentación gracias al impulso de los rotores y las hélices. Por lo que estos tipos de vehículos pueden estar estáticos pero igualmente en el aire, por lo que los hace muy versátiles y relativamente fáciles de tripular y moverse en las tres dimensiones.

Aún así este sistema cuenta con un problema al tener hélices superiores. Ya que por la fricción generada por los rotores y la resistencia al movimiento y el aire, el objeto puede rotar por completo, no solo las hélices.

En el caso de los helicópteros se soluciona con el rotor trasero que hace un balance y gira el sistema en la dirección contraria a la dirección del rotor principal.

En los multi rotores como tienen varios rotores superiores, entonces la mitad giran en una dirección y la otra mitad en la otra. Así mismo las hélices son contrarias, para que todas tengan la fuerza de sustentación dirigida hacia arriba.

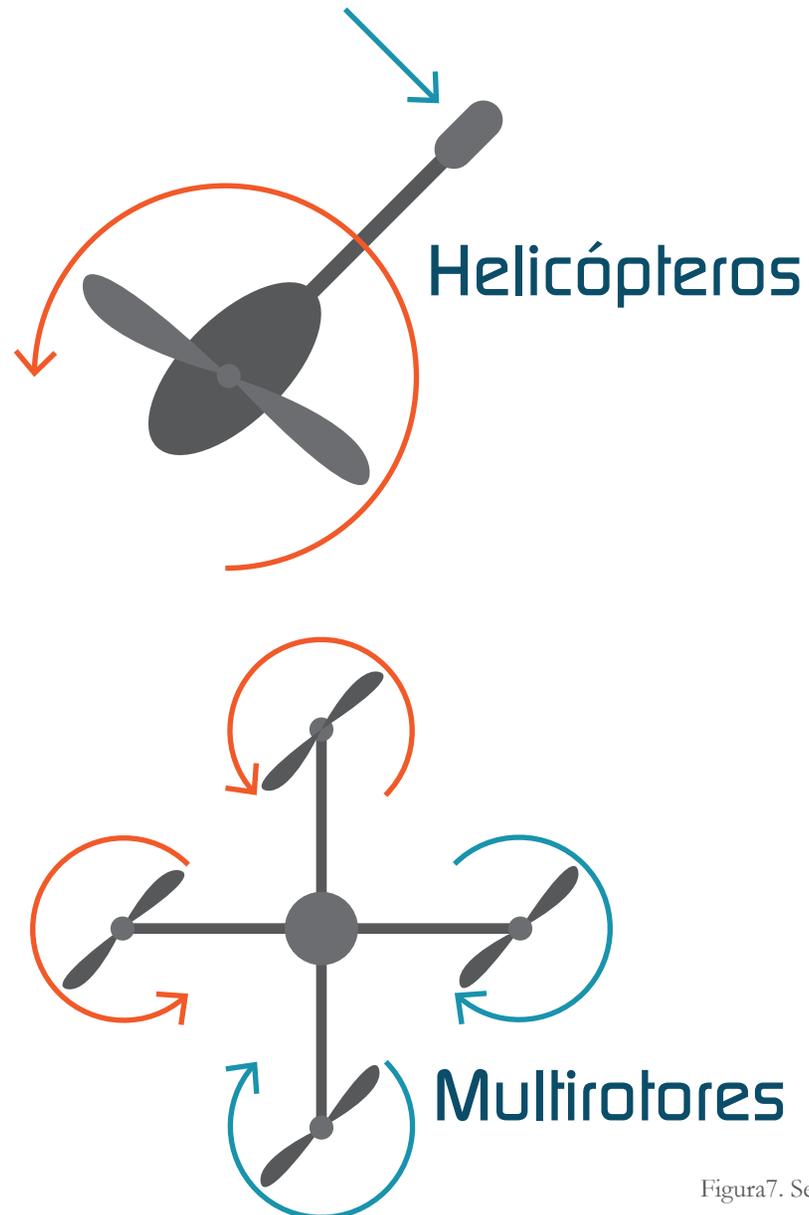


Figura7. Sentido de giro

# Aerodinámica

## Vuelo con hélices:

La sustentación es una Fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través un fluido, de dirección perpendicular a la de la velocidad de la corriente incidente.

Como con otras fuerzas aerodinámicas, en la práctica se utilizan coeficientes adimensionales que representan la efectividad de la forma de un cuerpo para producir sustentación y se usan para facilitar los cálculos y los diseños.

En aeronáutica es la principal fuerza que permite que una aeronave con alas se mantenga en vuelo. Ésta, al ser mayor que la masa total de la aeronave, le permite despegar.

Para la sustentación se utiliza la notación  $L$ , del término inglés lift, y  $C_L$  para el coeficiente de sustentación, el cual siempre se busca sea lo mayor posible.

Además, la sustentación, y en consecuencia, su coeficiente, dependen directamente del ángulo de ataque, aumentando según aumenta éste hasta llegar a un punto máximo, después del cual el flujo de aire que pasa sobre el extrados (parte superior del ala), no logra recorrer en su totalidad y mantenerse adherido al perfil aerodinámico, dando lugar a la entrada en pérdida

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_L$$

$L$  - Fuerza de sustentación

$\rho$  - Densidad del fluido. .

$V$  - Velocidad. .

$A$  - Área superficial del cuerpo. m<sup>2</sup>.

$C_L$  - Coeficiente de sustentación (adimensional).

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

Figura8. Formula de sustentación

# Análisis Tecnológico

## Polímeros

### Características:

Es Ligero. Algunos son transparentes.  
Mal conductor del calor y la electricidad.  
Hay permeables e impermeables.  
Diversidad de colores y acabados.  
Diversidad de tipos de plásticos.

### Ventajas:

Moldeable en cualquier forma.  
Liviano.

### Desventajas:

Poca resistencia mecánica, se doblan ante fuerzas. No existe tecnología en el país para producirlo.

Imagen16. Plásticos



## Aluminio

### Características:

Es de los metales más ligeros, es fácil de doblar. Diversidad de acabados con tecnologías como el anodizado.

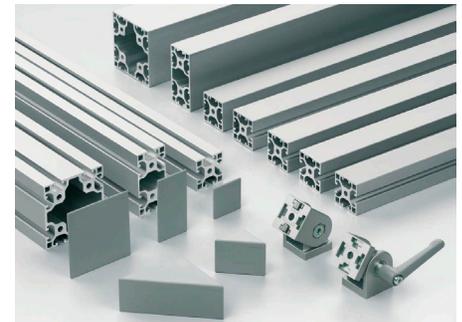
### Ventajas:

Metal resistente y liviano, diversidad de formas en las que se produce. Si existe tecnología en el país para producir partes de aluminio.

### Desventajas:

Se quiebra, es más pesado que otros materiales. Es costoso hacer soldaduras y uniones fijas con este material.

Imagen17. Aluminio



## Fibra de Vidrio

### Características:

La fibra de vidrio es un material compuesto. Por hilos o fibras de vidrio combinado con resina o algún material aglutinante.

### Ventajas:

Facilidad de crear objetos con este material. Es resistente y liviano. Diversidad de forma. Y se le puede dar acabado.

### Desventajas:

Se puede quebrar. En laminas delgadas, no es tan resistente.

Imagen18. Fibra de vidrio



# Análisis Tecnológico

## Fibra de carbono

### Características:

Es Ligero. El material más ligero y resistente actualmente en el mercado. En el país no se produce ni se comercializa este material.

### Ventajas:

Resistencia, liviano. Puede ser moldeado.

### Desventajas:

Es más costoso y hay que importarlo

Imagen19. Fibra de carbono



## Otros materiales

A la hora de crear el producto hay otros materiales que interactúan. Generalmente materiales de partes que ya vienen prefabricadas. Para la elección en este dispositivo se recomienda usar los materiales y partes más ligeros posibles. Por ejemplo las hélices existen de plástico, fibra de vidrio y fibra de carbono.

Otros componentes electrónicos, cables, entre otros también afectan el peso y el desempeño del dispositivo, pero no se pueden sustituir ni cambiar el material.

# Análisis Tecnológico

## Inyección de plástico:

La inyección de plástico es un modo simple de fabricar componentes con formas geométricas de alta complejidad. Para ello se necesita una máquina de inyección que incluya un molde. En este último, se fabrica una cavidad cuya forma es idéntica a la de la pieza que se desea obtener y para su tamaño se aplica un factor de contracción el cual se agrega en las medidas de la cavidad para que al enfriarse la pieza moldeada se logren las dimensiones deseadas. La cavidad se llena con plástico fundido, el cual se solidifica, manteniendo la forma moldeada.

## Impresión de plástico:

Es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material.<sup>1</sup> Las impresoras 3D son por lo general más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición.

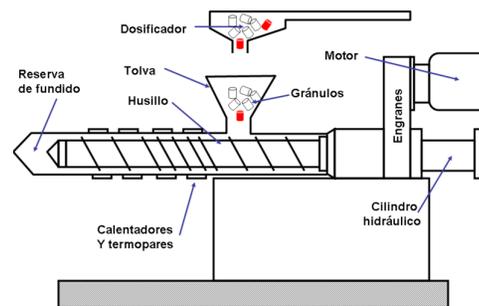
## Extrusión de aluminio:

Es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada. Las dos ventajas principales de este proceso por encima de procesos manufacturados son la habilidad para crear secciones transversales muy complejas y el trabajo con materiales que son quebradizos,

porque el material solamente encuentra fuerzas de compresión y de cizallamiento. También las piezas finales se forman con una terminación superficial excelente.

## Extrusión de aluminio:

Es una técnica empleada para cortar piezas de chapa caracterizada en que su fuente de energía es un láser que concentra luz en la superficie de trabajo. Para poder evacuar el material cortado es necesario el aporte de un gas a presión como por ejemplo oxígeno, nitrógeno o argón. Es especialmente adecuado para el corte previo y para el recorte de material sobrante pudiendo desarrollar contornos complicados en las piezas.



Diseño genérico de la unidad de inyección

Imagen20. Proceso de inyección

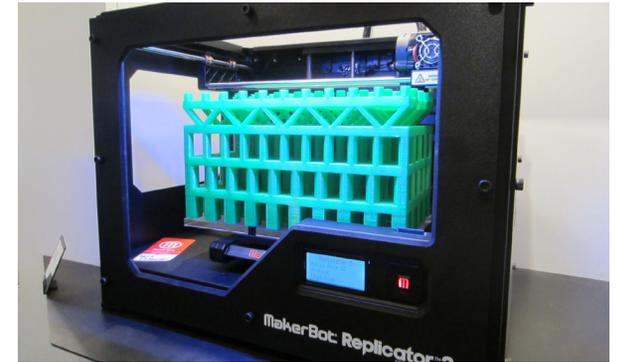


Imagen21. 3d printer



Imagen22. Corte laser

# Análisis Tecnológico

Hay componentes que son necesarios para crear el dispositivo, basado en la investigación que se desarrollo referente a lo existente. A continuación se explican los componentes:

## Motores:

Los motores eléctricos para estos dispositivos son especiales Ya que su sistema de bobinado o cableado es diferente para lograr una mayor eficiencia. Además de que no utilizan escobillas lo que permite un cambio en la polaridad del rotor. En este tipo de motores hay de diferentes clases y diferentes desempeños. Por ejemplo se utiliza el término “KV” esto significa Revoluciones por minuto por voltio RPM/V. Por lo que el desempeño de un motor se ve afectado por la batería que lo alimente. Este aspecto va a afectar la velocidad y fuerza que tenga un dispositivo. La fuerza de sustentación es muy importante porque la relación peso potencia debe ser elevada (recomendado que sea el doble) para que facilmente despegue.

## Control Eléctrico de velocidad:

Conocidos como ESC por sus siglas en ingles Electric Speed Control. Se conectan directamente a cada motor, estos circuitos eléctricos permiten regular la velocidad del motor e invertir la polaridad del motor. Se pueden programar y calibrar para regular las señales que mandan a los motores. Esta programación se realiza conectandolos a una

computadora o con un dispositivo especial para ese propósito. Igualmente que los motores, los ESC hay de diferentes clases, estas se seleccionan dependiendo del Amperaje del motor. Existen desde 10A hasta 60A.

## Propelas o hélices:

Las propelas son las que tienen la responsabilidad aerodinámica de levantar el dispositivo. Existen de diferentes largos y anchos, esto afecta la estabilidad del aparato y la fuerza que debe aplicar el motor. Una característica importante es que en el caso de los dispositivos con varias hélices, es que se necesitan que sean unas en sentido del reloj y otras en sentido contrario. Existen de diferentes materiales como plásticos, fibra de vidrio y fibra de carbono.



Imagen23. Motor sin escobillas TURNIGY



Imagen24. ESC de 20 AMP



Imagen25. Propelas para Copters

# Análisis Tecnológico

## Tarjetas de control:

Las tarjetas de control cumplen la misma función que una tarjeta madre en una computadora. Regula y opera todos los componentes. La tarjeta de control de vuelo cuenta con sensores que regulan la estabilidad del vehículo. Controlando la velocidad y potencia que llega a los motores. Existen diferentes tipos y desempeños de las tarjetas. Algunas son básicas como para controlar dispositivos pequeños y otras son muy complejas que pueden integrar más sistemas como luces, GPS, WIFI, plan de vuelo, camaras, entre otros. Las tarjetas de control se pueden adaptar según la cantidad de motores, reciben información del usuario y la transmiten a los motores.

## Baterías:

Las baterías siempre han sido un punto debil de los aparatos tecnológicos. Ya que la autonomía no es tan buena. Otro factor importante es su tamaño y peso, que afectarían el desempeño del dispositivo. El tipo de batería que se utiliza en estos dispositivos es conocida como de tipo 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.

## Control remoto:

Un control remoto no solo se refiere a los

controladores convencionales. Con las nuevas tecnologías los aparatos electrónicos pueden ser controlados desde tablets o celulares inteligentes. Mediante aplicaciones especiales que crean los productores de las tarjetas de control. Un receptor que capta la señal desde el control y la traduce a la tarjeta de memoria. La señal puede ser mandada por WIFI, BLUETHOOT o por radio frecuencia. Asi mismo el dispositivo puede mandar información de vuelta al usuario en tiempo real.

## Cámaras:

Ya que es importante reducir el riesgo para los usuarios, las cámaras son importantes para el manejo del dispositivo y para la recopilación de información de la inspección visual. Estas cámaras deben tener una calidad de imagen buena y deben ser livianas, no cámaras convencionales de uso cotidiano.



Imagen26. Batería de polímero de litio



Imagen27. Tarjeta de control



Imagen28. Cámara GOPRO

# Análisis Tecnológico

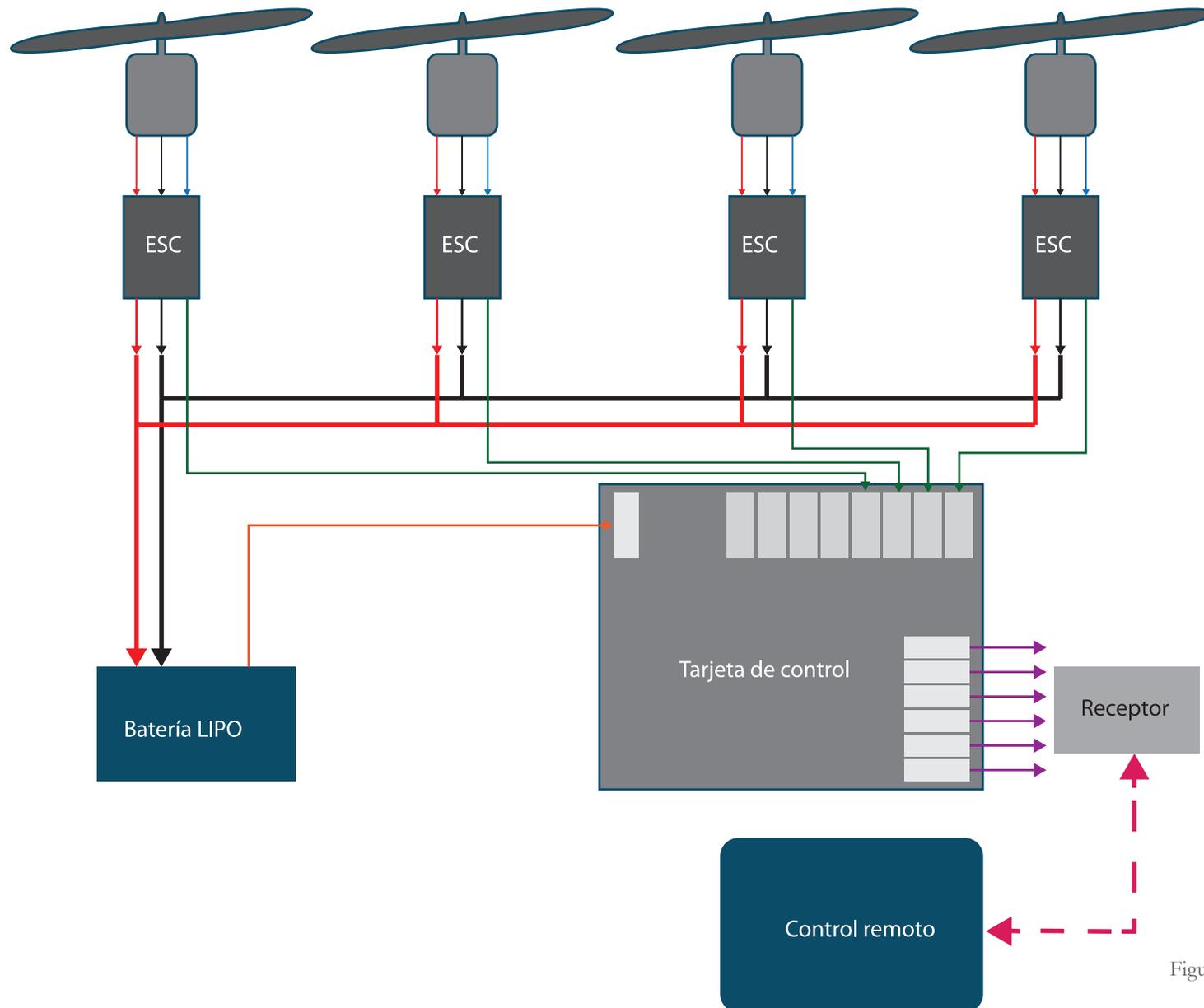


Figura 9. Diagrama Eléctrico

# Análisis Perceptual

## Vocabulario Visual:

A continuación una serie de imágenes de productos similares.



Imagen29. Vocabulario visual

# Análisis Perceptual

## Semántica:

El producto debe ser seguro y dar esa impresión, al igual que debe ser novedoso y facil de manejar.

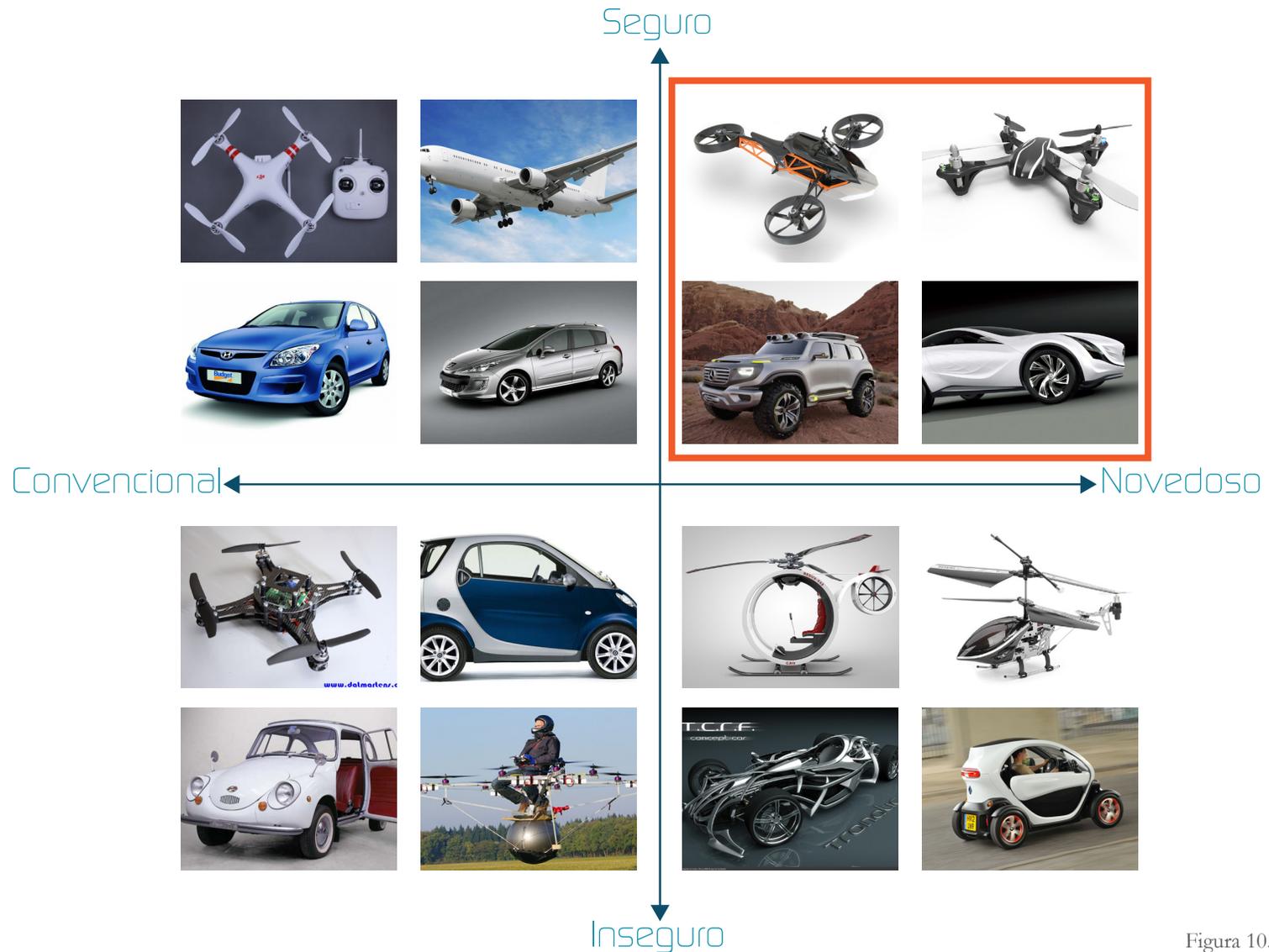


Figura 10. Cuadro semántico

# Análisis Perceptual

## Retícula cromática:

Basado en el análisis de lo existente, en el vocabulario visual y en el análisis de semiótica. Se obtiene que ciertos colores refuerzan la frase semántica, con el predominio de escala acromática acompañada de algún color que lo hace llamativo.

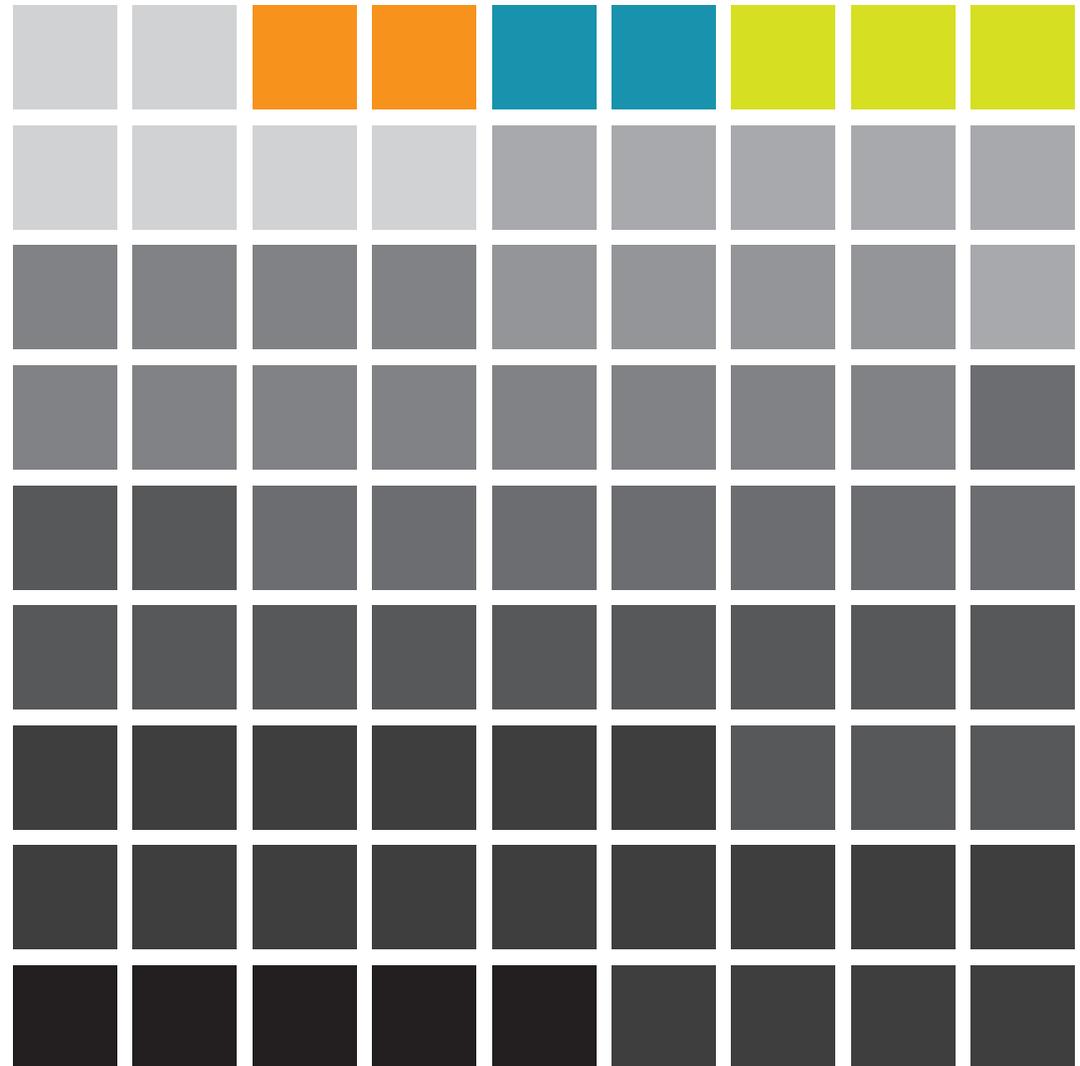


Figura 11. Cromática

# Análisis Ergonómico

## Situación actual:

En la situación actual de la inspección visual, las posiciones son muy variadas e incómodas. Desde estar colgado, hasta estar incado o agachado por periodos de tiempo. Según el objetivo de este proyecto se propone disminuir el riesgo a la hora de hacer la inspección, en la integridad física del usuario. A su vez también se reduciría las posiciones no correctas en el cuerpo. La propuesta mediante un sistema de control remoto, es que el usuario pueda estar sentado desde una distancia segura y solo tenga que utilizar las manos para pilotear el dispositivo. Por lo que se eliminaría el riesgo y posiciones incómodas al usuario.

En el cuadro de la derecha se muestran las partes que se ven afectadas en la inspección actual. El cuello y los brazos tienen que estar extendidos hacia arriba por largos periodos viendo y sosteniendo objetos, para hacer la inspección de partes en las vigas del puente. El área de la ingle sufre cuando se sostiene a la persona. Las manos deben sostener objetos como cámaras, martillos entre otros. por lo que quedan expuestas a no tener apoyo en caso de resbalarce o estar suspendidos. Las rodillas sufren cuando se está en lugares estrechos.

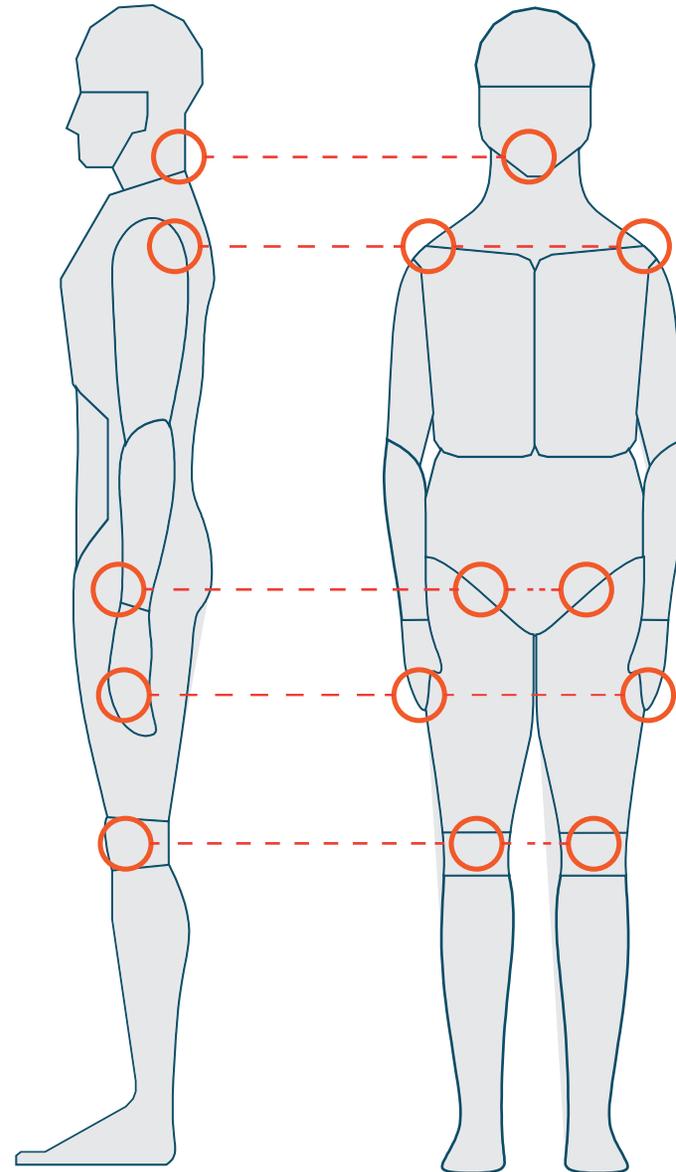


Figura 12. Ergonomía

# Análisis Ergonómico

A continuación se muestran figuras con las medidas antropométricas de las manos, que serán útiles para tener en cuenta en el concepto de diseño del dispositivo.

## Medidas antropométricas

Tabla4. Medidas de manos

Símbolo	Descripción	Medidas en cm
A	Largo máximo de la mano	18,83 cm
B	Largo de la palma	10,43 cm
C	Ancho máximo de la mano	10,55 cm
D	Ancho de la palma	8,53 cm
E	Espesor de la mano	14,97 cm
F	Diámetro máximo de agarre	2,9 cm
G	Circunferencia máxima	20,53 cm
H	Circunferencia en los dedos	25,10 cm

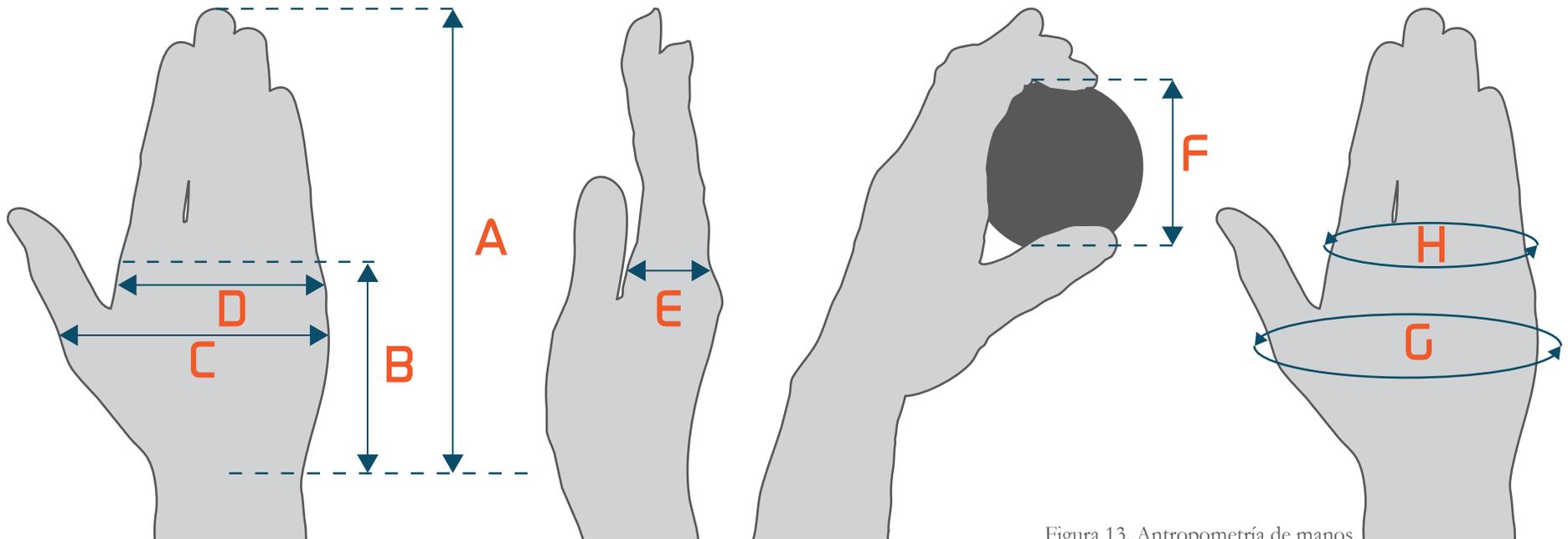


Figura 13. Antropometría de manos

# Alternativas y Concepto

# Requerimientos

Según los análisis, el marco teórico, la recopilación de información y lo solicitado por los personeros del Civco. Se pueden obtener que debe cumplir y que debe tener el dispositivo.

El dispositivo debe ser :

- Adaptable para la mayoría de puentes del país.

Las condiciones de entorno, viento dimensiones, materiales, entre otros.

- Agilizar el proceso de la inspección visual.

Debe disminuir significativamente el proceso de inspección y el proceso de preparación para la inspección.

- No poner en riesgo la integridad de los operarios.

Evitar que los operarios tengan que descender o estar sujetos a partes del puente y os alrededores.

- Alejar a los usuarios de la zona del puente.

Así mismo evitar que los operarios estén expuestos al tránsito que pasa por la zona superior.

- Reducir las intervenciones en el tránsito vial.

En la situación actual el tránsito debe ser detenido para garantizar la seguridad de los usuarios y en algunas ocasiones para colocar el equipo.

- Ajustado a las posibilidades económicas del Civco.

- Transferencia de la información en una forma rápida.

para que el proceso se agilice la transmisión de las imágenes y videos debe ser prácticamente inmediata.

# Necesidades

Tabla5. Necesidades

Necesidad	Características	Aspectos a resolver
<b>Necesidades estructurales</b>		
Materiales	Resistentes	Soporten el peso de todos los sistemas
	Peso	Transporte y movilidad
		Liviano para el usuario
Configuración	Rigidez	Segura, aprovechar los recursos y espacios
Fuerzas internas	Generadas por el propio sistema	Interacción y movimiento de partes
Fuerzas externas	Generadas fuera del sistema	Viento, objetos.
<b>Necesidades de uso</b>		
Psicológico	Percepción de seguridad	El dispositivo debe transmitir seguridad al usuario
Uso	Facilidad	Sencillo de operar
	Seguridad	Seguro para el usuario
	Aprendizaje	Eficiencia en el manejo
<b>Necesidades funcionales</b>		
Aprovechamiento del espacio	Optimización	Maximizar los recursos
Eficiencia energética	Optimización	Maximizar la autonomía
Manejo	Optimización	Maximizar la facilidad de la maniobrabilidad
Sistemas eficientes	Optimización	Utilizar los componentes adecuados y de mejores prestaciones.
<b>Necesidades Productivas</b>		
Costo beneficio	Accesible	Precio de componentes, materiales y fabricación
Fabricación	Ensamble	Facil de ensamblar, procedimiento específico

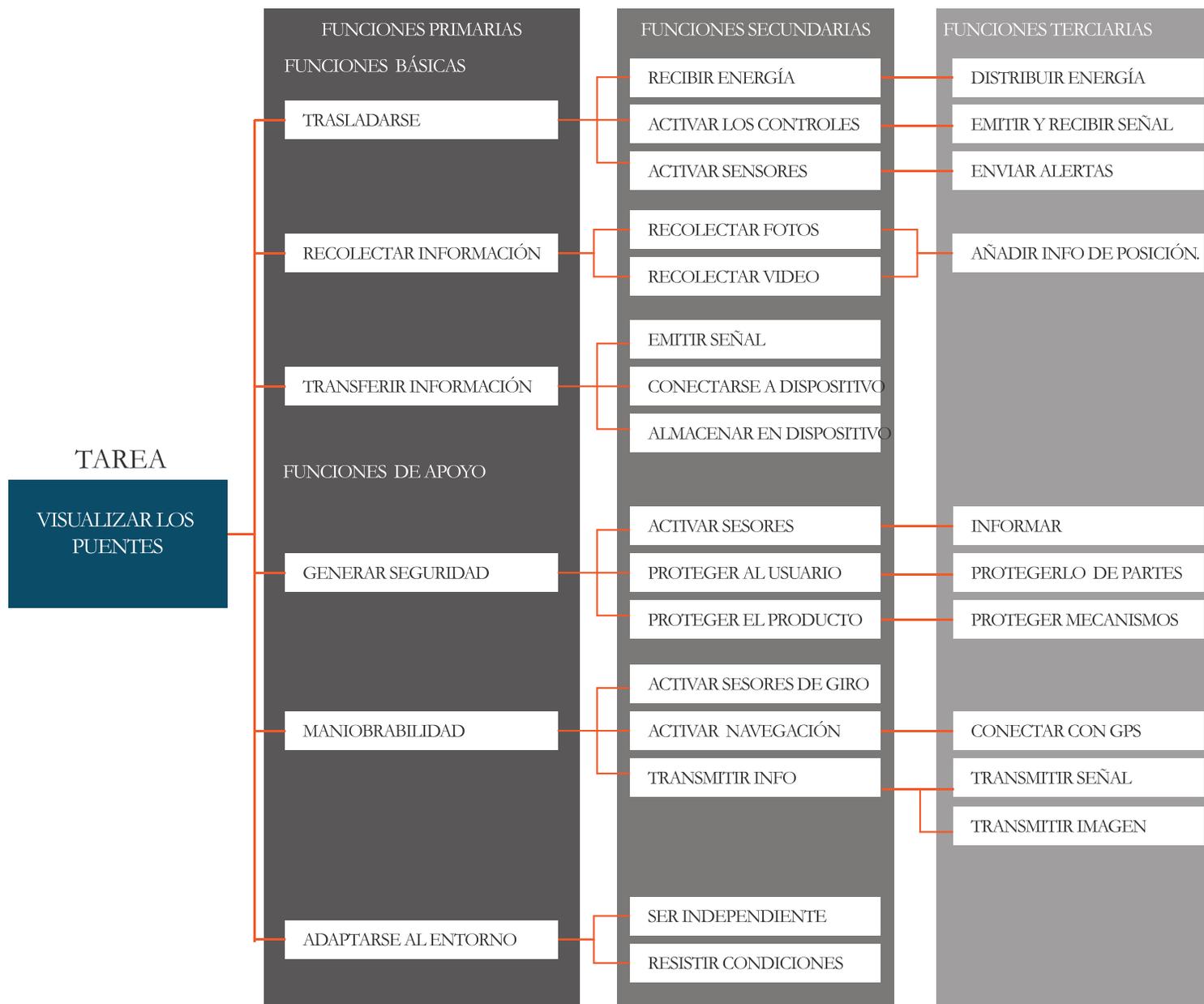
# Tareas

Tabla6. Tareas

Tarea	Requisito de uso
<b>Tareas primarias</b>	
Visualizar los puentes	Debe ser un proceso rapido
	Debe ser seguro
	Debe ser una tarea fácil
<b>Tareas secundarias</b>	
Recolectar la información	Debe ser un proceso rapido
	Controlado por el usuario
	De manera ordenada
Transferir la información	Debe ser rapido
	Debe tener un registro de la información
<b>Tareas terciarias</b>	
Generar la percepción de seguridad	De acuerdo al análisis previo
Maniobrabilidad y manejo	Debe ser eficiente
Autonomía energética	Debe ser independiente
Brindar seguridad	Debe estar protegido y sistemas de alerta
Adaptarse al entorno	Debe ser independiente a las estructuras

# Diagrama de Funciones

Tabla7. Funciones



# Propuestas de Diseño

Con base en toda la investigación previa, el siguiente paso fue el desarrollo de propuestas. En forma de ideas, bocetos, modelados, conceptos, sistemas utilizados, entre otros.

De esto salieron 4 propuestas importantes, que se mencionan a continuación:

## Sistema de grua

Un sistema articulado por pistones hidráulicos con una base para que el usuario pueda descender en una plataforma. A inspeccionar el puente por la parte inferior.

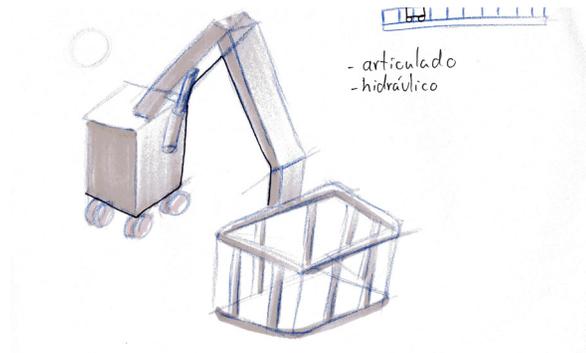


Imagen30. Boceto de propuesta de grua

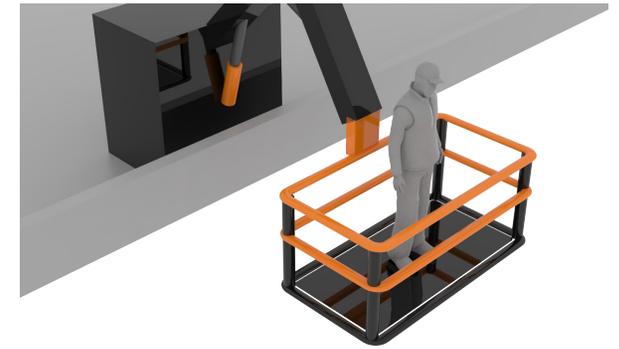


Imagen33. Sistema de grua

## Sistema Sky Cam

Un sistema que permite colocar una cámara en un sistema de cables. La cámara se puede movilizar por los cables y moverse en cualquier dirección.

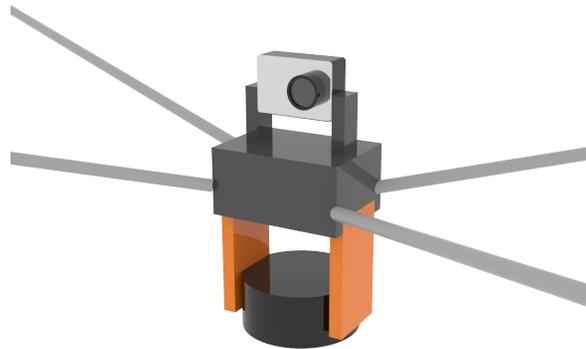


Imagen31. Imagen de propuesta

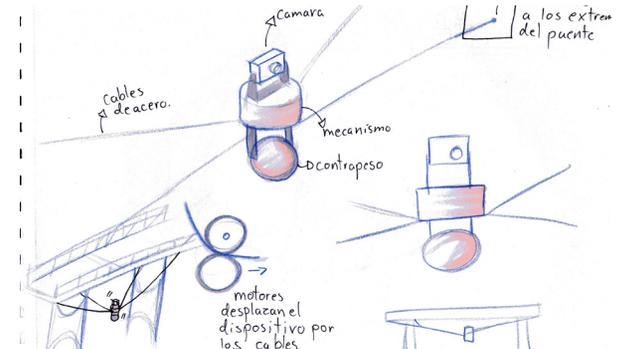


Imagen34. Boceto de propuesta

## Sistema de malla

Una medida de seguridad o una superficie para que los usuarios puedan realizar la labor con facilidad y seguridad.

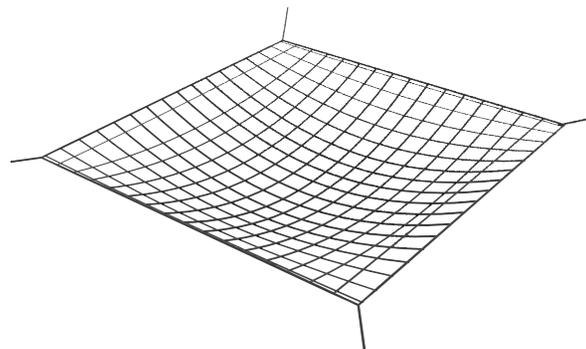


Imagen32. Sistema de malla

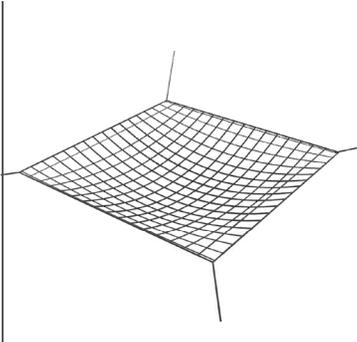
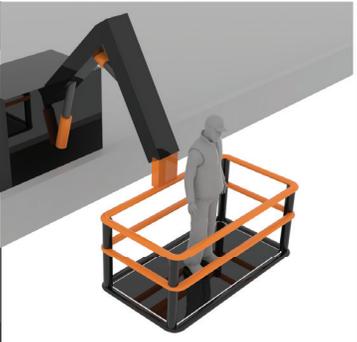
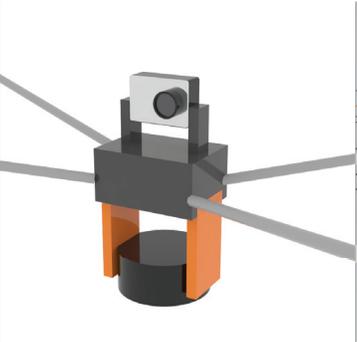


Imagen35. Propuesta de diseño

# Criterios de Selección

Se estableció un sistema con las propuestas, Se califican de 0 a 3 por criterio de selección. El mayor puntaje cumple mejor los objetivos y criterios.

Tabla8. Criterios de selección

Alternativas de Diseño				
				
Criterios de selección				
Adaptable a todos los puentes	1	2	2	3
Agiliza el proceso de inspección	0	2	2	3
Seguro para el usuario	1	1	2	2
Aleja al usuario de zonas peligrosas	0	1	3	3
Reduce las intervenciones viales	1	0	2	2
Realidad económica	3	0	2	3
Transferencia de información rápida	0	1	3	3
Adaptación al entorno	1	2	1	3
<b>Total</b>				
	7	9	17	22

# Diagrama con las Alternativas

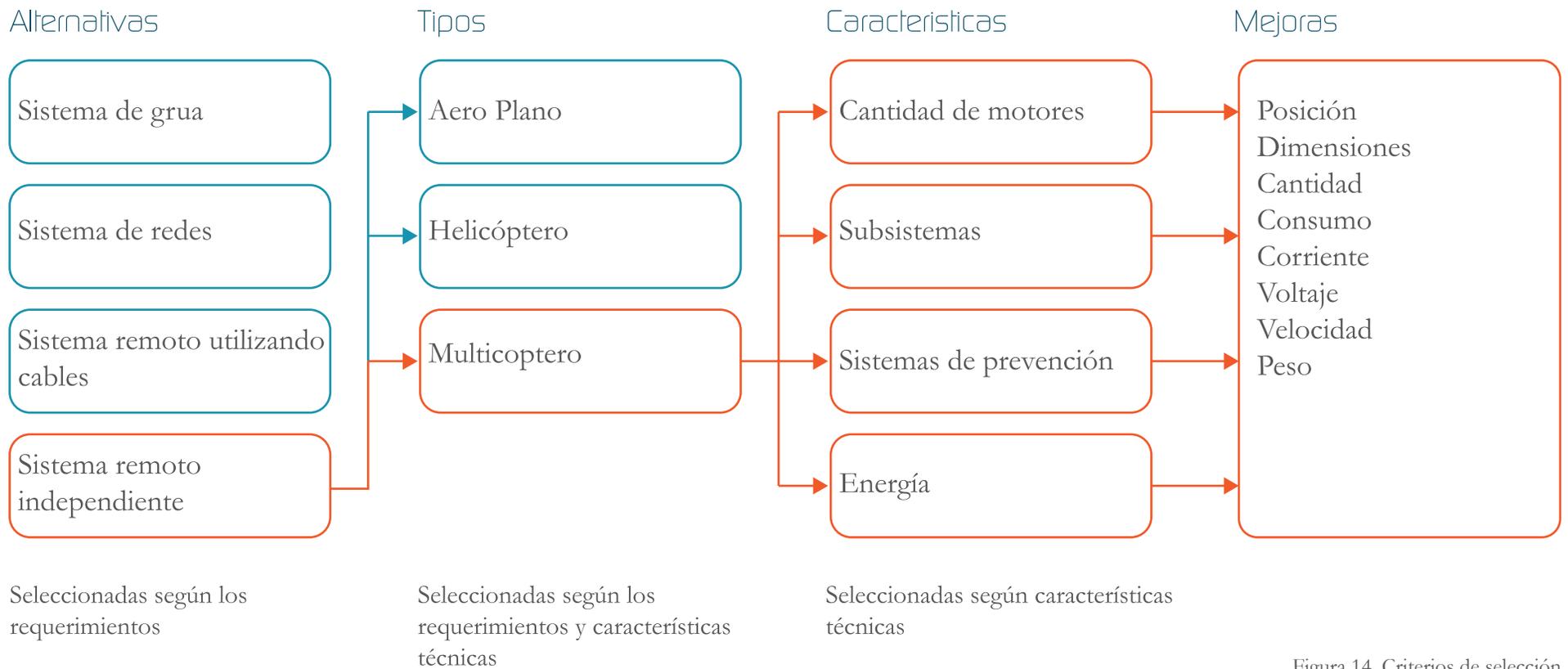


Figura 14. Criterios de selección

# Propuesta Final

# Descripción

Un dispositivo a control remoto, controlado desde una zona segura con un control remoto o por medio de un Smartphone o tablet. Un dispositivo capaz de volar, autosustentable, que es independiente a las estructuras de los puentes. Con sistemas de prevención como sensores, iluminación, protectores y carcasa para garantizar la integridad del objeto y del usuario. Además de las personas que utilizan el puente. Con el dispositivo se pretende agilizar en un 90% del tiempo utilizado para la inspección visual de cada puente.

La cromática del dispositivo fue elegida de tal manera que genere un aspecto de seguridad con los colores oscuros, pero a su vez hace contraste con anaranjado que es utilizado en partes móviles y de importancia en el dispositivo.

Algunos de los sistemas utilizados como la mayoría de los componentes electrónicos, no se consiguen en el país por lo que se recomienda su importación por sitios especializados.

Un aspecto importante fue el peso, el dispositivo tiene de masa aproximadamente 2 kilogramos, así se garantiza su eficiencia a la hora del vuelo y autonomía.

# Descripción

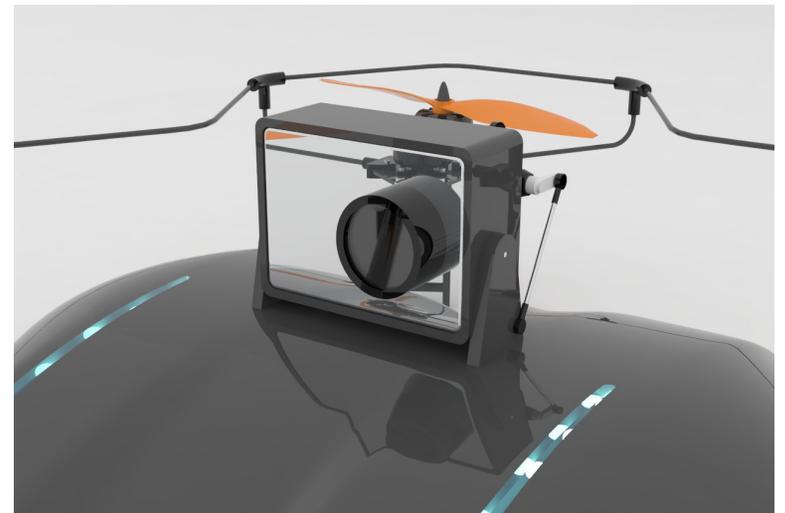


Imagen36. Concepto final

# Desarrollo del Concepto

A continuación se muestran imágenes, renders y bocetos que demuestran como se llega de la idea al concepto final.

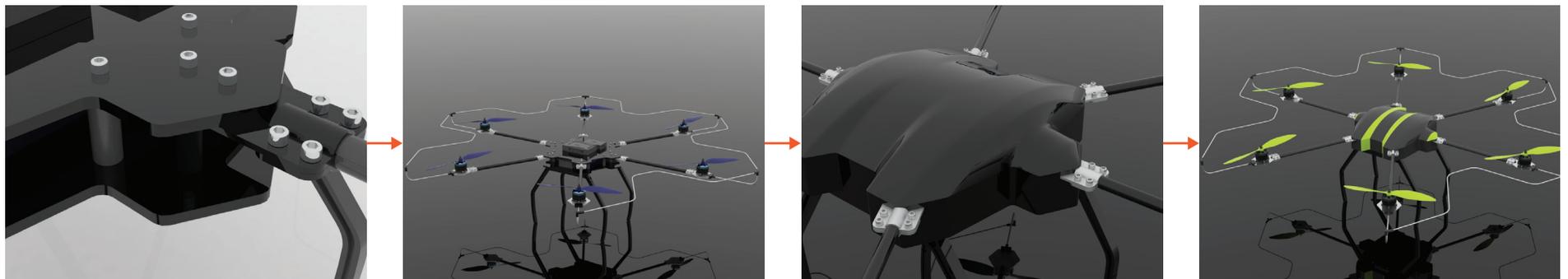
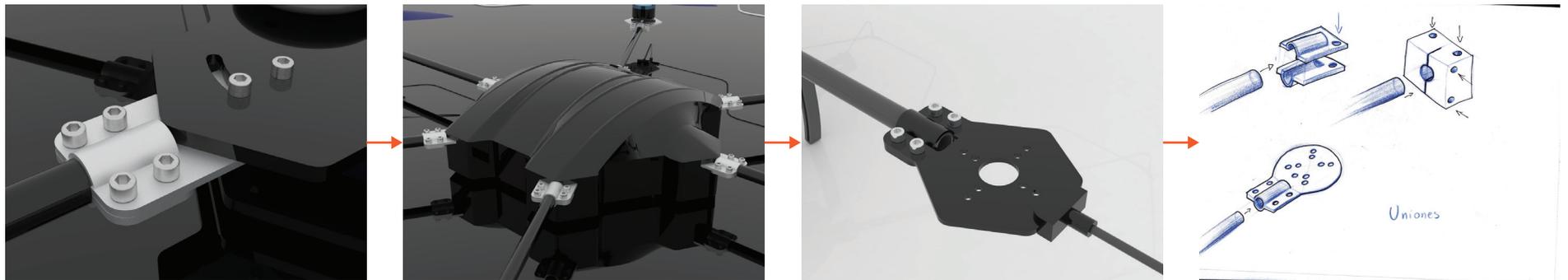
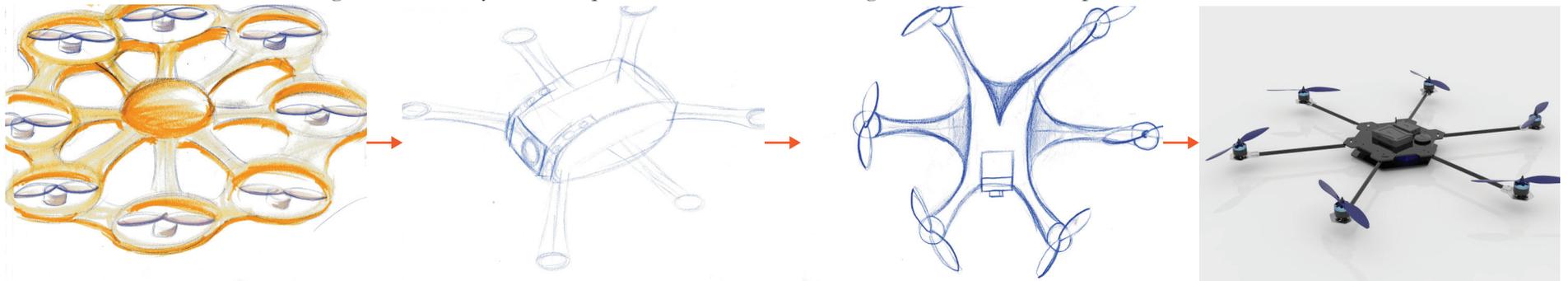


Imagen37. Desarrollo del concepto

# Desarrollo del Concepto

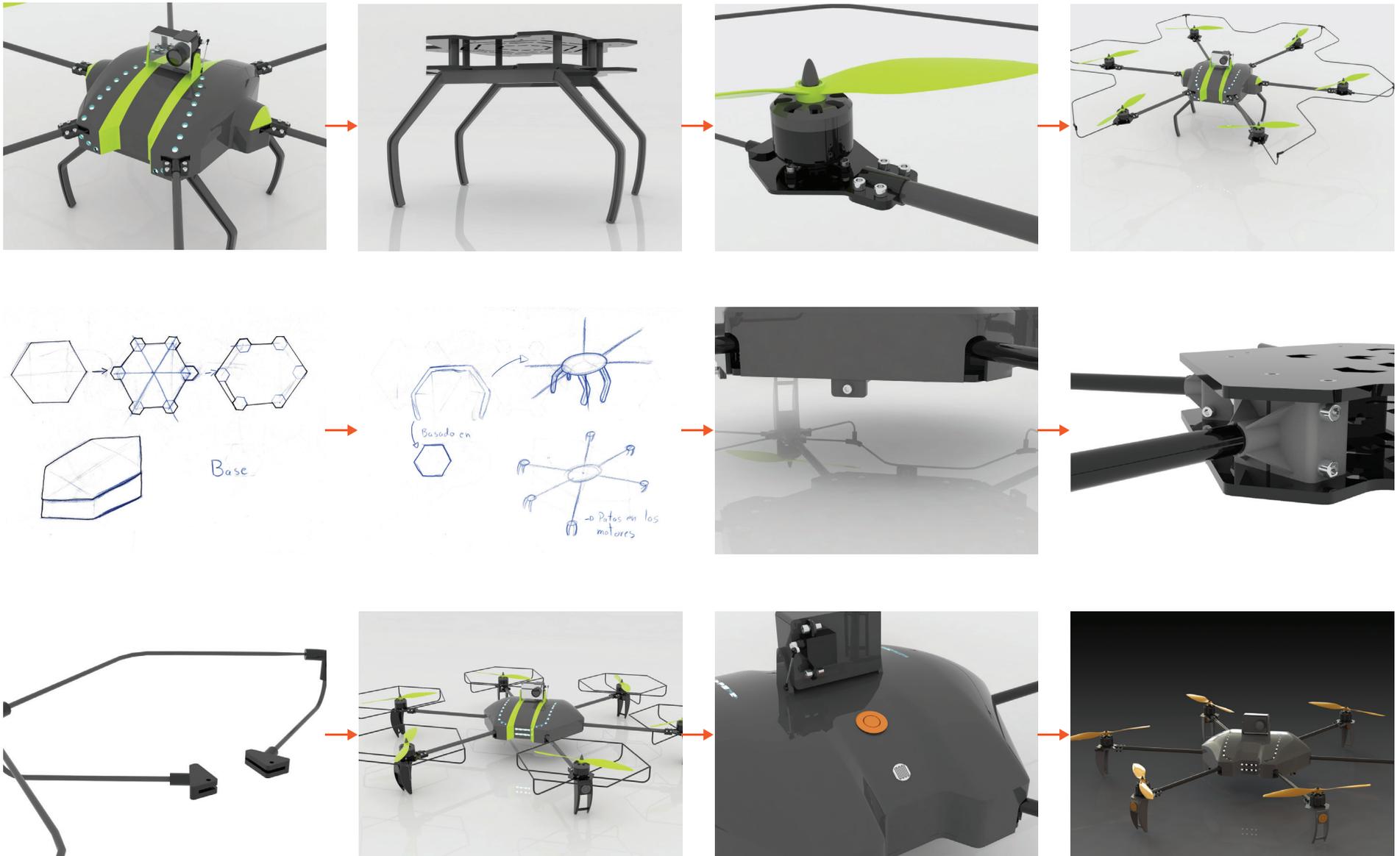


Imagen38. Desarrollo del concepto

# Sistemas y Subsistemas

Sistemas	
Vuelo	
Motores	Hélices
ESC	
Estructura	
Bases principales	Bases de motores
Tubos	Soportes
Tornillos	Carcasa
Control	
Tarjeta madre	ESC
Protección	
Cubierta metálica	
Energía	
Baterías	
Imagen	
Cámara	Motor Servo
Sensores	
S. proximidad	Fotocelda
Iluminación	
LEDS	Fotocelda

Tabla9. Sistemas

Descripción	
1 - Sistema de vuelo	5 - Sistema de energía
2 - Sistema de estructura	6 - Sistema de imagen
3 - Sistema de control	7 - Sistema de sensores
4 - Sistema de protección	8 - Sistema de iluminación

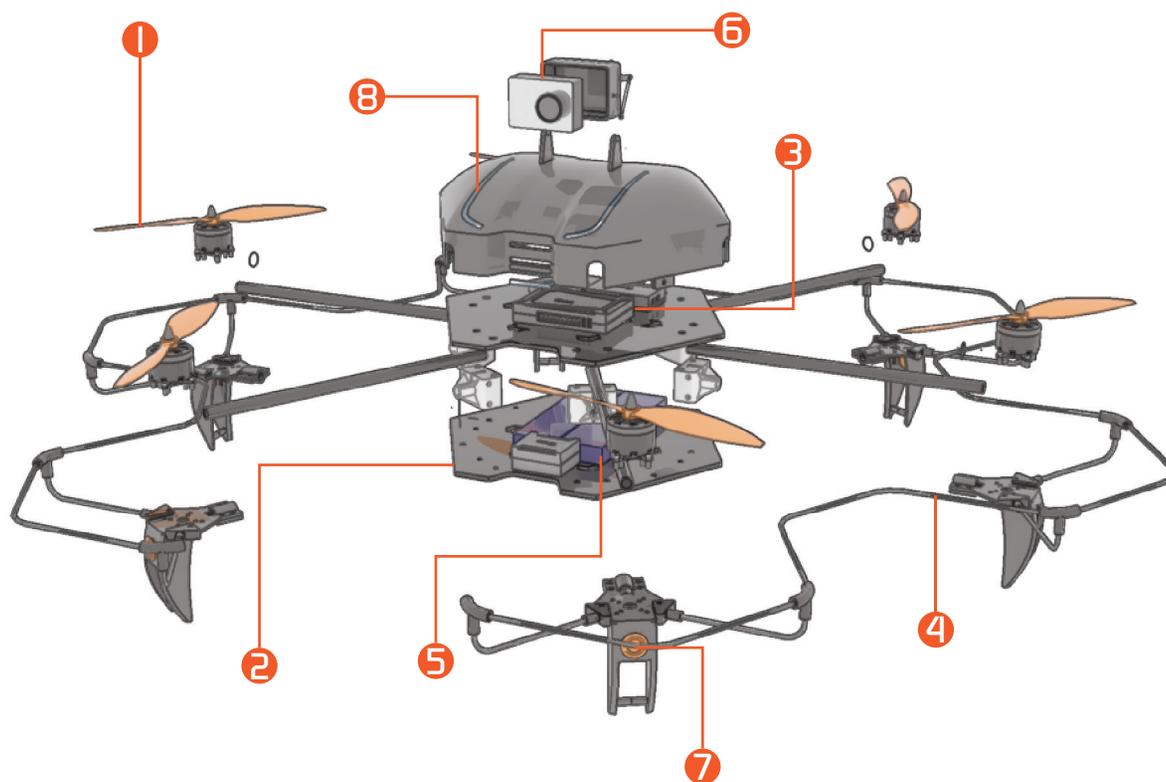


Figura 15. Explosión del dispositivo

# Qué es? Qué satisface?

Es un dispositivo auto sustentable, capaz de llegar a lugares difíciles en los puentes y estructuras, por medio de su maniobrabilidad a control remoto, su precisión en mediciones y sensores que lo componen.

Sus componentes electrónicos fueron seleccionados según criterios técnicos como amperaje, consumo eléctrico, potencia, sustentación, peso y costo. La mayoría de estos componentes es necesario importarlos.

En cuanto a la estructura se puede fabricar de diferentes materiales combinados. Dichas partes se pueden fabricar a nivel nacional con la tecnología actual de inyección e impresión de plástico.

El dispositivo es seguro gracias a sus sistemas y configuración. Tanto para el usuario como la seguridad del mismo dispositivo que no se pierda ni tenga accidentes.

Los sistemas de multirrotores utilizan desde 3 motores para crear una sustentación hacia arriba. Giran y hacen otros movimientos, controlando la velocidad de cada motor individualmente.

Cuenta con una cámara para agilizar el proceso de inspección y mandar información en tiempo real.

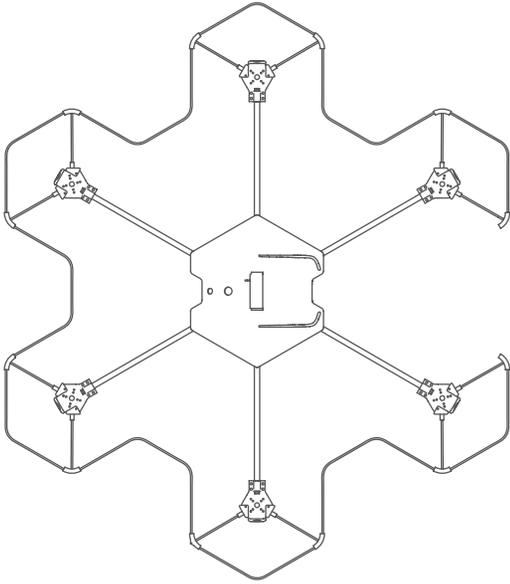
	Dimensiones <b>111 cm x 111cm x 30 cm</b>
	Peso <b>1,5 a 3 kg</b>
	Duración de las baterías <b>35 a 50 min</b>
	Velocidad máxima <b>10,2 m/s</b>
	Fuerza de sustentación <b>&gt; 30 N</b>
	Alcance máximo de señal <b>130 m WI-FI</b>
	Precisión GPS <b>0.4 m vertical 1m Horizontal</b>
	Cámara <b>1080p 30 fps / 12 mp</b>
	Motores <b>980 KV</b>

Figura 16. Especificaciones

# Como Funciona

El dispositivo se moviliza controlando la velocidad de los motores. Esto es interpretado por la tarjeta de control y permite al usuario controlar el movimiento de cuatro maneras: Giro, Aleron, Aceleración, Elevación.

El usuario utiliza estos controles desde un dispositivo movil o control remoto. También puede controlar las funciones de la camara y otros sistemas.

La tarjeta madre utiliza sensores internos para buscar una estabilidad y precisión en la posición. Adaptandose a la velocidad del viento.

Aceleración ●

Elevación ●

Giro ●

Alerón ●

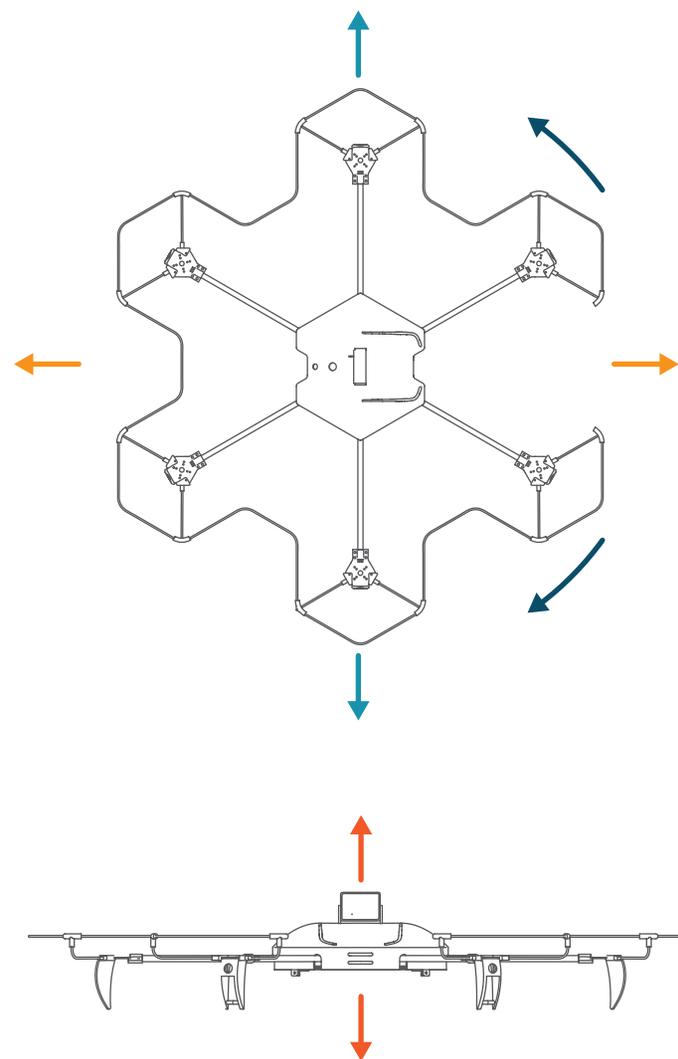


Figura 17. Forma de vuelo

# Como se Controla

Como se menciona en la página anterior, la tarjeta madre permite movilizar el dispositivo con cuatro movimientos. Que simulan los controles de cualquier dispositivo o vehículo capaz de volar.

Ademas de estos sistemas, el usuario puede ver en la pantalla la imagen de la camara en tiempo real. Puede tomar fotografías y tomar videos .

La aplicación que controla el dispositivo tambien presenta una opción para cambiar de pilotaje manual a pilotaje por gps y puntos específicos.

El programa cuenta con audio que va brindando información al usuario, Este puede decidir si desea oirlo o no.

Finalmente el usuario puede controlar el movimiento del motor servo, que a su vez mueve la camara en un eje.



- |              |                           |
|--------------|---------------------------|
| ● Elevación  | ● Modo GPS                |
| ● Giro       | ● audio del programa      |
| ● Acelerador | ● Foto/ Video             |
| ● Alerón     | ● Movimiento de la cámara |

Figura 18. Parametros de control

# Sistemas de Alerta

Además de las opciones que tiene el dispositivo para que el usuario pueda controlar. El dispositivo cuenta con sistemas de alerta que previenen de errores al usuario y a su vez permite la protección del usuario y el dispositivo.

En el dispositivo hay sensores de proximidad que permiten evitar que choque. Como se muestra en la imagen, cuando el dispositivo esta a 50 centímetros de un sensor le informa al usuario de cual es el que está cerca a tener contacto.

Las luces se encienden automáticamente dependiendo de la cantidad de luz, gracias a la fotocelda.

La tarjeta madre permite informar si un motor no está funcionando correctamente. Si la batería está proxima a acabarse .

Dentro de la tarjeta madre existen sensores que miden la velocidad del viento y alerta si es muy fuerte para que el dispositivo pueda volar. Aproximadamente la velocidad maxima es de 10.5 m/s ó 38 km/h



- Proximidad
- Luces
- Falla de motor
- Batería baja
- Viento fuerte

Figura 19. Alertas

# Sistema de Navegación y GPS

Existen dos formas de pilotar el dispositivo.

La primera es de manera manual, el usuario maneja con los controles la posición. Se guía utilizando la cámara o bien si tiene rango visual lo puede hacer directamente .

La otra manera es por GPS. La aplicación tiene una función que permite conectarse a los mapas de Google y permite establecer puntos de destino. Así que el usuario puede facilitar el uso y disminuir errores utilizando esta función. Principalmente a la hora de llegar hasta el puente o bien cuando ya termino la tarea de inspección hacer que llegue de forma automática hasta el punto donde está el usuario.

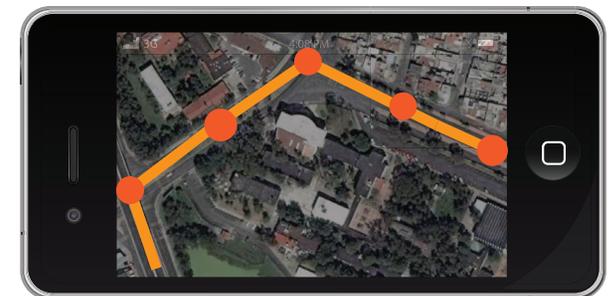
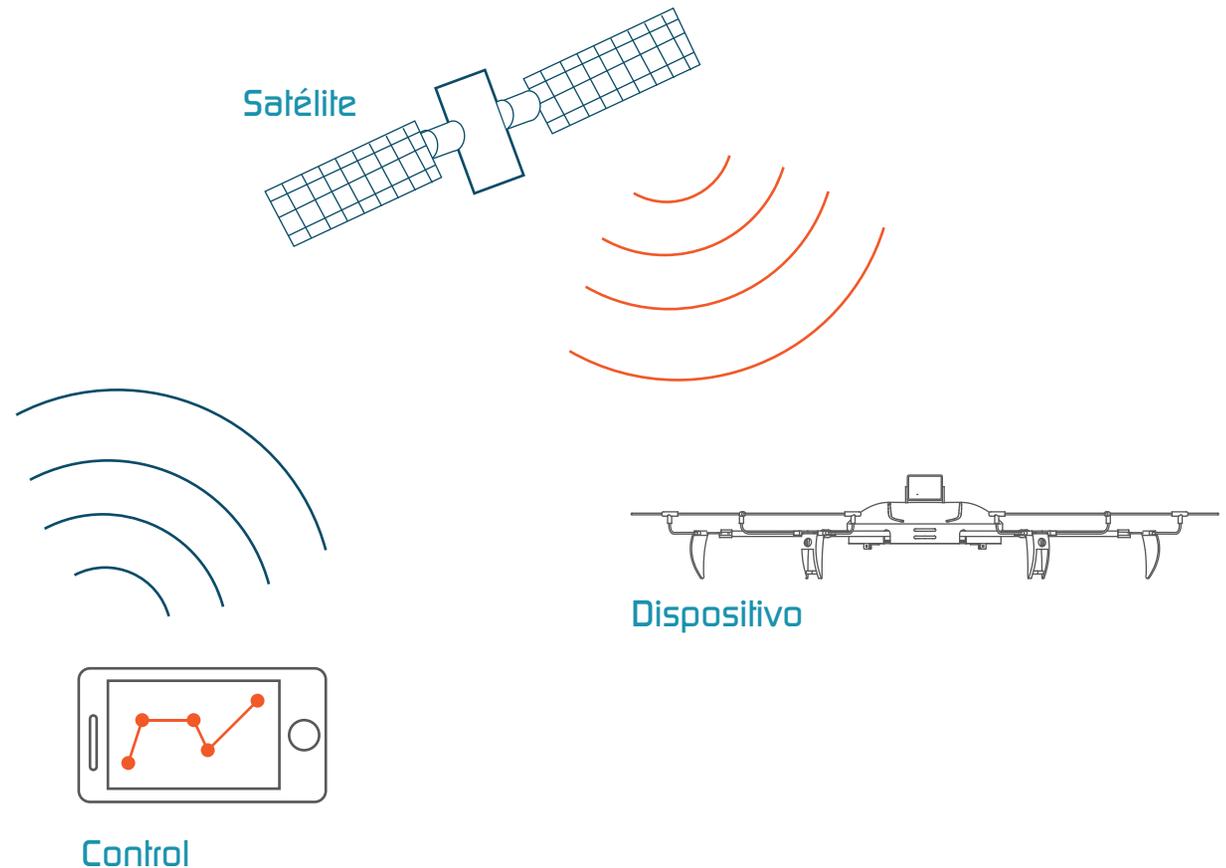


Figura 20. Sistema GPS

# Interacción con el Usuario

El trabajo que desempeña el usuario, la inspección de puentes con esta solución ya no necesita que el usuario se desplace hasta la sección en la que se va a realizar la inspección. Puede estar a un lado del puente.

La interacción que va a tener el usuario es directamente con el control. Y en pocas ocasiones tiene que manipular el dispositivo. Solo para ponerlo a funcionar y para recogerlo. El dispositivo tiene poco peso por lo que no es difícil de manipular.

El usuario si deberá cambiar las baterías cuando sea necesario.



Figura 21. Uso



Imagen39. Relación de tamaño



Imagen40. Tapa de batería



Imagen41. Removiendo la batería

# Escenarios de Uso

El dispositivo está adaptado para que pueda ser utilizado en los puentes que sea requerido. Es decir en los puentes que no se puedan tomar fotografías por la parte inferior, cuando las condiciones sean difíciles de acceder o muy altos.

El dispositivo está equipado para ser pilotado por las partes inferiores del puente, gracias a su precisión, sensores e iluminación.

Eso sí, hay condiciones que imposibilitan el uso del dispositivo. Si hay rayería y lluvia pueden dañar los componentes electrónicos. Si hay vientos mayores a 40 km/h pueden afectar el vuelo y la maniobrabilidad del dispositivo y hacerlo colisionar.

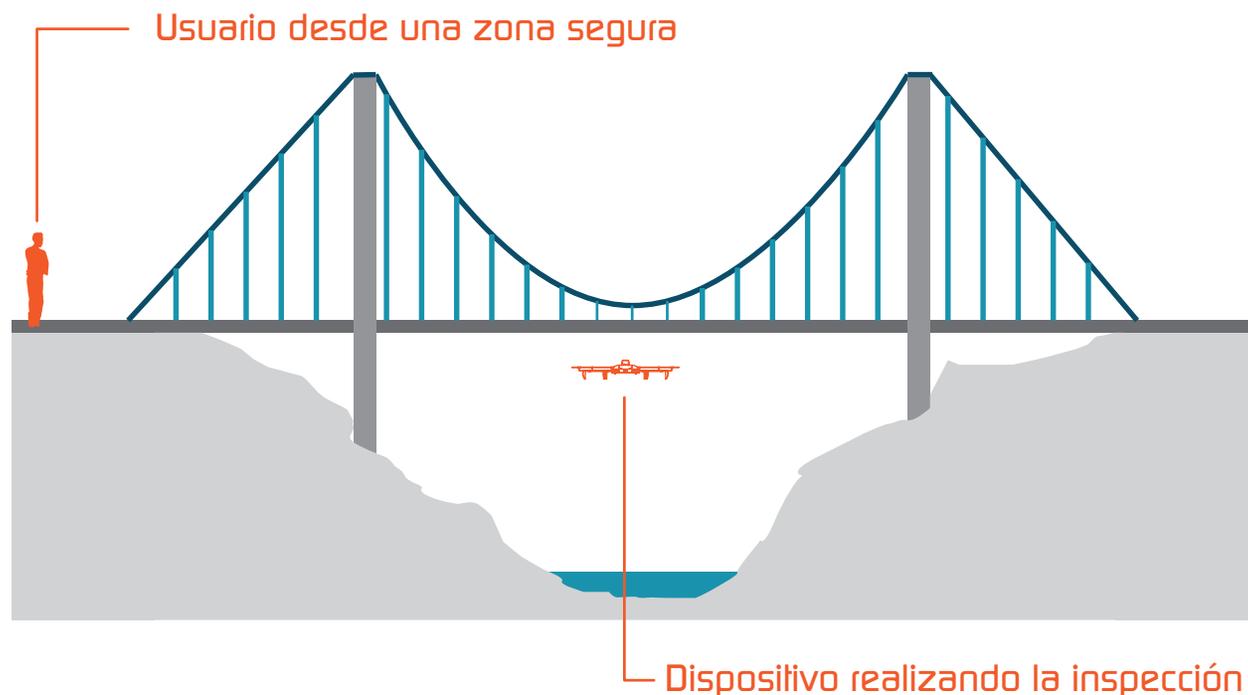


Figura 22. Forma de uso



Imagen42. Condición de puentes



Imagen43. Vista de puente



Imagen44. Vista de puente

# Base

## Función

Dar soporte a toda la estructura, proteger por la parte inferior, sostener los componentes electrónicos.

## Material

Fibra de vidrio

## Peso

150g

## Cantidad de piezas

2

## Interacción con otras partes

Con los soportes de los tubos, componentes electrónicos, carcasa

## Proceso de manufactura

Se utilizan láminas del material y se corta mediante maquinado CNC a laser.

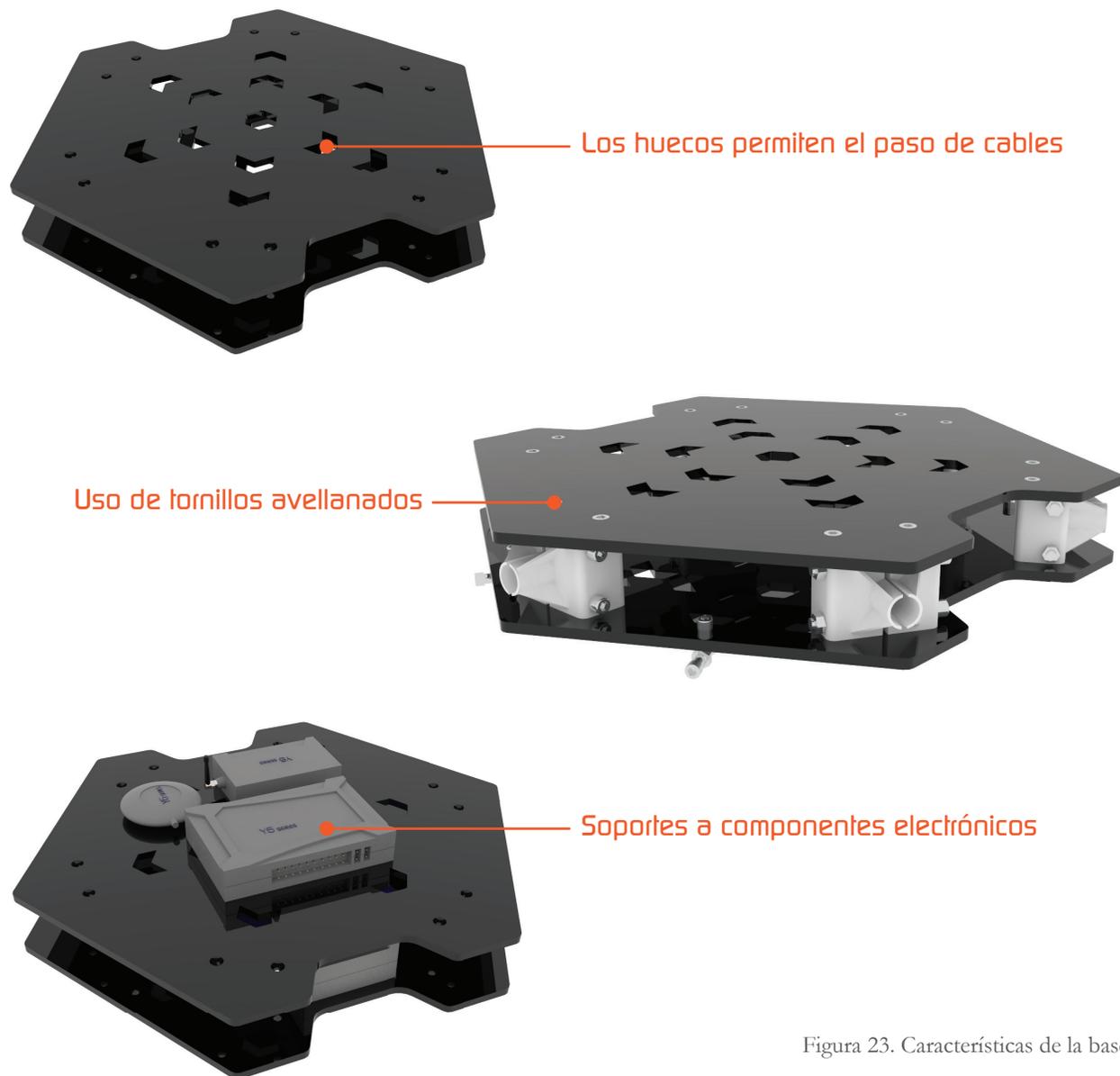
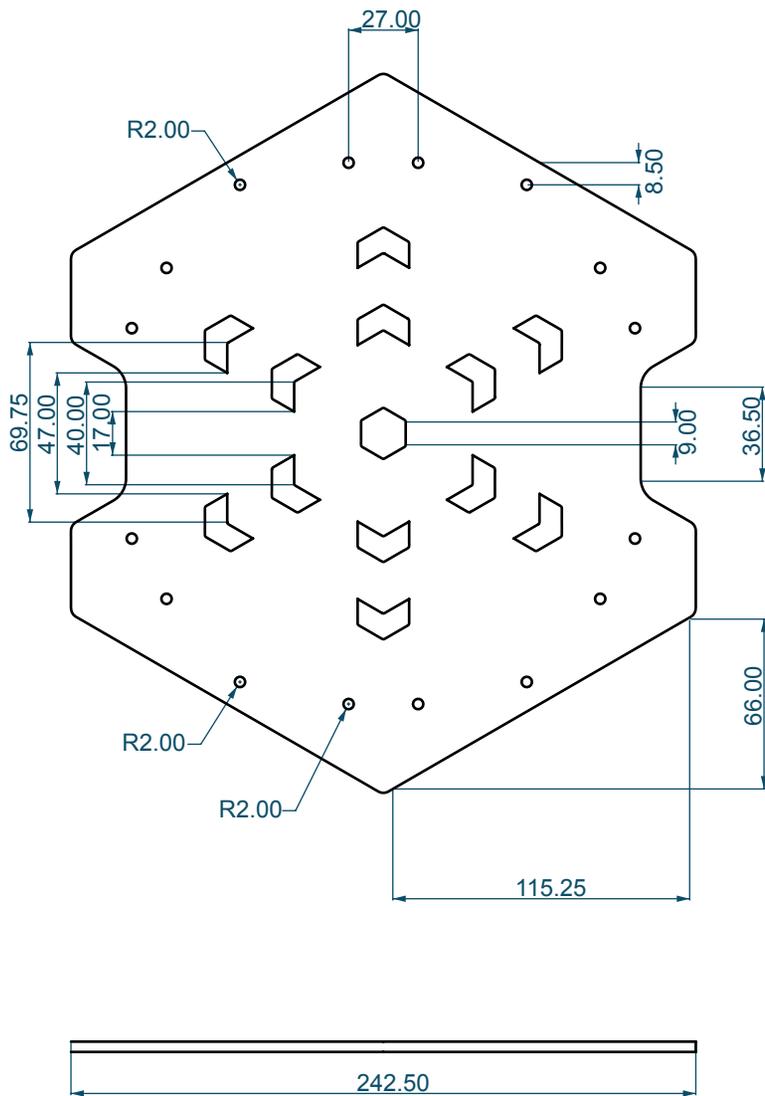


Figura 23. Características de la base

# Base



Unidades	Escala
mm	1:3

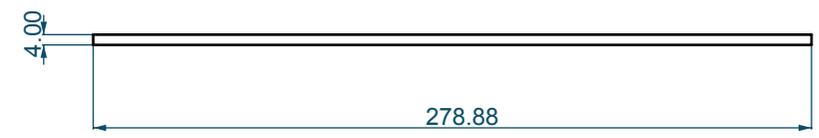
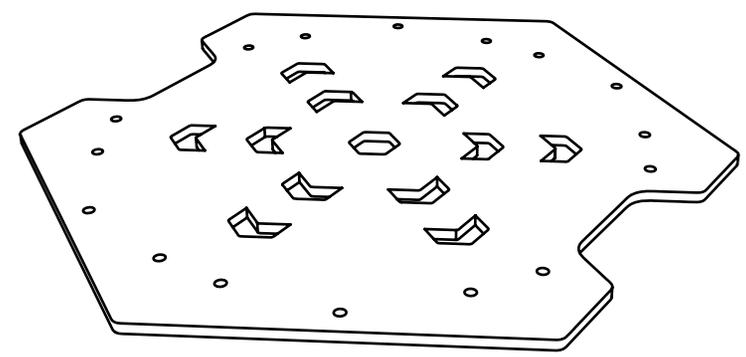


Figura 24. Plano de la base

# Carcasa

Función
Proteger los componentes electrónicos, dar soporte a la cámara, las luces, sensor y fotocelda
Material
Plástico ABS
Peso
237g
Cantidad de piezas
1
Interacción con otras partes
Con la base inferior, leds, sensor y fotocelda.
Proceso de manufactura
Mediante la inyección de plástico o por medio de impresión de plástico.

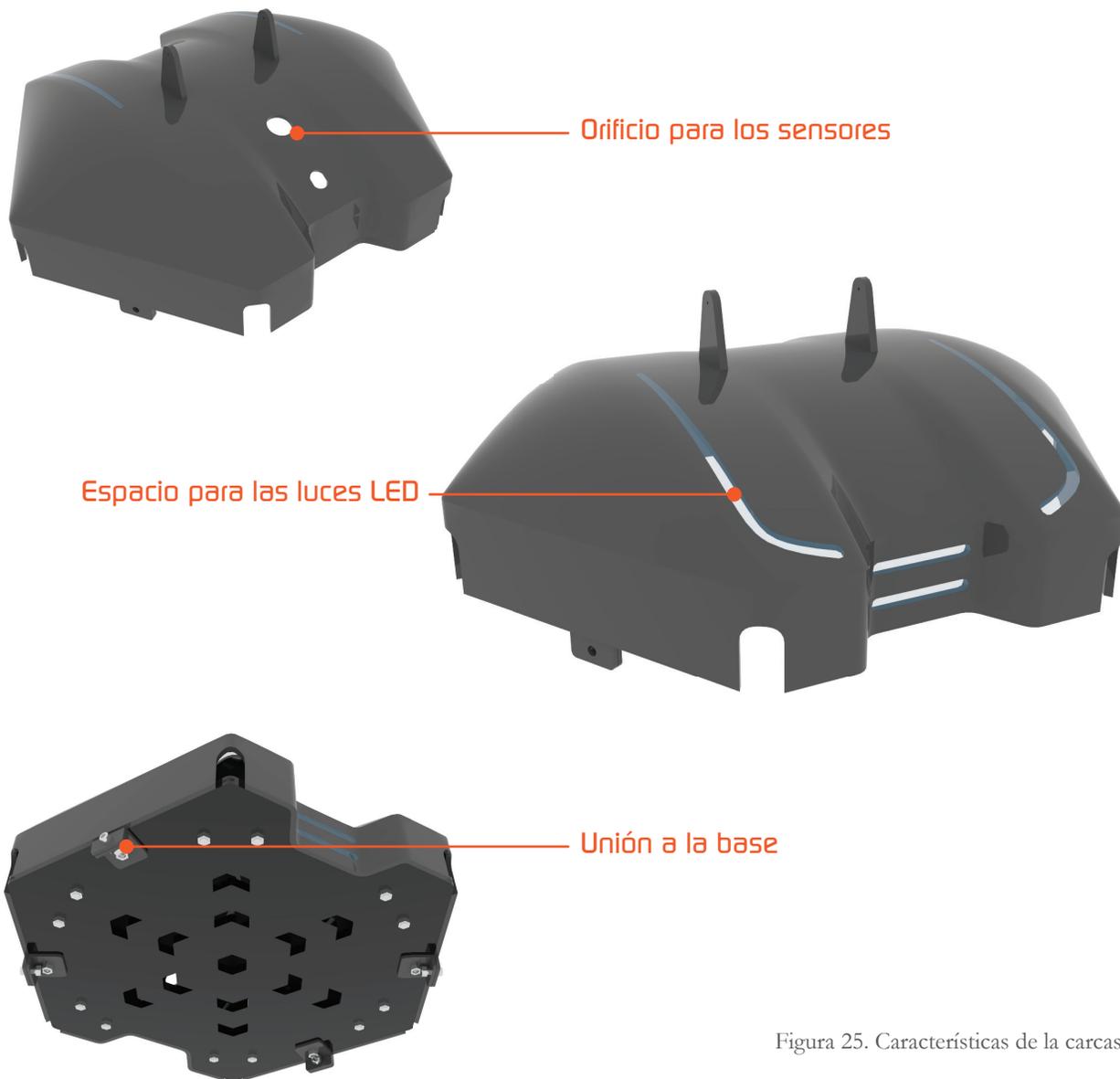
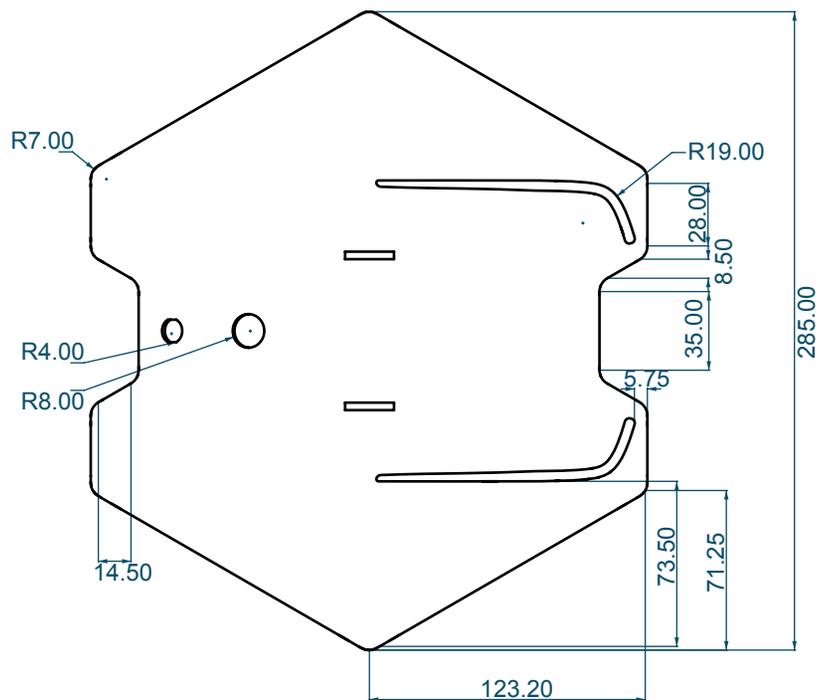


Figura 25. Características de la carcasa

# Carcasa



Unidades	Escala
mm	1:3

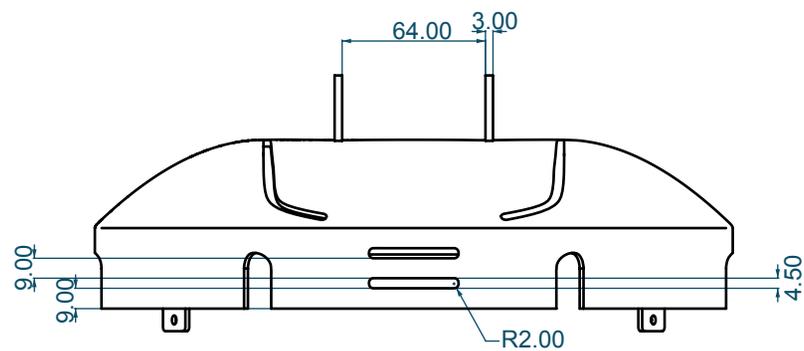
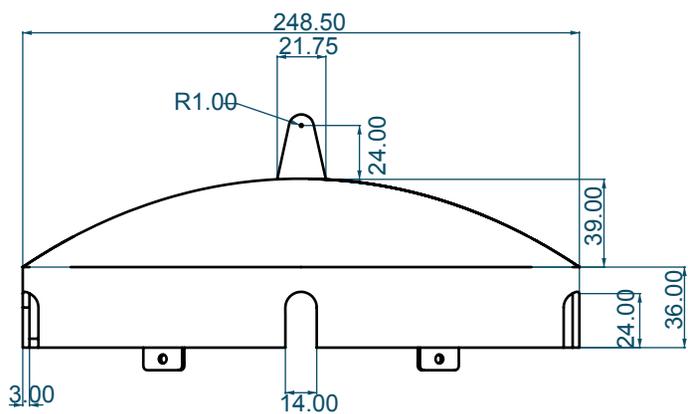
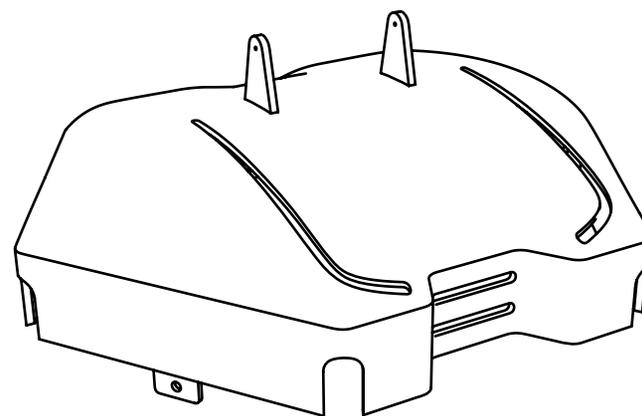


Figura 26. plano de la carcasa

# Soporte del tubo

<b>Función</b>
Fijar y dar estabilidad a los tubos, crear un espacio entre las bases.
<b>Material</b>
Plástico ABS
<b>Peso</b>
19g
<b>Cantidad de piezas</b>
6
<b>Interacción con otras partes</b>
Con los tubos y con las bases principales
<b>Proceso de manufactura</b>
Mediante la inyección de plástico o por medio de impresión de plástico

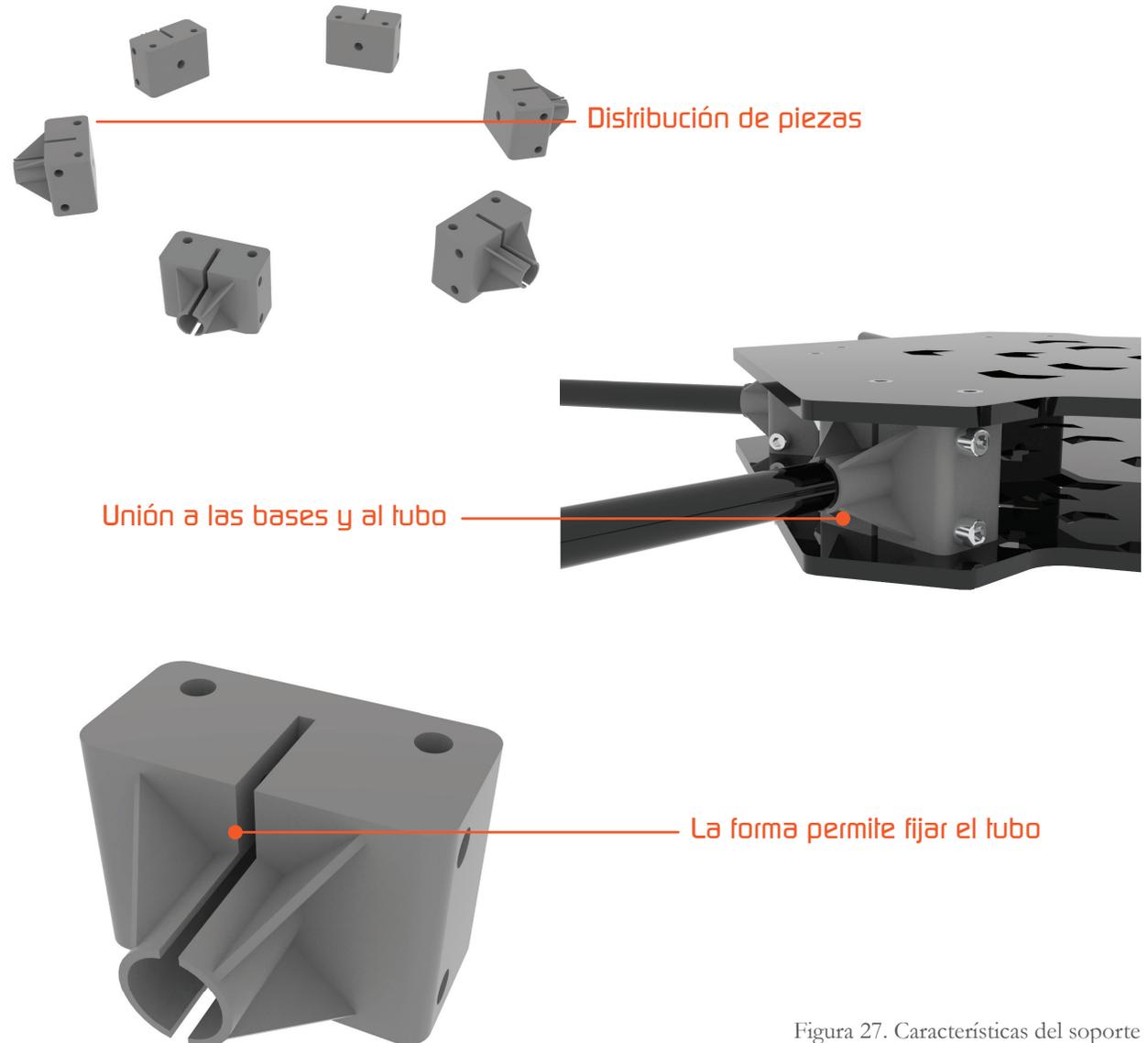
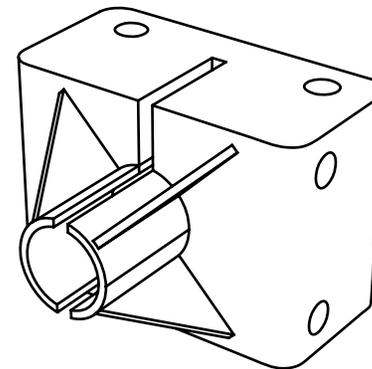
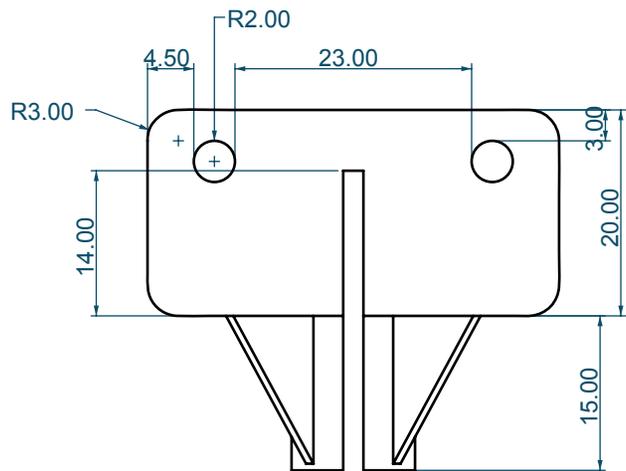


Figura 27. Características del soporte

# Soporte del tubo



Unidades	Escala
mm	1:1

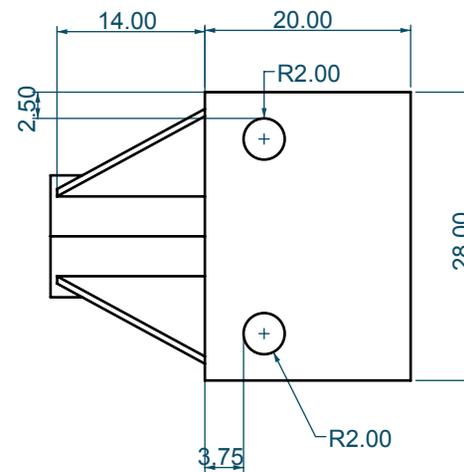
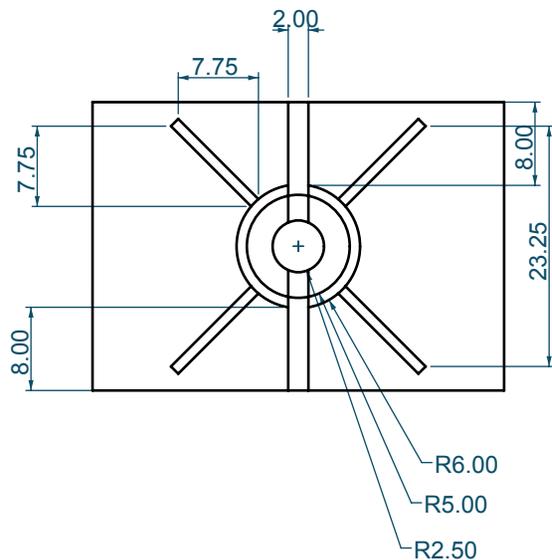


Figura 28. Planos del soporte

# Tubos

Función
Distribuir los motores, equidistantemente y simétricamente. Permite el paso de cables desde el centro hasta los motores.
Material
Aluminio
Peso
30g
Cantidad de piezas
6
Interacción con otras partes
Con los soportes de tubo y bases de motor
Proceso de manufactura
Extrusión de aluminio(perfil). Estos tubos se pueden conseguir con facilidad.

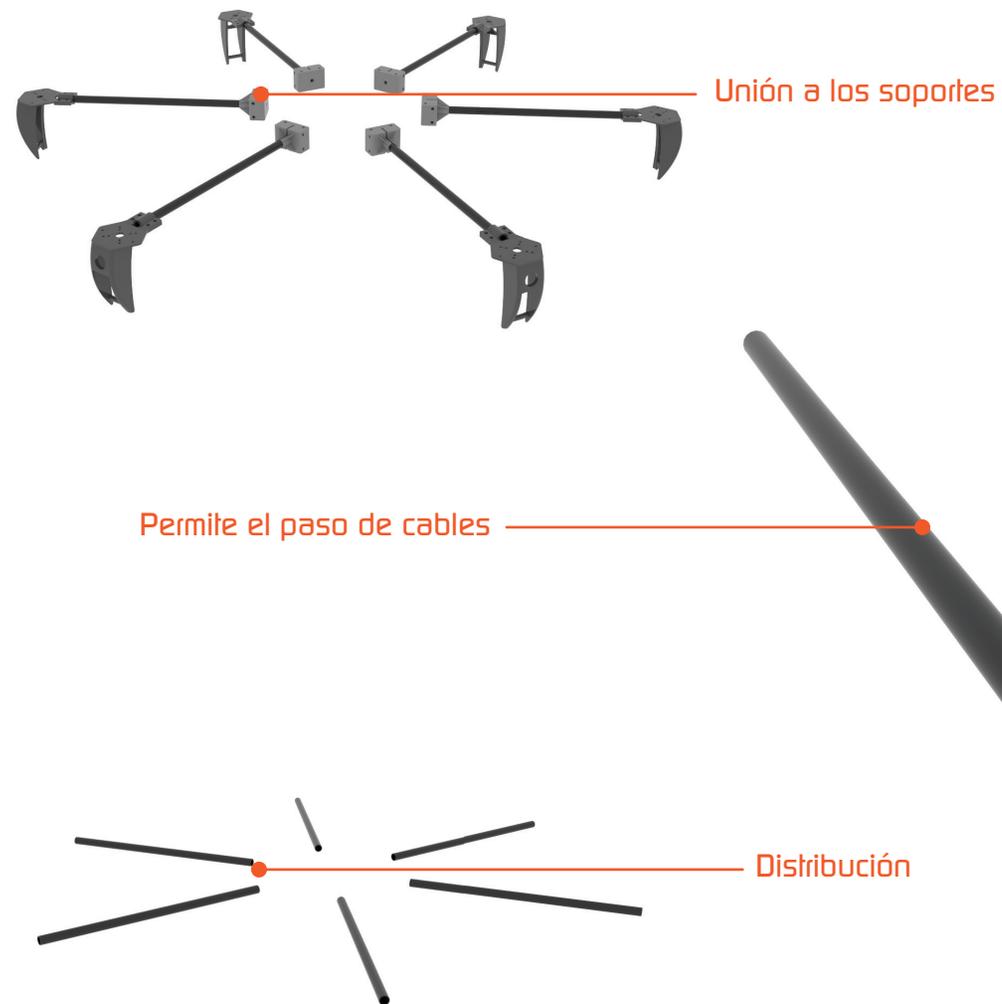
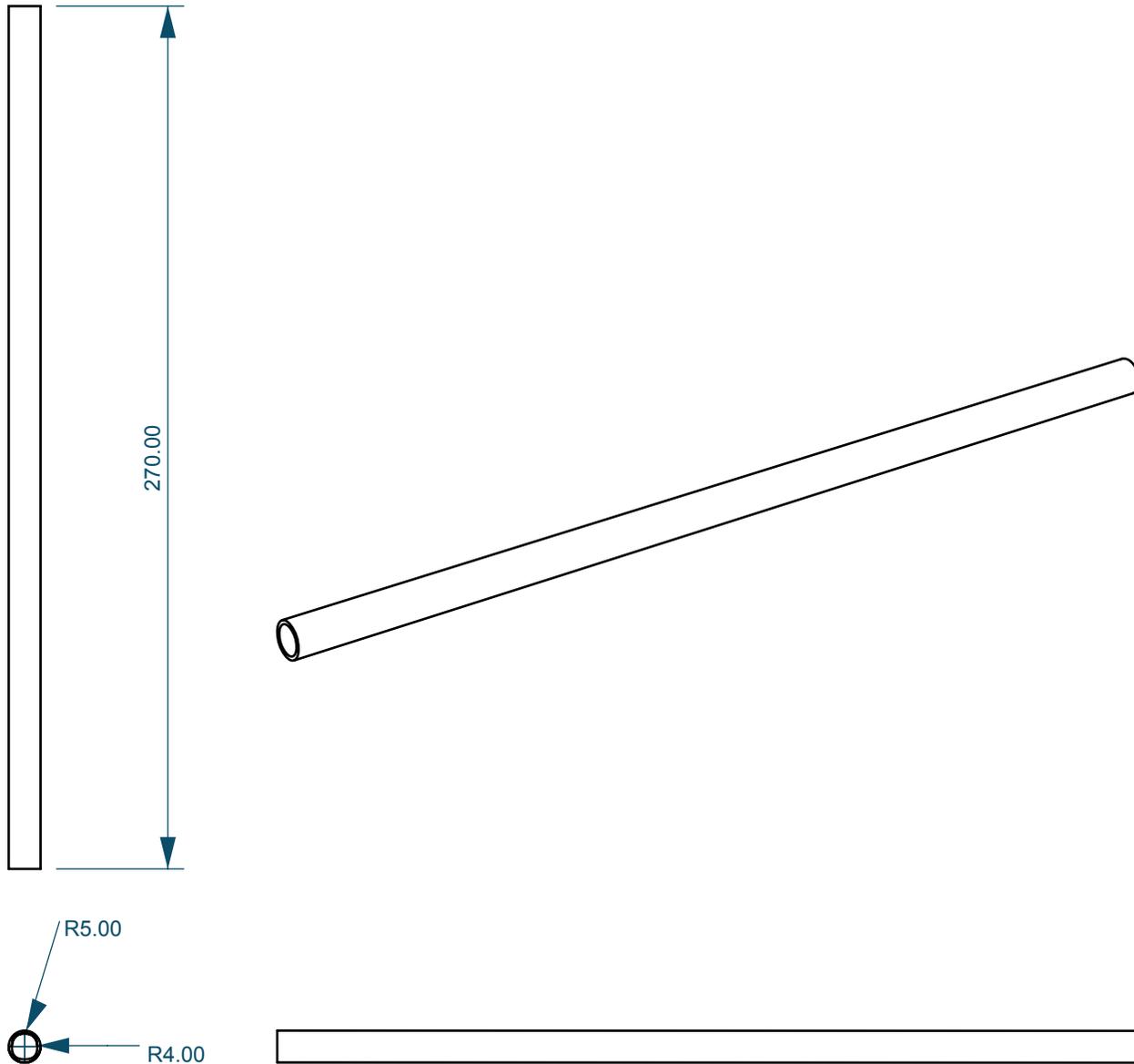


Figura 29. Características del tubo

# Tubos



Unidades	Escala
mm	1:2

Figura 30. Planos del tubo

# Base de motor

Función	Dar soporte y fijar los motores, dar soporte a los sensores. Funcionan como patas
Material	Plástico ABS
Peso	22g
Cantidad de piezas	6
Interacción con otras partes	Con los tubos, motores y sensores de proximidad.
Proceso de manufactura	Mediante la inyección de plástico o por medio de impresión de plástico

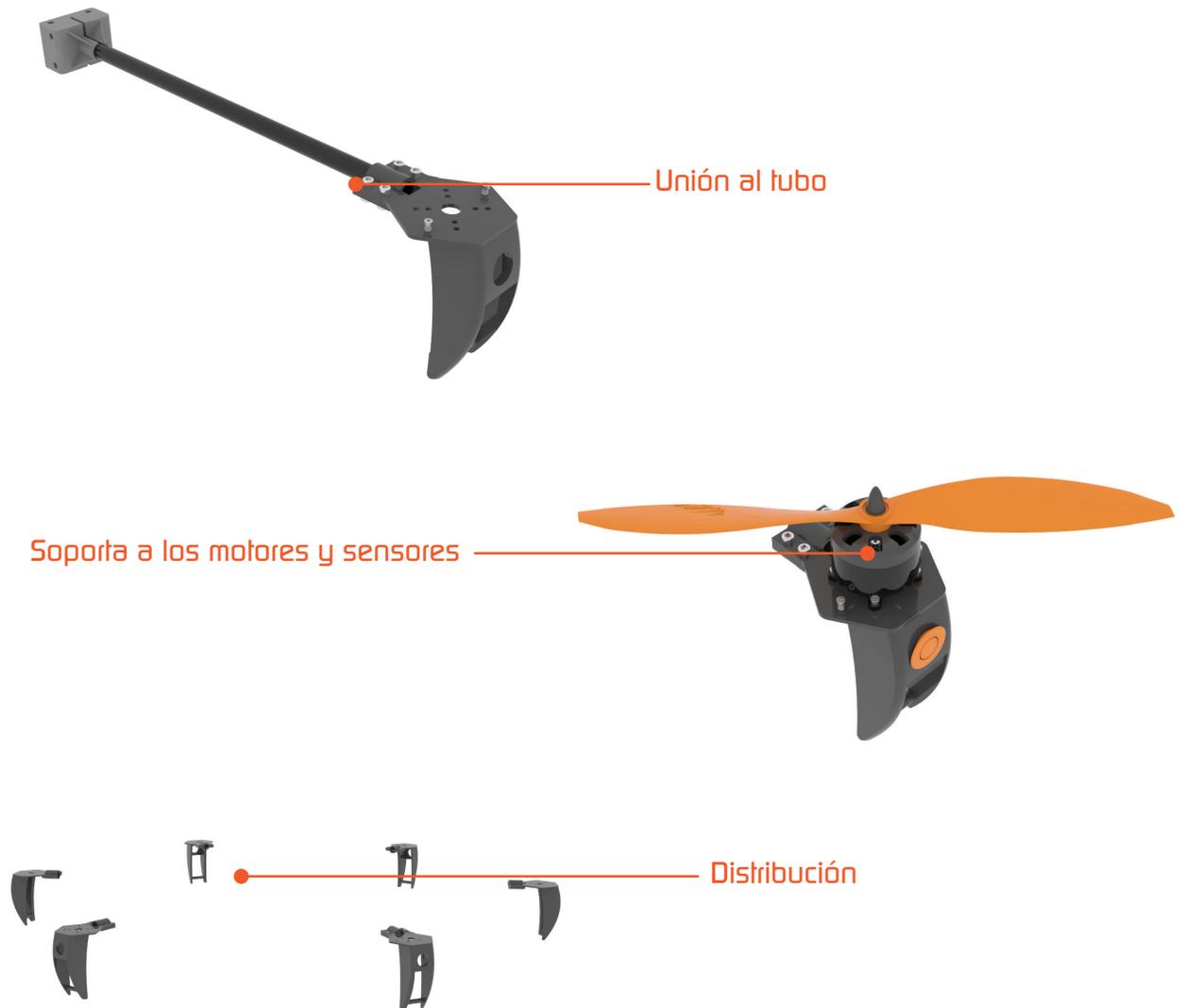
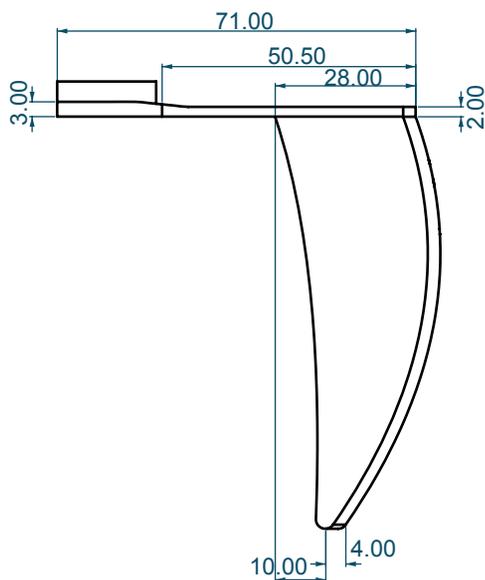
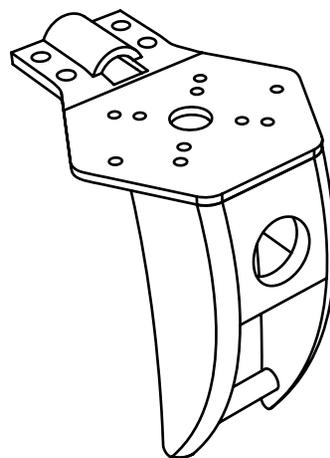
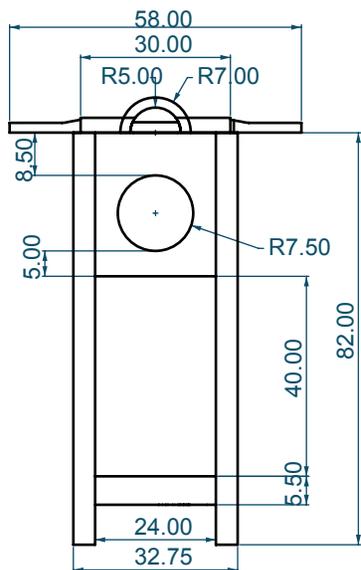
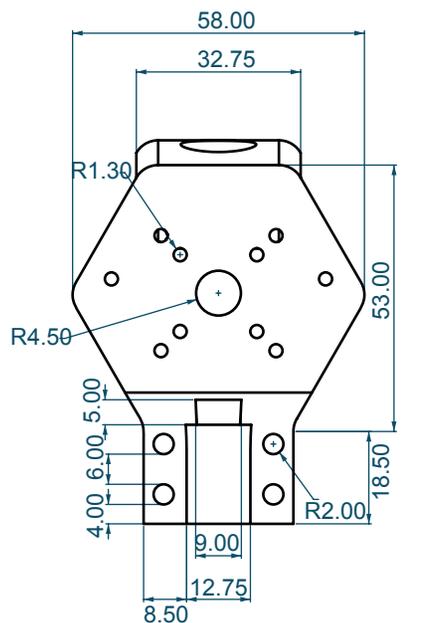


Figura 31. Características de la base del motor

# Base de motor



Unidades	Escala
mm	1:1.5

Figura 32. Planos de la base del motor

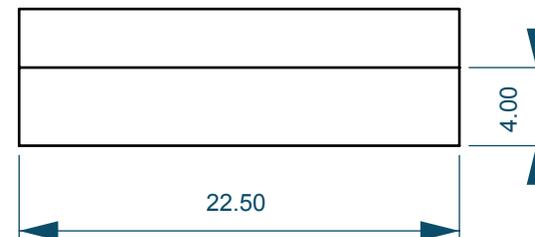
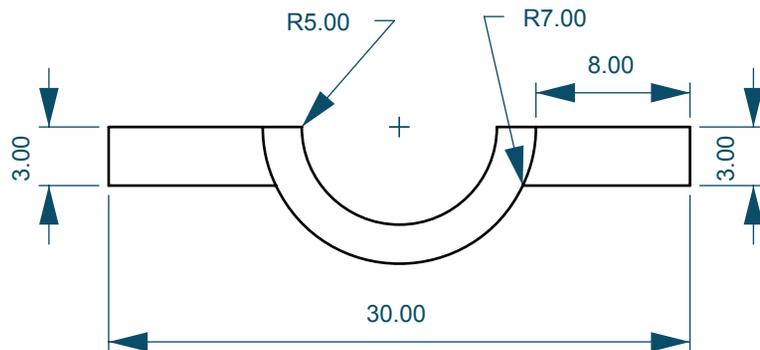
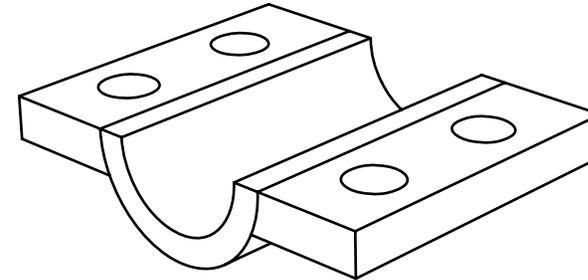
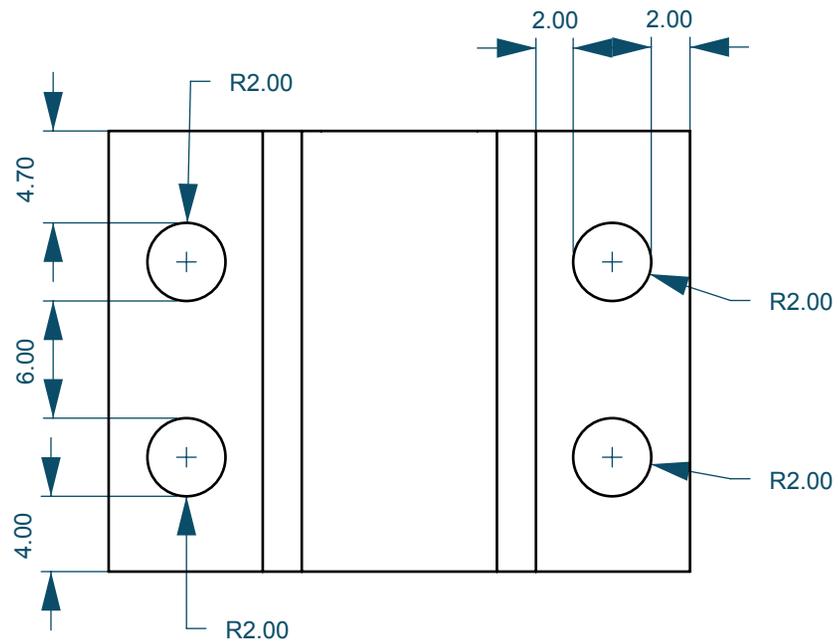
# Unión a base de motor

<b>Función</b>
Fijar y dejar inmóviles las bases del motor.
<b>Material</b>
Plástico ABS
<b>Peso</b>
2g
<b>Cantidad de piezas</b>
6
<b>Interacción con otras partes</b>
Con los tubos y con las bases de motor
<b>Proceso de manufactura</b>
Mediante la inyección de plástico o por medio de impresión de plástico



Figura 33. Características de la unión al motor

# Unión a base de motor



Unidades	Escala
mm	2:1

Figura 34. Planos de la unión al motor

# Protector Exterior

Función	Proteger al usuario y al dispositivo de hacer contacto con las hélices
Material	Cobre, hierro galvanizado
Peso	200g
Cantidad de piezas	1
Interacción con otras partes	Con los protectores interiores
Proceso de manufactura	Alambre de metal, doblado en las curvas requeridas.

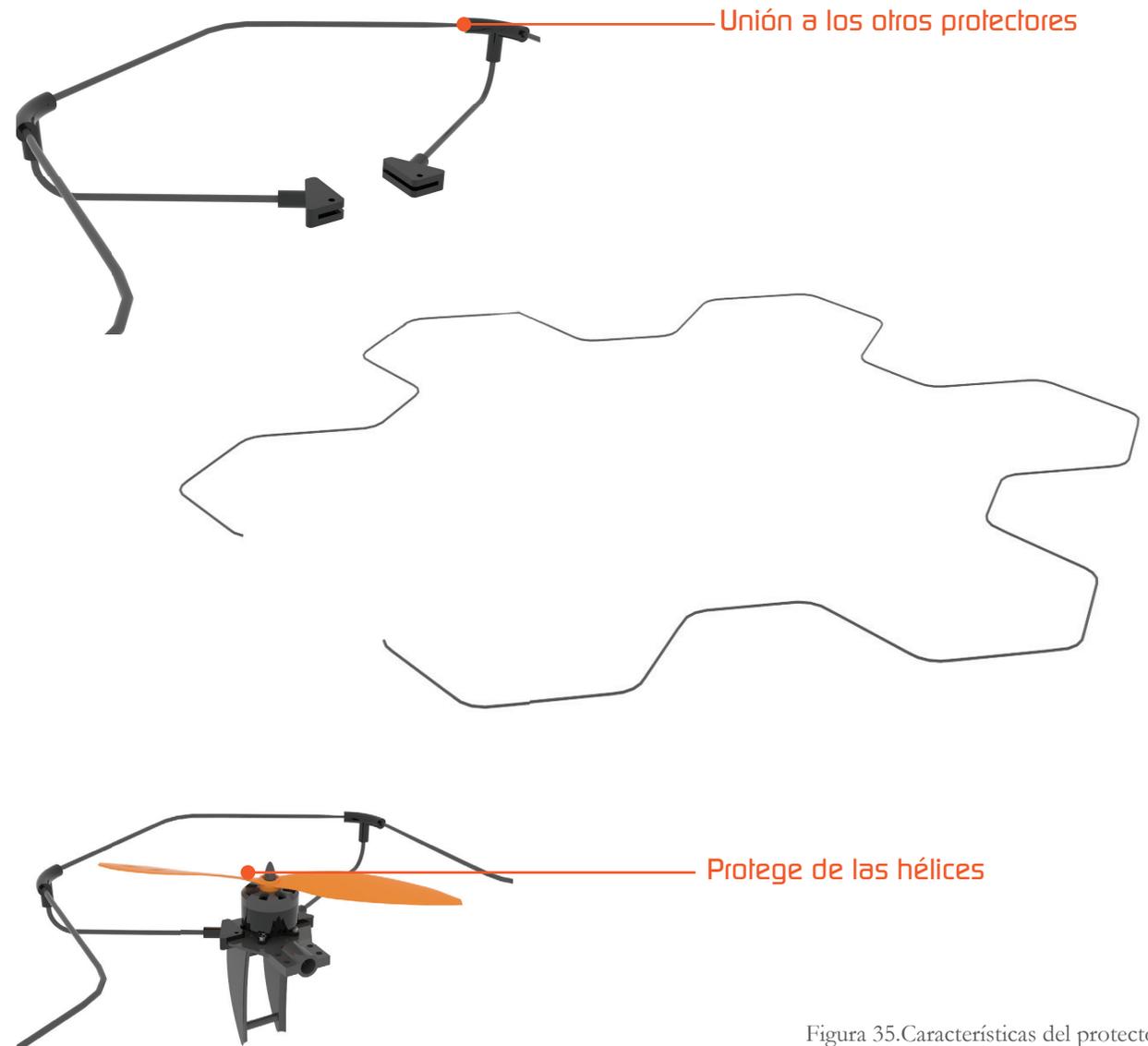
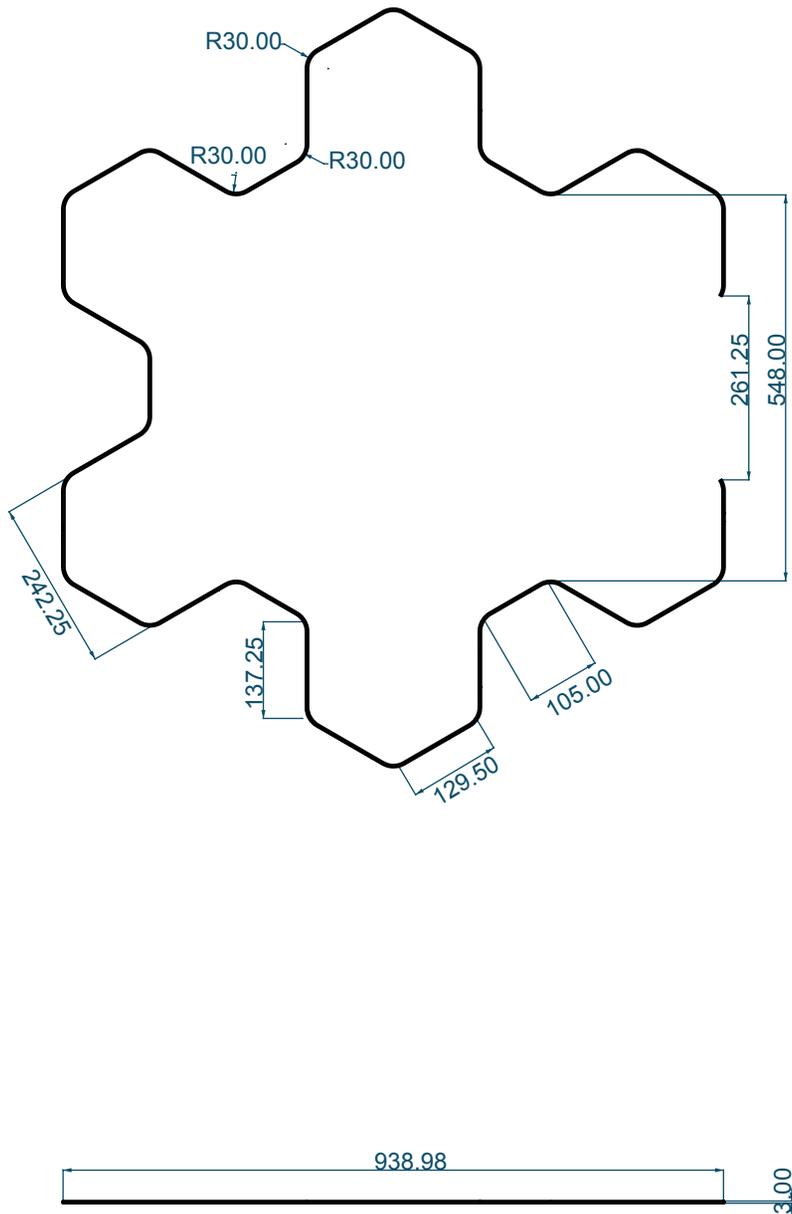


Figura 35. Características del protector

# Protector Exterior



Unidades	Escala
mm	1:10

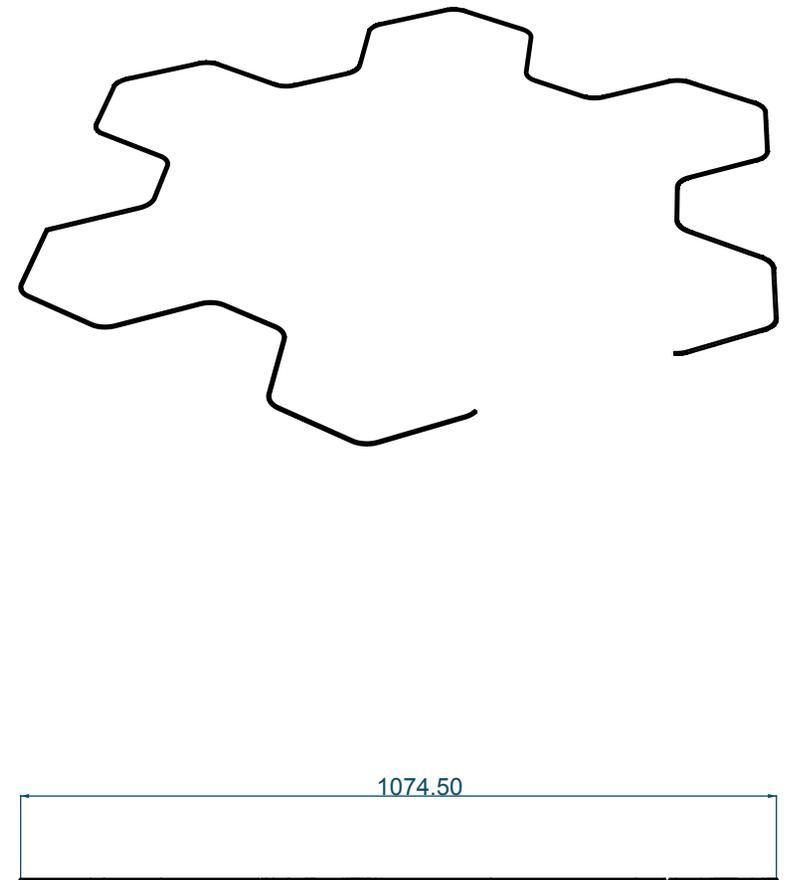


Figura 36. Planos del protector

# Protector Interior

<b>Función</b>
Proteger al usuario y al dispositivo de hacer contacto con las hélices. Soportar al protector exterior.
<b>Material</b>
Cobre, hierro galvanizado
<b>Peso</b>
10g
<b>Cantidad de piezas</b>
12
<b>Interacción con otras partes</b>
Con las bases de motor, con el protector exterior.
<b>Proceso de manufactura</b>
Alambre de metal, doblado en las curvas requeridas.

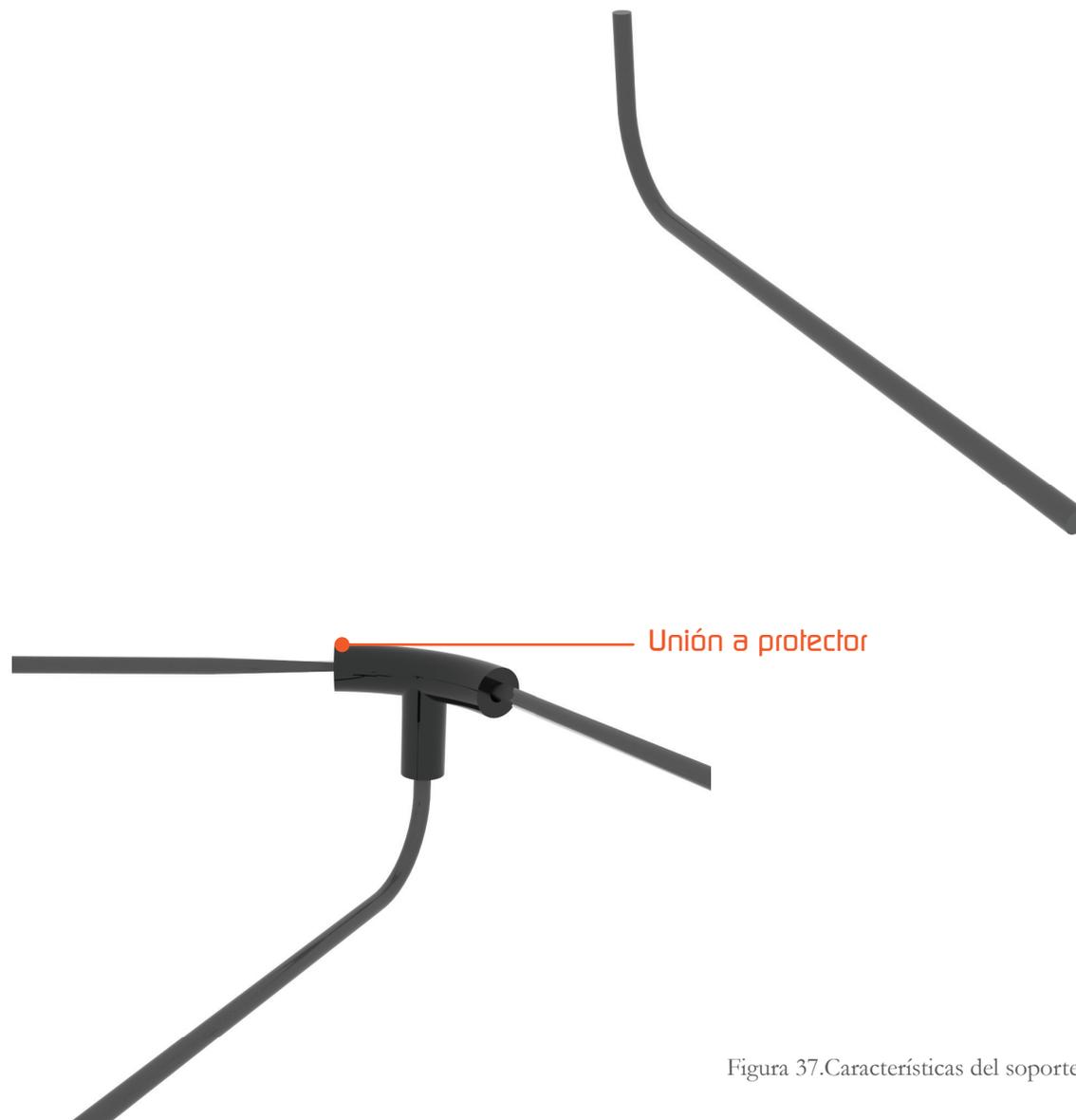
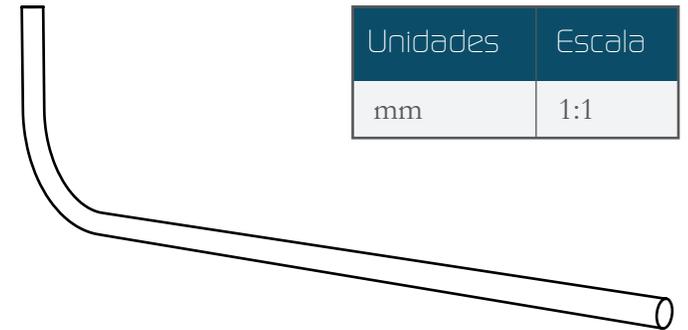
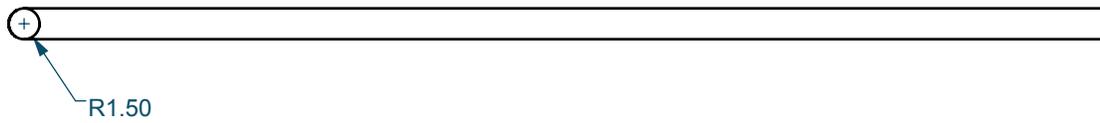


Figura 37. Características del soporte a protector

# Protector Soporte a Exterior



Unidades	Escala
mm	1:1

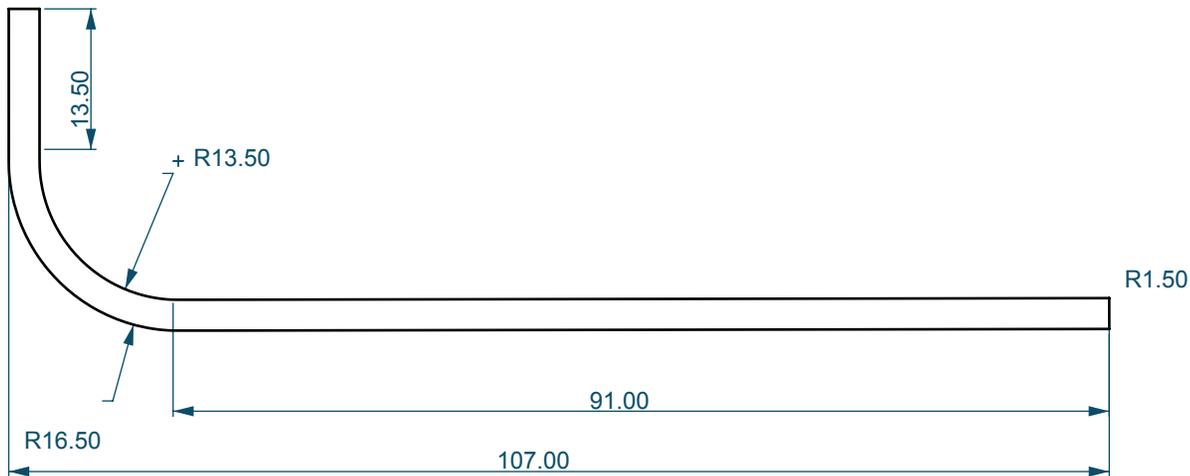
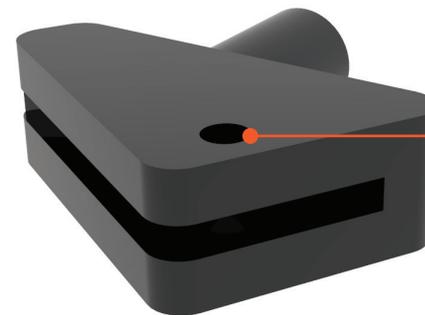


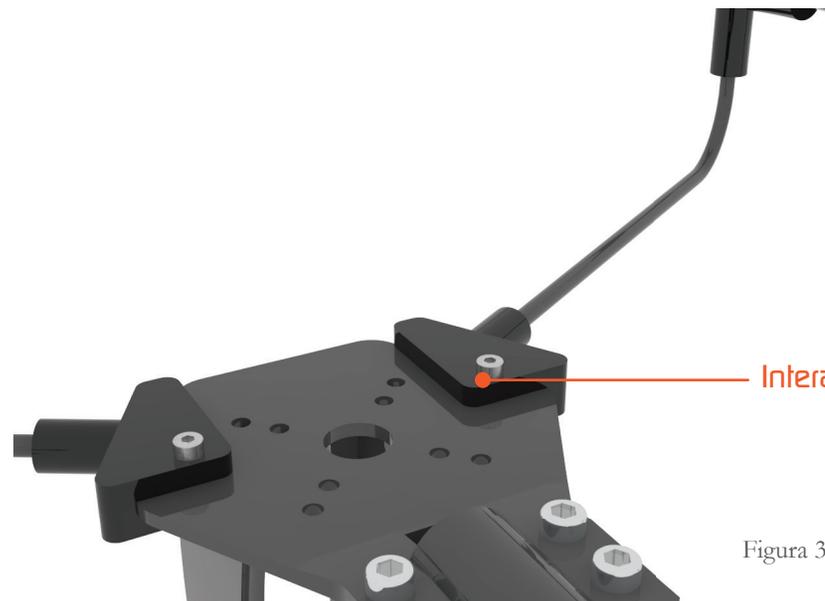
Figura 38. Planos del soporte a protector

# Sujeción protector 1

Función
Fijar y dejar inmóviles los protectores
Material
Plástico ABS
Peso
1,5g
Cantidad de piezas
12
Interacción con otras partes
Con los protectores y las bases de motor
Proceso de manufactura
Mediante la inyección de plástico o por medio de impresión de plástico



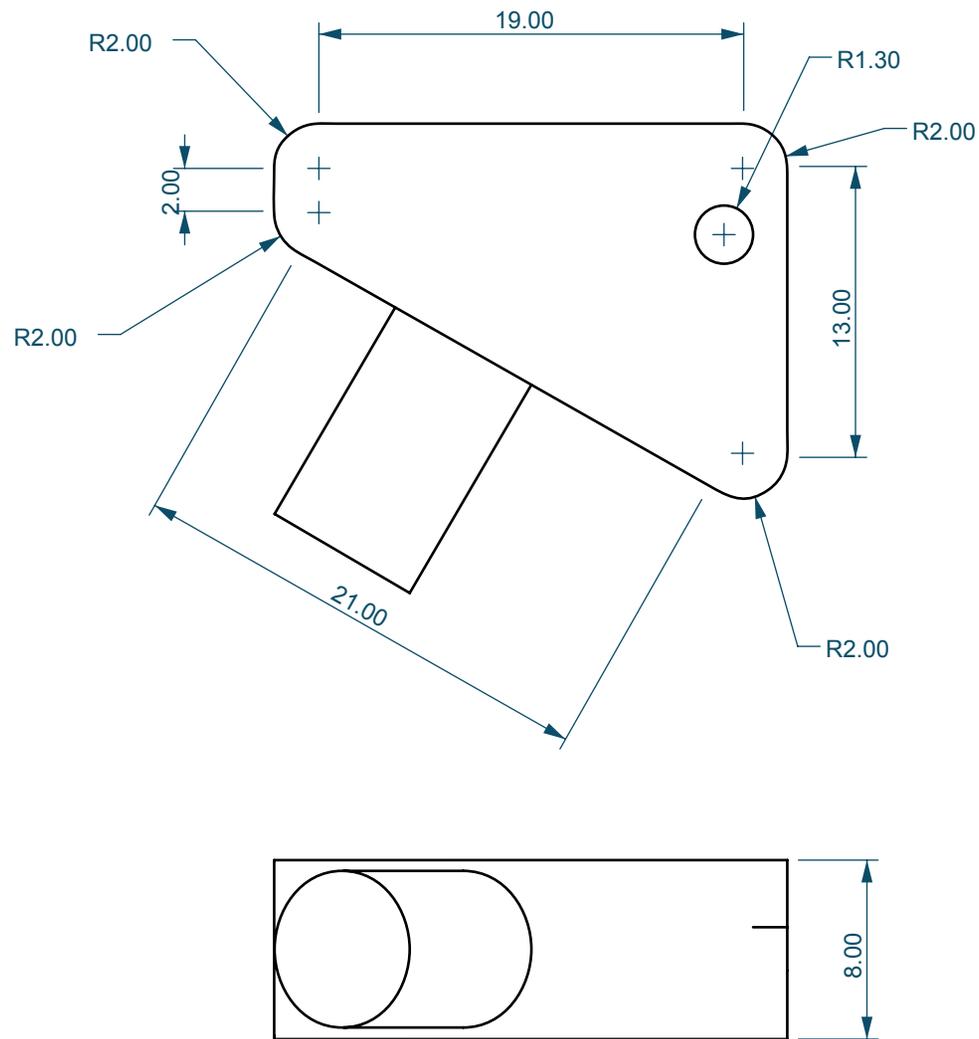
Orificio para empotrar a la base



Interacción con otras partes

Figura 39. Características de la unión al protector 1

# Sujeción protector 1



Unidades	Escala
mm	2.5:1

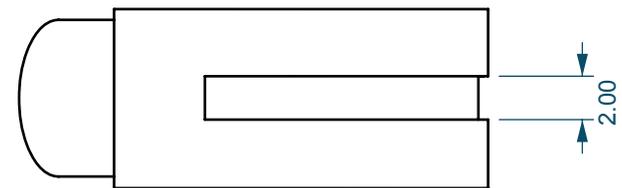
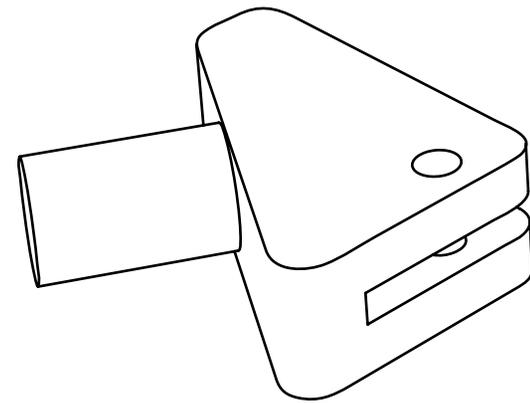


Figura 40. Planos de la unión al protector 1

# Sujeción protector 2

Función
Fijar y dejar inmóviles los protectores
Material
Plástico ABS
Peso
1g
Cantidad de piezas
12
Interacción con otras partes
Con los protectores
Proceso de manufactura
Mediante la inyección de plástico o por medio de impresión de plástico

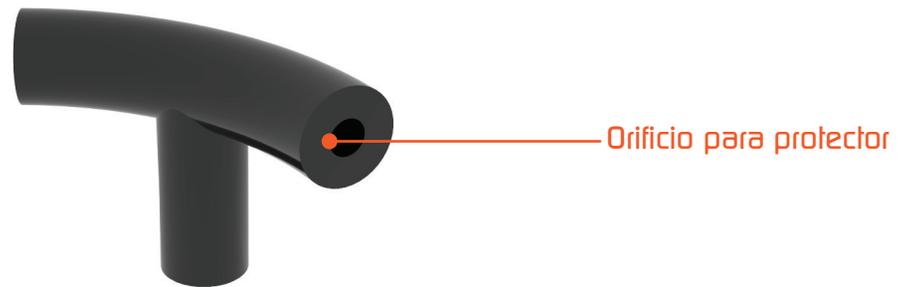
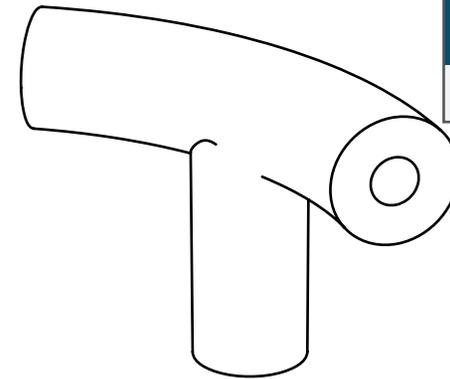
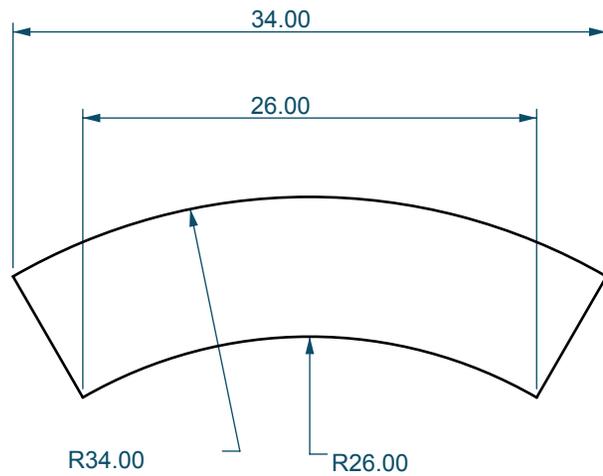


Figura 41. Características de la unión al protector 2

# Sujeción protector 2



Unidades	Escala
mm	2.5:1

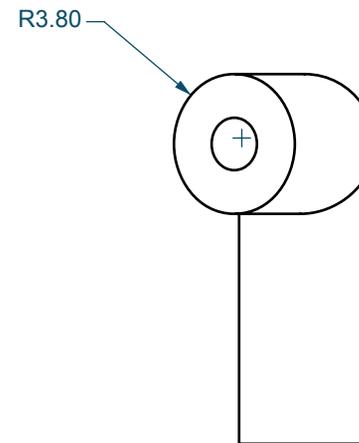
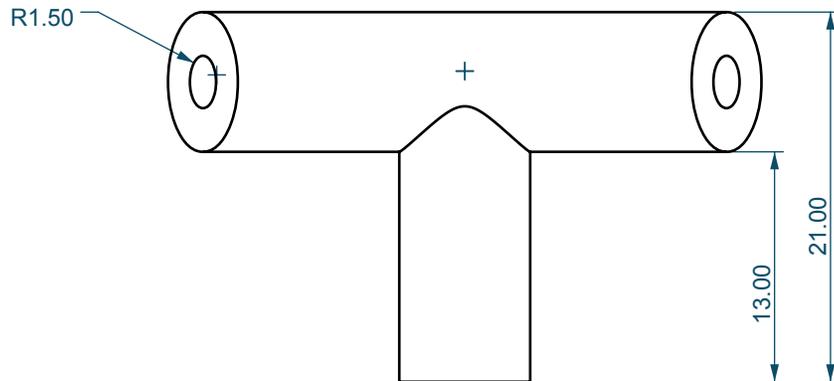


Figura 42. Planos de la unión al protector 2

# Unión carcasa a base

Función
Fijar y dejar inmóviles los protectores
Material
Plástico ABS
Peso
1g
Cantidad de piezas
6
Interacción con otras partes
Con los protectores
Proceso de manufactura
Mediante la inyección de plástico o por medio de impresión de plástico

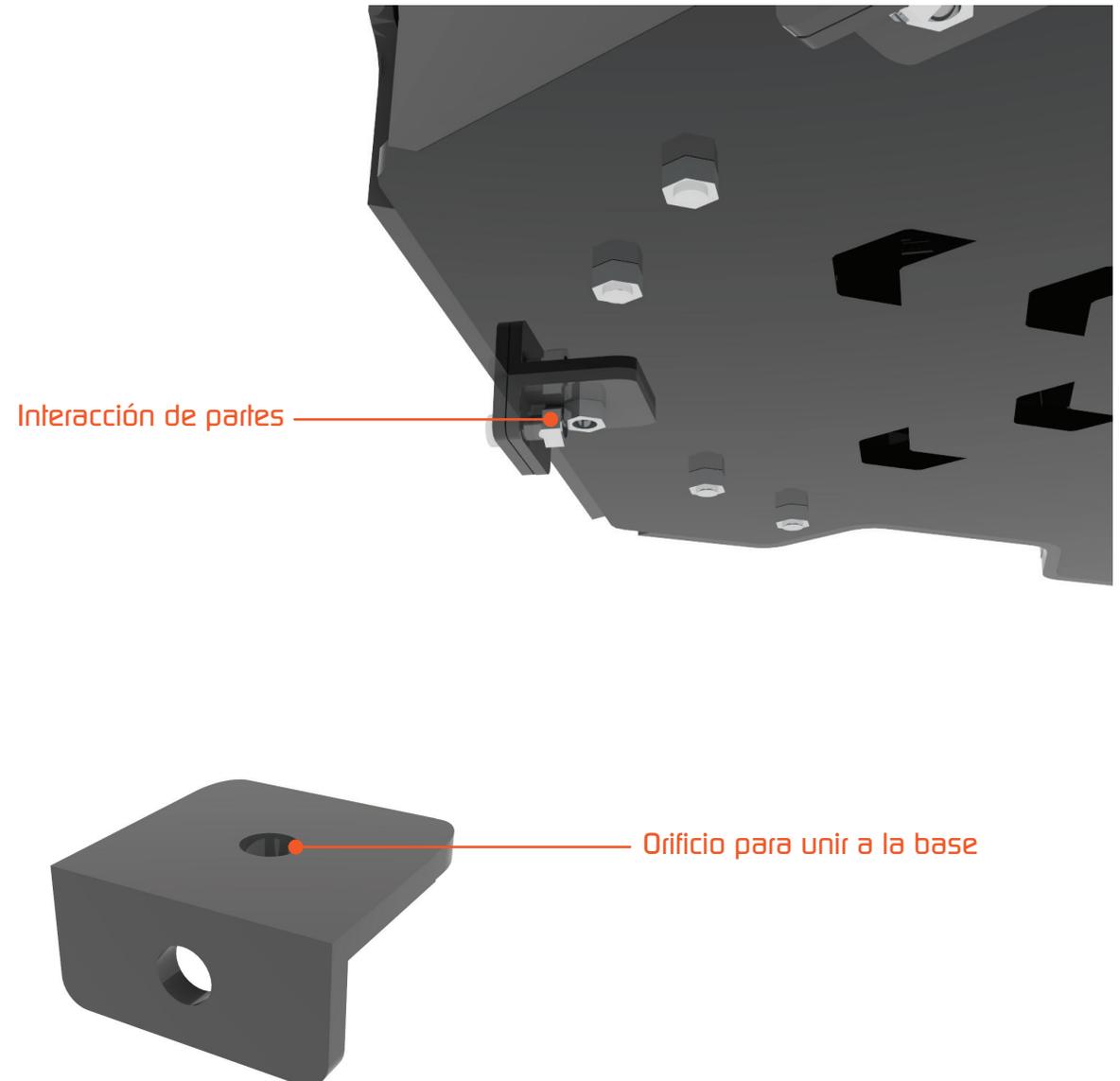
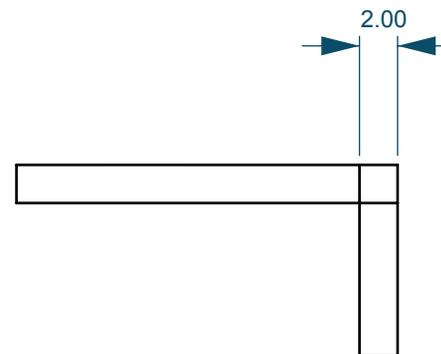
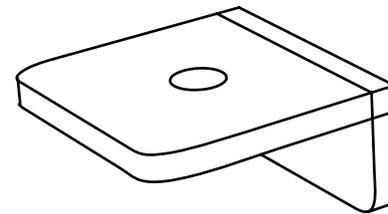
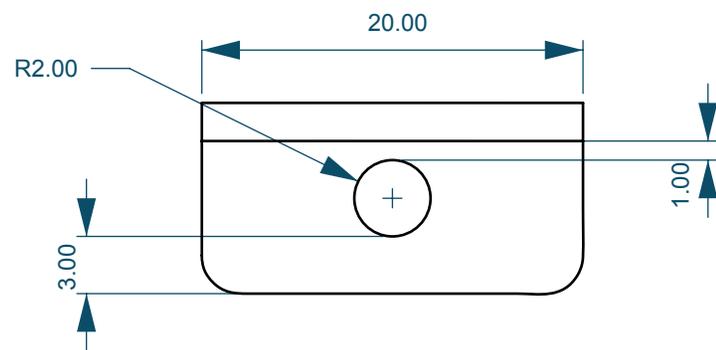
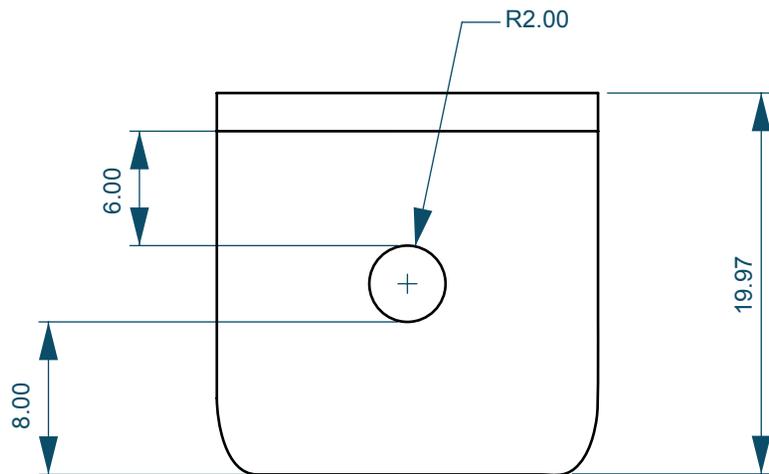


Figura 43. Características de la unión de carcasa

# Unión carcasa a base



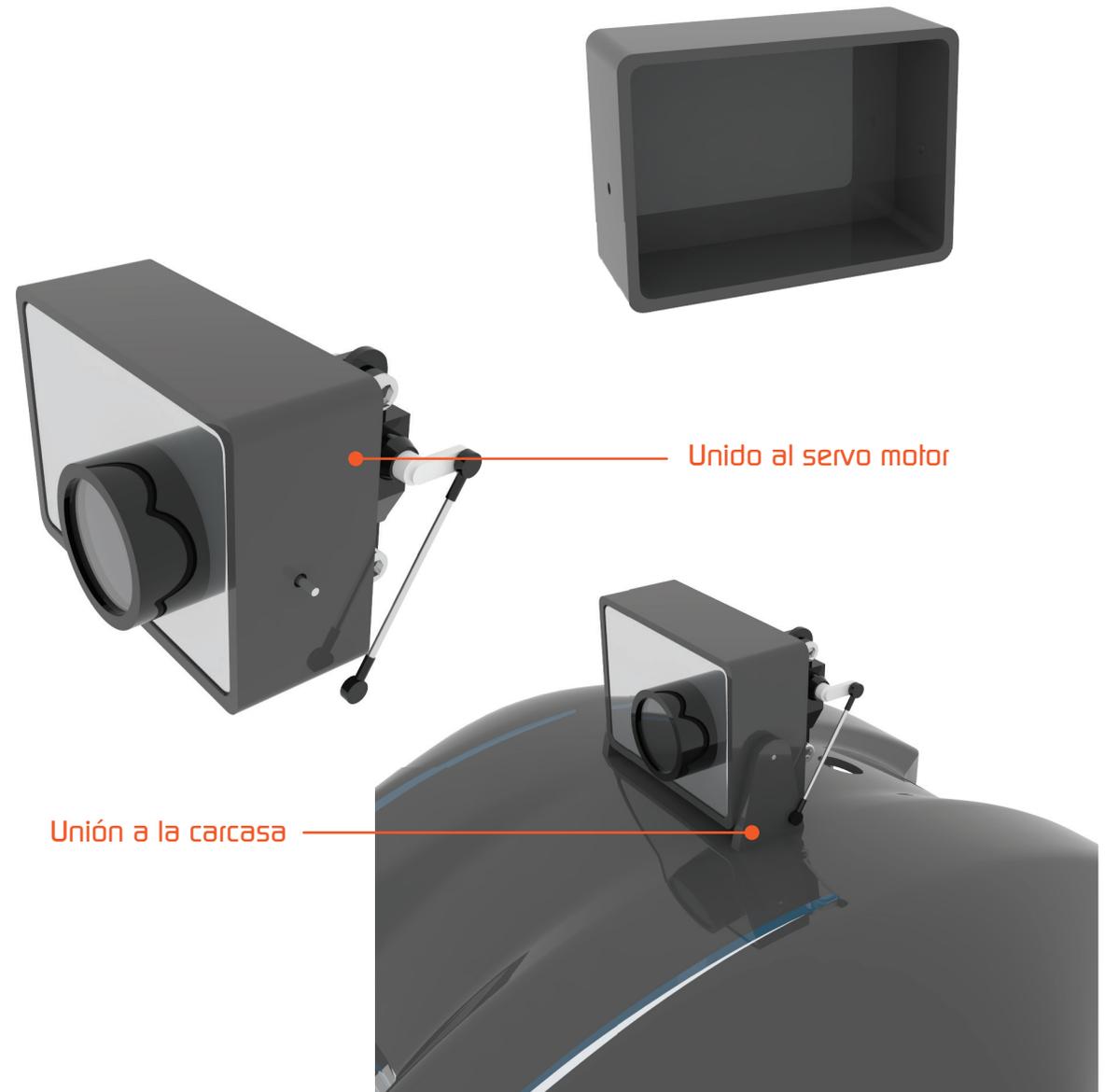
Unidades	Escala
mm	2.5:1

Figura 44. Características de la unión de carcasa

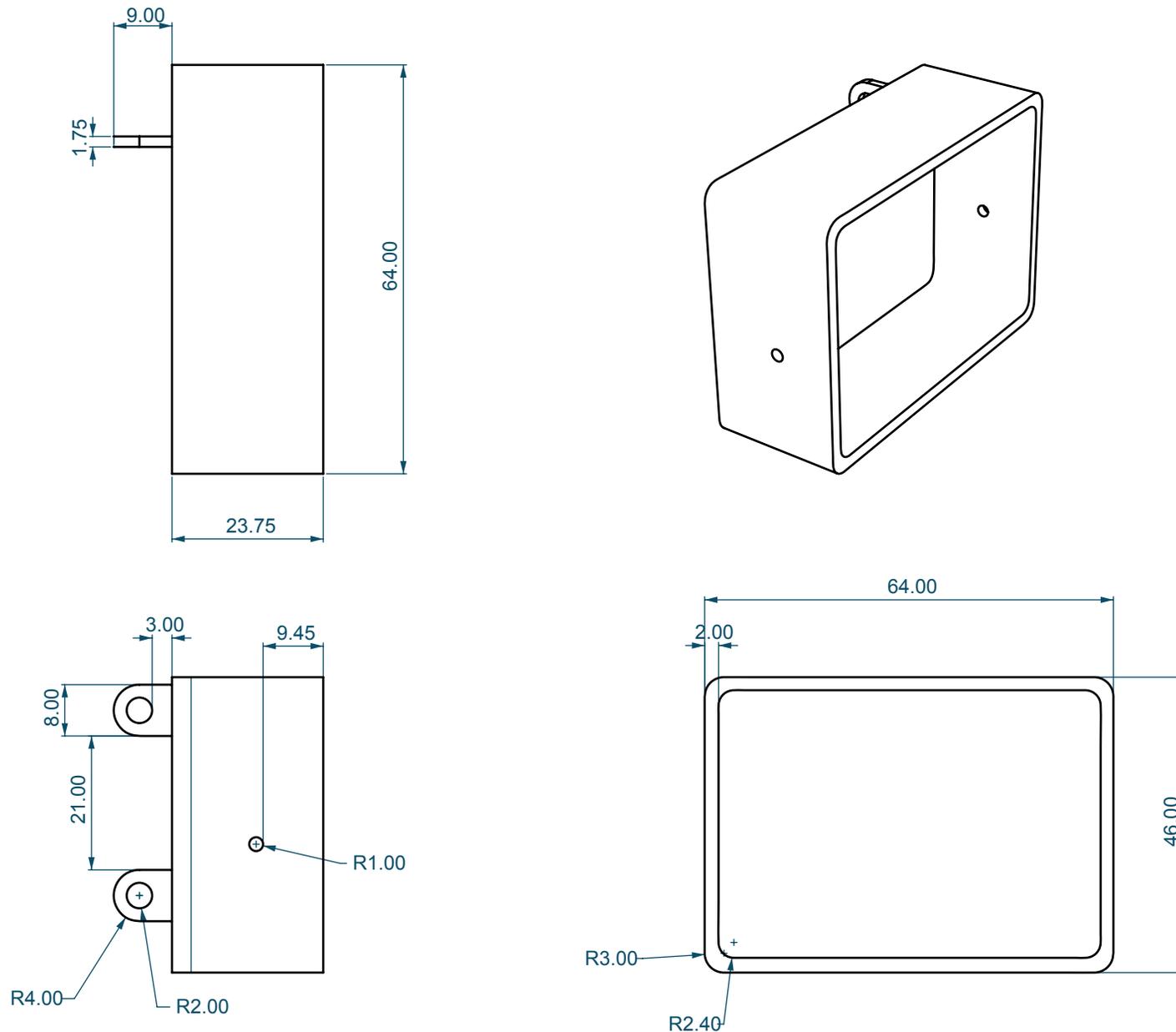
# Soporte de cámara

<b>Función</b>
Dar soporte a la cámara, sujetar el motor servo
<b>Material</b>
Plástico ABS
<b>Peso</b>
50g
<b>Cantidad de piezas</b>
1
<b>Interacción con otras partes</b>
Con la carcasa
<b>Proceso de manufactura</b>
Mediante la inyección de plástico o por medio de impresión de plástico

Figura 45. Características del soporte de cámara



# Soporte de cámara



Unidades	Escala
cm	1:1

Figura 46. Planos del soporte de cámara

# Tornillos utilizados

Largo	Ancho	Tipo de cabeza	Cantidad	Ilustración
6 mm	4 mm	Hexagonal	32	
60 mm	4 mm	Hexagonal	12	
10 mm	2.5 mm	Hexagonal	60	
60 mm	4 mm	Cruz	12	

Tabla10. Tornillos

# Batería

## Función

Proveer energía a todos los componentes electrónicos como tarjeta madre, luces, sensores, motores.

## Especificación

Turnigy LIPO 3s 3000mAh

## Peso

231 g

## Cantidad de piezas

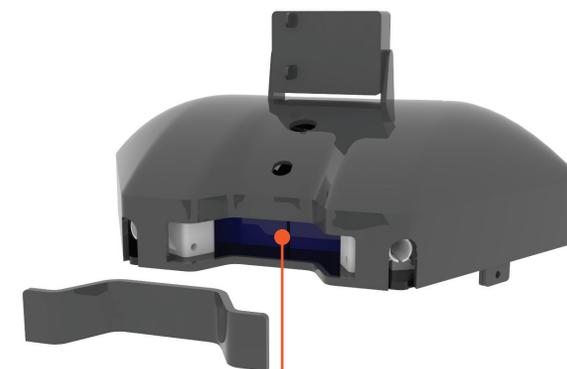
2

## Interacción con otras partes

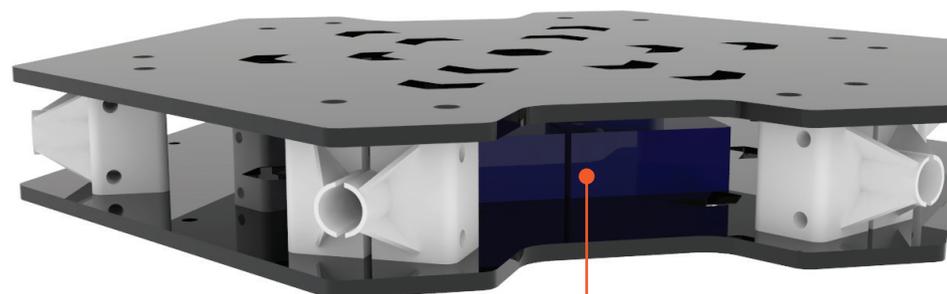
Eléctricamente con los otros componentes.  
Físicamente con la base inferior

## Características

25 C descarga continua. 11,1V



Se cambian por la tapa en la carcasa



Almacenadas entre las bases

Figura 47. Características de la batería

# Motores

Función
Proveer la movilidad para generar la fuerza de sustentación.
Especificación
Turnigy multistar 980 rpm
Peso
58 g
Cantidad de piezas
6
Interacción con otras partes
Eléctricamente con la batería y los ESC. Físicamente con la base del motor
Características
watts 165 , 15 amp



Figura 48. Características del motor

# Tarjeta de control

Función	Controlar el funcionamiento de todas las partes, mandar información al usuario.
Especificación	ZeroUAV YS-X6-P
Peso	212g
Cantidad de piezas	1
Interacción con otras partes	Eléctricamente con todos los componentes. Físicamente con la base superior e inferior.
Características	Wifi, Gps, sensores de posición, viento, aplicación, software.

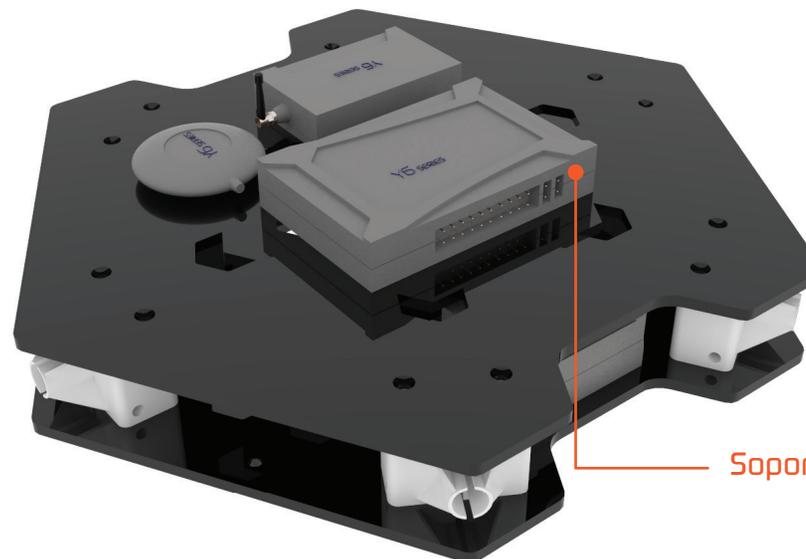
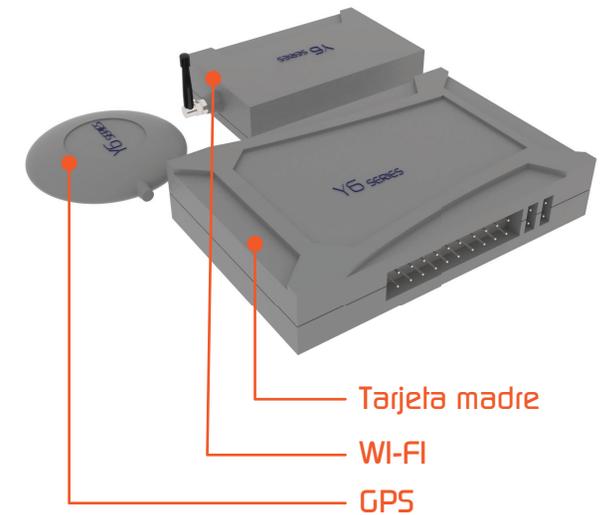


Figura 49. Características de la tarjeta

# Cámara

## Función

Manda señal en vivo del video. Graba videos y toma fotos y manda la información al usuario.

## Especificación

Go pro hero 3

## Peso

74g

## Cantidad de piezas

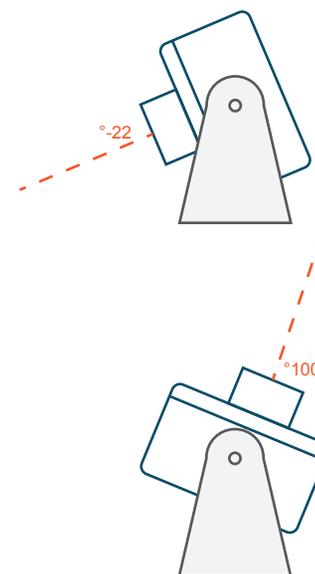
1

## Interacción con otras partes

Con el soporte de la cámara.

## Características

Wifi, 1080p resolución 1920x1080. JPG y MP4. Rafaga de fotos.



Gira sobre un eje en la carcasa

Soportado en el protector



Figura 50. Características de la cámara

# Luces LEDS

## Función

Iluminar para que las fotos sean capturadas con buena iluminación.

## Especificación

Tiras de LED blancas

## Peso

11g

## Cantidad de piezas

1

## Interacción con otras partes

Con la carcasa y batería

## Características

Tira de leds, se puede cortar, bajo consumo.

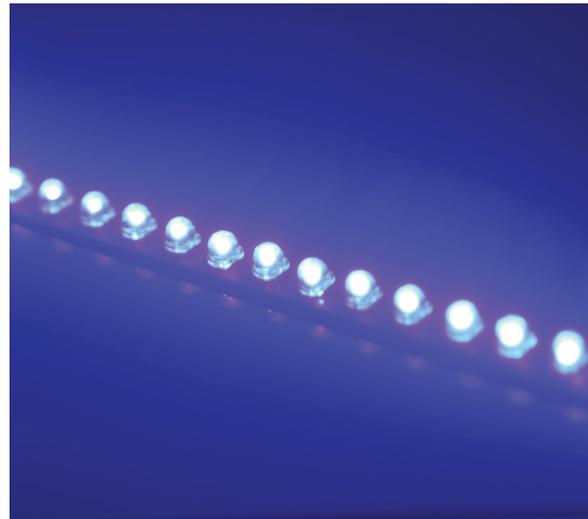
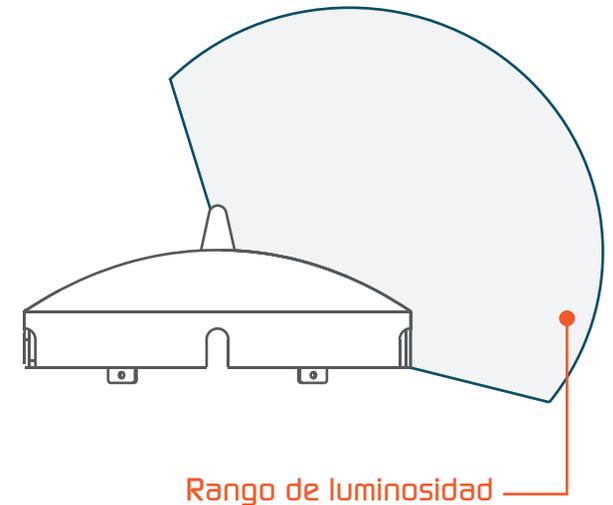


Figura 51. Características de los leds



# Sensores

## Función

Manda señal en vivo del video. Graba videos y toma fotos y manda la información al usuario.

## Especificación

Go pro hero 3

## Peso

74g

## Cantidad de piezas

1

## Interacción con otras partes

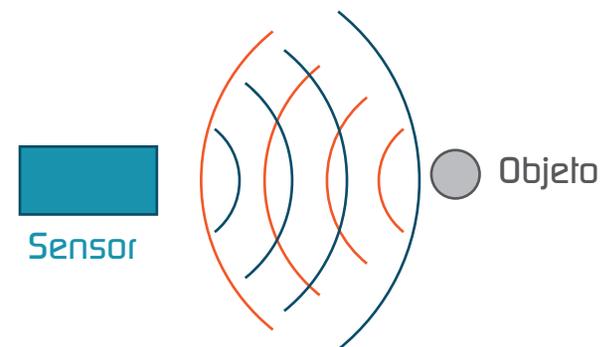
Con el soporte de la camara.

## Características

Wifi, 1080p resolución 1920x1080. JPG y MP4. Rafaga de fotos.



Figura 52. Características de los sensores



# Fotocelda

Función
Recibir la luz, y funcionar como interruptor automático para las luces.
Especificación
Fotocelda de 1 cm
Peso
5g
Cantidad de piezas
1
Interacción con otras partes
Con la carcasa
Características

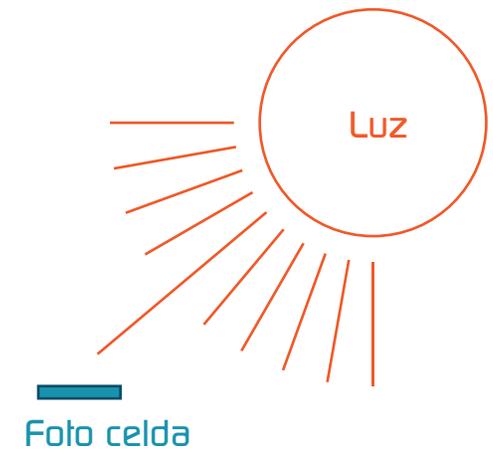
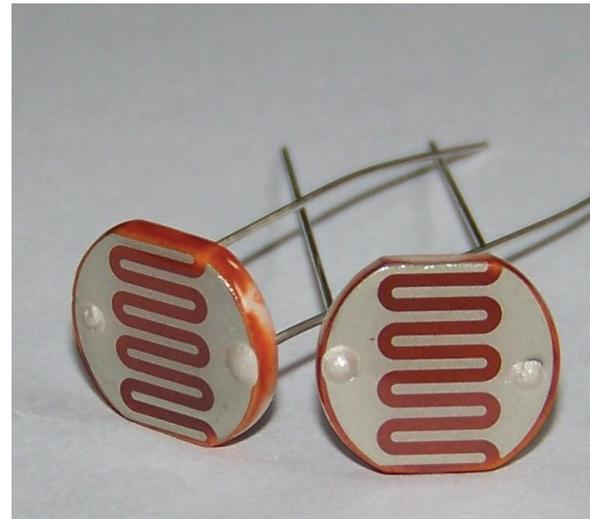


Figura 53. Características de la fotocelda

# Costos, listado de partes

Tabla11. Costos y partes

Parte	Cantidad	Precio unitario	Precio total
<b>Electrónicos</b>			
Motor turnigy 980 kv	6	\$ 14.98	\$ 89.88
Esc afro 30 amp	6	\$ 13.99	\$ 83.94
Propelas 10 x 4.5	3	\$ 3.14	\$ 9.42
Alarma de batería	1	\$ 3.78	\$ 3.78
Batería LIPO	2	\$ 26.19	\$ 52.38
Cargador de batería	1	\$ 22.99	\$ 22.99
Flight control	1	\$ 950	\$ 950
Cámara Go pro	1	\$ 199	\$ 199
Servo motor	1	\$ 8	\$ 8
Foto celda	1	\$ 2	\$ 2
Sensor de proximidad	7	\$ 5	\$ 35
Luces led	1	\$ 15	\$ 15
<b>Electrónicos</b>			
Partes en ABS	Varios diferentes	\$ 300	\$ 300
Tubo aluminio	1	\$ 6	\$ 6
Acrílico de base	2	\$ 2	\$ 2
Estructura de alambre	1	\$ 2	\$ 2
Tornillos	Varios diferentes	\$ 10	\$ 10
<b>Total</b>			<b>\$ 1791.39</b>

# Uso Final



Imagen45. Producto en el entorno



Imagen46. Producto en el entorno



Imagen47. Producto en el entorno

# Uso Final



Imagen48. Producto en el entorno



Imagen49. Producto en el entorno



Imagen50. Producto en el entorno

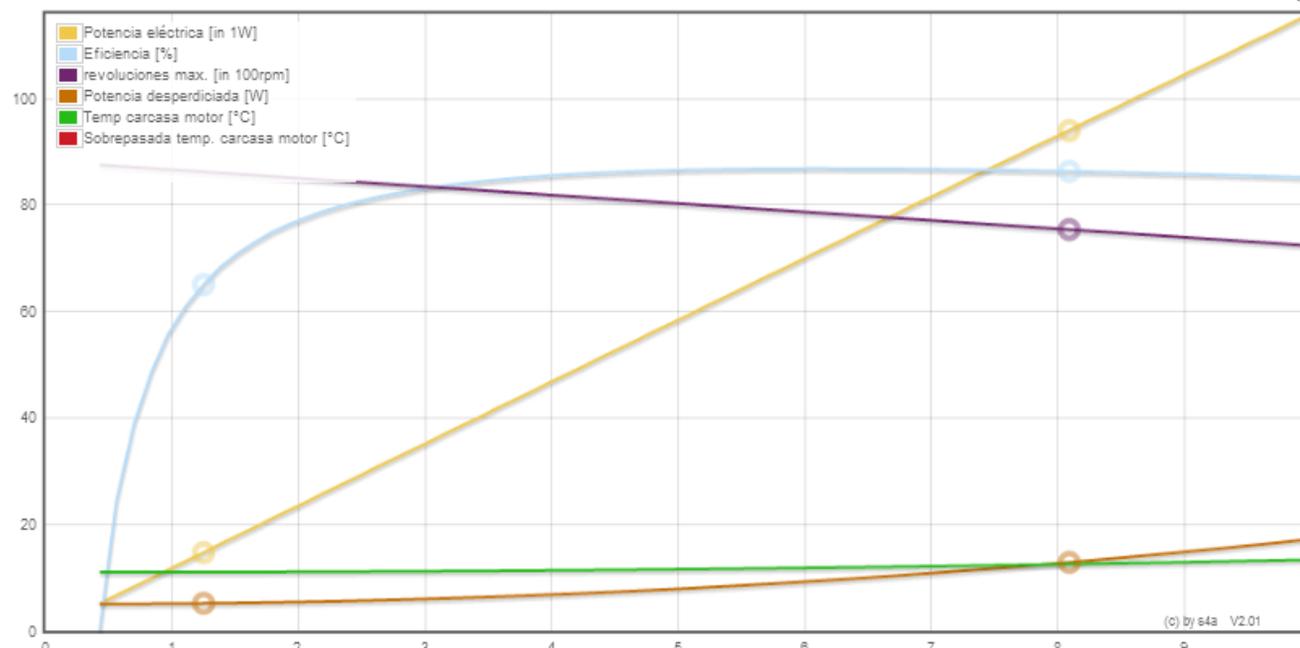
# Simulación de Vuelo

Basado en un simulador y calculadora virtual de este tipo de dispositivos. Que posee una base de datos con partes como los motores, bateías y ESC con modelos específicos. Permiten hacer una simulación de vuelo con todas las variables en las condiciones y variables. Los resultados fueron los que se muestran en la siguiente imagen.

Batería		Motor a eficiencia óptima		Motor al Máximo		Motor @ Hover		Motorización Total	
Carga:	5.52 C	Corriente:	6.03 A	Corriente:	8.27 A	Corriente:	1.14 A	<b>Peso de la Motorización:</b>	1068 g
Voltaje:	11.48 V	Voltaje:	11.51 V	Voltaje:	11.41 V	Voltaje:	11.72 V		37.7 oz
Tensión nominal:	11.10 V	Revoluciones*:	7749 rpm	Revoluciones*:	7349 rpm	Acelerador (lineal):	26 %	<b>Peso total:</b>	500 g
Tiempo de vuelo:	10.9 min	Potencia eléctrica:	69.4 W	Potencia eléctrica:	94.4 W	Potencia eléctrica:	13.4 W		17.6 oz
tiempo medio de vuelo:	16.3 min	Potencia mecánica:	60.3 W	Potencia mecánica:	81.3 W	Potencia mecánica:	8.3 W	máximo peso adicional:	1068 g
Tiempo de vuelo estacionario:	67.1 min	Eficiencia:	86.8 %	Eficiencia:	86.1 %	Eficiencia:	62.0 %		37.7 oz
Peso:	507 g	Temperatura ext.:	13 °C	Temperatura ext.:	55 °F	est. Temperatura:	11 °C	Corriente en estacionario:	4.56 A
	17.9 oz						52 °F	Pot(entrada) en estacionario:	53.6 W
								Pot(salida) en estacionario:	33.1 W
								Eficiencia en estacionario:	61.7 %
								Corriente al máximo:	33.09 A
								Potencia(entrada) al máximo:	389.4 W
								Potencia(salida) al máximo:	325.3 W
								Eficiencia al máximo:	83.5 %

Características del Motor

Imagen51. Resultado de simulación



# Gradientes de Mejora

**Adaptación:** Independiente a las estructuras

**Tiempo:** Reduce la inspección de 10 horas en un puente de 100 metros a 1 hora por los mismos 100 metros. Corresponde a una reducción del 90% del puente.

**Integridad de los usuarios:** No están expuestos a zonas peligrosas ni tareas incómodas.

**Zona de las vías:** El usuario puede estar desde un lado del puente operando el dispositivo.

**Tránsito:** No sería necesario detener el tránsito vial.

**Costo:** El costo total del dispositivo es de \$1800

**Multifuncionalidad:** La mayoría de las partes se diseñaron de tal manera que cumplieran más de una función a la vez, así se optimizó el espacio y peso.

# Conclusiones

- Es posible diseñar un dispositivo que no solo mejore la condición de la tarea y reduzca el riesgo. Más bien se puede hacer un dispositivo que libere al usuario de estar en peligro o posiciones incómodas.
- Hay una gran posibilidad de explotación de este tipo de dispositivos y de este en específico. En otras áreas de trabajo o bien en la misma, pero para otras empresas o instituciones.
- La modularidad del sistema es importante, ya que permite un fácil ensamble y fácil transporte.
- Todos los aspectos que se tomaron en cuenta para la seguridad del objeto y del usuario son fundamentales para garantizar la sostenibilidad de la tarea y la eficiencia.
- El control por medio de un dispositivo móvil hace que la curva de aprendizaje del producto se reduzca.
- La movilidad y el tamaño del dispositivo permitirá inspeccionar partes que antes no era posible alcanzar.
- La agilidad del proceso podrá afectar positivamente el sistema de vías y puentes del país.

# Recomendaciones

- Desarrollar como otro proyecto la mejora y adaptación de la aplicación digital que controla todas las operaciones.
- Se recomienda la compra de los componentes electrónicos para las pruebas de uso y ponerlo a funcionar prontamente.
- Se recomienda trabajar en grupos de dos personas con el dispositivo por medidas de seguridad.
- Tener una capacitación previa antes de utilizar el dispositivo en los puentes. Hacer pruebas y aprender a movilizarlo en locaciones más regulares.
- Se recomienda desarmar el dispositivo solo si es necesario para transporte.
- Es recomendable utilizar más de un dispositivo, ya sea utilizar dos o más en diferentes secciones del puente, o utilizarlos simultáneamente en diferentes puentes.

# Bibliografía

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). (2007). “Inspecciones de Puentes en Carreteras”. Costa Rica.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) (2007). “Manual de Inspección de Puentes”. Costa Rica

Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de vías. (2006). “Manual para inspección visual de Puentes y Pontones”. Colombia

AERODINAMICA Y ACTUACIONES DEL HELICOPTERO  
(EDICIONES PARANINFO, S.A) 2000. España

Federal highway administration. (2006). “ Bridge Inspector”s Reference Manual”. Estados Unidos.

Instituto nacional de seguridad e Higiene. (2008) “Antropometría”. España

Fundamentos de los polímeros(2004) Universidad de los Andes. Francisco Lopez Carrasquero. Venezuela

Información brindada por el CIVCO. Referente a inspección de puentes, y fallas estructurales.

[Calculadora digital](http://www.ecalc.ch/xcoptercalc.htm?ecalc&lang)

<http://www.ecalc.ch/xcoptercalc.htm?ecalc&lang>

[Noticia sobre puentes en Costa Rica](http://www.crhoy.com/mopt-no-hace-estudio-profundo-sobre-puentes-desde-hace-6-anos/)

<http://www.crhoy.com/mopt-no-hace-estudio-profundo-sobre-puentes-desde-hace-6-anos/>

[Tienda de dispositivos y partes](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/)

<http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/>

[Como construir un dispositivo](http://multicopter.forestblue.nl/multicopter_basics.html)

[http://multicopter.forestblue.nl/multicopter\\_basics.html](http://multicopter.forestblue.nl/multicopter_basics.html)

[Como construir un dispositivo](http://www.rcgroups.com/forums/showpost.php?p=22403755&post-count=197)

<http://www.rcgroups.com/forums/showpost.php?p=22403755&post-count=197>

<http://www.zerouav.com/en/Product/>

# Anexos

# Anexo I

## Inspección visual en puente piloto

Pablo Tames Orozco y Adriana Vega Calvo,  
estudiantes programa de Ingeniería en  
Construcción

### Resumen

El presente artículo presenta la metodología empleada para la inspección visual del puente piloto seleccionado en el proyecto eBridge: Predicción remota de fallas en puentes, presenta las recomendaciones para realizar este tipo de procedimientos y las limitaciones presentadas durante el proceso.

### Introducción

La inspección visual es un proceso no destructivo y de bajo costo, permite recopilar información básica sobre un elemento o estructura, para su archivo, evaluación y toma de acciones posteriores. Esta es una de las metodologías más comunes aplicadas en el mundo, ya que para realizarla no se necesita ningún equipo sofisticado o costoso, como se utiliza en otros procesos de inspección. Cabe destacar, que se efectúa muchas veces como la primera opción de los métodos para determinar el estado de un elemento, y es a partir de aquí, dependiendo de la información brindada que se analiza la necesidad de hacer más estudios.

En el caso del proyecto eBridge: Predicción remota de fallas en puentes, se realizó la Inspección Visual del Puente sobre el Río Purires (seleccionado como puente piloto), éste se ubica sobre la carretera Interamericana (Ruta 2), en Tejar del Guarco. Esta es una de las rutas más importantes y transitadas a nivel Nacional, pues comunica la Zona Sur con el Área Metropolitana del país, convirtiéndose en una zona de alto tránsito comercial, y por ende de vehículos de carga pesada.

Para la inspección se utilizó como base los diferentes formularios de Inspección de Puentes, elaborados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), los cuales se recopilan en el Manual de Inspección de Puentes (2007). Se utilizó esta metodología para estar acorde con la normativa nacional y que los datos recopilados puedan en un futuro ser parte de una base de datos nacional. (MOPT, 2007)

Figura 1. Puente sobre el Río Purires

Esta herramienta como se explicó anteriormente, se convierte en la primera para determinar el estado de deterioro en que se encuentra el puente y recopilar información para poder realizar representaciones gráficas de los elementos y del terreno en análisis.

### Limitaciones

Este método, aunque es muy sencillo y fácil de realizar, también tiene algunas limitaciones, que

pueden significar un vacío de información, puesto que en muchos casos no se prevé que debido a la configuración del puente o bien de la geografía del lugar, se encuentren sitios inaccesibles, y se tiene que utilizar medios o equipos especializados como escaleras, plataformas de andamiaje, botes, brazos mecánicos, entre otros, y en la mayoría de los casos no se cuenta con la disponibilidad de los mismos.

Otra de las limitaciones que se puede presentar es el desconocimiento, o falta de información de algunos elementos adheridos al puente como servicios públicos que pasan por él, muchas veces, la mayoría de las instituciones como municipalidades no tienen el conocimiento de los mismos, lo cual dificulta su identificación ya que en diversas ocasiones no se puede observar a simple vista.

Por otra parte la metodología de inspección supone un cierto conocimiento o expertiz en el área de ingeniería de puentes, por lo que las evaluaciones pueden ser subjetivas y varían de profesional en profesional.

Sumado a esto, para este caso en especial del Puente sobre el Río Purires no se contaba con el juego de planos del mismo. Posiblemente por lo antiguo de su construcción, aproximadamente finales de los años 50 o principios de los 60, no se encontró el diseño empleado ni planos asociados a éste.

# Anexo I

Ello provocó un clima de incertidumbre respecto a lo que se encontraba en campo. Esta situación es típica para la mayoría de estructuras existentes en el país.

## Justificación del proceso

La Inspección visual, como ya se ha comentado, es un proceso de inspección muy factible, ya que de primera instancia se puede dar una evaluación previa del estado de la estructura, sin incurrir en un costo excesivo, pues primordialmente lo que se necesita es que el inspector tenga un diagnóstico general: conocimiento de los elementos del puente, modo de funcionamiento, resistencia de materiales y de los problemas críticos que este pueda tener, ya que el mismo realiza un análisis cualitativo.

Además, es de suma importancia que este tipo de procedimientos se generalice y realice a lo largo del país en la infraestructura vial en especial en aquellos vitales como puentes, es bien sabido que en nuestro país, el tema de los puentes es uno de los que más se ha dejado de lado; como se puede ser ver en las diferentes vías de Costa Rica, este tipo de elementos se deteriora rápidamente por la falta de mantenimiento. Por lo que, este tipo de prueba puede llegar a ser una solución para determinar el estado de los mismos, y así de esta manera generar informes que sirvan como pruebas técnicas, realizadas por un profesional; para que las entidades se den cuenta de la problemática en la que se encuentran y se tomen cartas en el asunto.

## Descripción

Un sistema de inspección tiene que ser lo suficientemente organizado y con puntos claros por evaluar, puesto que deben detectar los problemas más críticos, que pueden volver la estructura inestable o peligrosa. Del mismo modo, debe ser sencilla y rápida, es decir, tiene que ser un procedimiento que debe durar alrededor de un día, esto claro dependiendo del tipo de la estructura analizada.

Es por esto que como lo explica el MOPT, “la inspección es un conjunto de actuaciones técnicas, realizadas según un plan previo, que facilitan los datos necesarios para conocer en un instante dado el estado de un puente.”

Es importante explicar que en el proceso de inspección se tiene que considerar todos los elementos de la súper y subestructura del puente, además de la losa de aproximación y los accesorios que están sujetos al puente.

Algunos de estos elementos son (MOPT, 2007):

### Accesorios

- Superficie de Rodamiento
- Barandas
- Juntas
- Tuberías de Servicios
- Sistema de Drenaje
- Señalización

### Superestructuras

- Vigas Principales y Secundarias
- Losa

### Subestructura

- Apoyos
- Bastiones

En una inspección en sitio, se tiene que detallar lo más posible la estructura en estudio, por lo que se tiene que documentar las dimensiones de todos los elementos; así como la distancia de la parte inferior del puente al espejo de agua. También es importante anotar ubicación exacta y detallada, clasificación del puente, el tipo de ruta y la fecha de la realización de la inspección. Otro aspecto que se debe tomar en cuenta, es el material del cual están hechos los diferentes componentes principales del puente, esto va a depender el tipo de mantenimiento o tratamiento que se debe emplear, en caso de requerirlo en un futuro. Una buena práctica para una inspección es generar un registro fotográfico, el cual sirva para plasmar los aspectos más relevantes, los elementos con mayores daños, los que caractericen el puente y su configuración tanto estética como estructural. Asimismo es importante ilustrar el tipo de cauce, para poder establecer si existe algún obstáculo potencial, el cual ante una crecida pudiera ser arrastrado y causar un daño al puente.

# Anexo I

## Factor Humano

Con respecto a los medios humanos para realizar una inspección, solo se requiere de un pequeño equipo de trabajo, éste va a ser el responsable de recopilar toda la información denotada, es decir, va a ser el encargado de identificar y evaluar el estado del puente, establecer los requerimientos posteriores en caso de tener que realizar una reparación (o en su defecto remitir el caso a un especialista).

Los inspectores, deberán tener conocimiento técnico suficiente sobre el tema de puentes; deberán estar al tanto sobre los componentes, funcionamiento, configuración, comportamiento, métodos de construcción, resistencia de materiales, entre otros.

Además entre sus actividades están planificar y organizar las inspecciones para que estas sean lo más eficientes y ordenadas posible, siguiendo una secuencia clara de las tareas y procedimientos que deberán realizar el día de la inspección completa.

Del mismo modo deberán elaborar todos los informes posteriores a la inspección o bien si cuentan con un formulario de inspección, como en el caso de nuestro país donde se utiliza el Manual de Inspección antes mencionado que brinda el MOPT; deben llenarlo en su totalidad o bien se debe tratar de que este quede lo más completo posible, puesto que una de las mayores

limitaciones es la falta de documentación cuando se habla de infraestructura pública.

## Equipo

El equipo en una inspección visual es relativamente sencillo, ya que por ser una actividad simple no se debe llevar instrumentos pesados o bien de un tamaño considerable, los cuales pueden entorpecer la inspección. Sin embargo, es importante llevar una serie de utensilios los cuales son vitales para que se realice una inspección precisa y sobretodo que sea eficiente.

El inspector tiene que tener claro cada una de las herramientas que va a llevar, para que estas le ayuden para a poder realizar su trabajo de la forma idónea. Algunos artículos que recomienda el Manual de Inspección de Puentes (MOPT) son los siguientes (MOPT, 2007):

- Utensilios de Limpieza (Escoba, cepillo de acero, espátulas, desatornillador, pala).
- Utensilios para la inspección general (Cuchilla, Cíncel, Calador, Plomada, entre otros)
- Utensilios de Inspección Visual (Binoculares, Foco, Lupa, entre otros)
- Utensilios de Medición (Cinta Métrica, Vernier, Nivel, Termómetro, entre otros)
- Utensilios de Documentación (Cuaderno de campo, Regla, Formularios de inspección)

Un equipo que el inspector no puede dejar a un lado, es el equipo de seguridad, ya que este no se puede exponer en ningún momento a algún

peligro mayor. Puesto que en algunos casos el acceso a algunos lugares es sumamente difícil y por consiguiente, si no se cuenta con el equipo adecuado y con el suficiente cuidado por parte del inspector, se puede provocar un accidente. Algunos de los equipos de seguridad que se deben llevar al campo son: casco, chaleco de seguridad reflectivo, gafas de seguridad, guantes, mascarilla, y en caso de tener que realizar trabajos en alturas: el arnés.

## Resultados del proceso

De este proceso se logró obtener dos resultados concretos, los cuales son: informe de inspección visual (hojas de inventario del MOPT) y la elaboración de los planos. Aparte, se dieron otros implícitos o intangibles como por ejemplo la familiarización y conocimiento con la estructura del puente de forma general y específica para este caso.

# Anexo I

## Informe de la inspección visual

Para este puente en particular, como se ha mencionado se manejaron ciertas restricciones que impidieron la idónea realización de la inspección, sin embargo, se logró obtener información valiosa que sirvió como base para aplicar las pruebas siguientes (ultrasonido a vigas y losa, extracción de núcleos). Además se dejó un panorama bastante claro de lo que es el puente y su estado de destrucción para enfatizar en los elementos más dañados y que ponen en riesgo la vida útil de la infraestructura.

En él se caracterizan (no detallan específicamente) estas afectaciones, entre las más relevantes están: la oxidación y corrosión que llevan a una pérdida de sección importante a las vigas continuas de acero; grietas, descascaramiento, socavación en los bastiones y pilas que en muchas ocasiones dejan a la luz el refuerzo de acero expuesto a la interperie; inclinaciones, desplazamientos y deformación en los apoyos, que dejan al descubierto por completo el mal estado del puente. Así mismo grietas, juntas de expansión obstruidas, refuerzo expuesto en la losa ponen en riesgo la seguridad de usuarios y aceleran el deterioro. Excesivos recarpeteos junto con bacheo y ondulaciones del pavimento incrementan el peso de la estructura, así se vuelven más vulnerable ante un sismo.

## Elaboración de Planos

Esta actividad se realizó debido a (como se

mencionó antes) que no existía ningún tipo de planos del puente. No se contaba con las disposiciones del mismo y sus elementos, conexiones, medidas de ambos, ubicación, información geográfica, así como características especiales y otros.

Para su realización fue de gran ayuda y sin duda, pilar de la actividad, las visitas a campo junto con el informe de inspección visual elaborados por el equipo de eBridge. Debido a la edad del puente así como el grado de deterioro presente en los elementos de este, no se sabe con total seguridad el diseño inicial del puente; pero con la experiencia de profesionales del área se cree que el resultado obtenido es bastante acertado al de un inicio.

Esta etapa desarrollada simultánea con la inspección, permitió definir dimensiones tanto de la subestructura como superestructura, distribución de los elementos y sus características físicas básicas, las conexiones con su ubicación y detalle, y los posibles servicios que transitan por el puente. Es de suma importancia, para el equipo de la parte de construcción contar con los planos arquitectónicos de la obra, para lograr homogenizar la estructura y así lograr realizar un buen análisis de la estructura, determinar sus capacidades de diseño y lograr comparar que es lo que experimenta el puente en la actualidad. En ello, los planos aportan gran información que de no poseerse ordenada y definida en ellos acerca de la estructura, se podría llegar a conclusiones

que pueden diferir unas de otras, por simples incongruencia de medidas.

De igual manera, con la confección de los planos se tiene una mejor disposición para etapas futuras del proyecto y son de gran ayuda para profesionales investigadores de otras disciplinas del proyecto.

## Conclusión

El proceso de inspección es vital para estructuras de este tipo las cuales tienen un mantenimiento prácticamente nulo; y por lo tanto un deterioro que en muchos casos no es apreciable desde la superficie de rodamiento, es decir, en diferentes puentes del país se puede ver como un puente el cual se observa en buen estado desde la parte superior, puede que en la parte inferior están presentando un problema el deterioro excesivo, que muchas veces desconocen.

Además con este tipo de actividades se puede dar prevención o una voz de alerta sobre el estado en que se encuentra este tipo de estructuras, y dicha información puede servir a las instituciones relacionadas con el tema, como punto de partida para realizar una comparación entre las mismas, y de este modo, poder determinar cuáles son las estructuras que necesitan intervención lo antes posible.

# Anexo 2

## El sistema de puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)

### 1. Introducción:

Dentro de los asuntos viales que competen al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), está la base de datos de puentes, disponible en la Dirección General de Planificación Sectorial; que constituye una herramienta muy útil para realizar la planeación, diseño, construcción, mantenimiento, rehabilitación y reemplazo de los puentes, que son elementos vitales de la infraestructura vial.

Dentro de los componentes principales de los puentes están: piso, subestructura y la superestructura, además del canal y los accesos. Estos componentes se subdividen en otros aspectos que se plasman en el inventario de puentes, con el objeto de que se les pueda otorgar una calificación numérica, según el estado en que se encuentra cada uno de ellos, de acuerdo con el criterio del inspector de puentes. Se incluyen datos tales como: condición de los cauces, bastiones, pilas, vigas de concreto, vigas de acero y de madera, cerchas, diafragmas, arrostamiento de armaduras, portales, apoyos, pisos, juntas de expansión, barandas, aceras, cordones, drenajes, taludes, pintura, señales, etc..

La Dirección General de Planificación tiene desarrollado en un 90% el módulo de datos. Sin embargo, todavía se requiere desarrollar criterios para completar, el modulo de mantenimiento rutinario, ampliar el módulo de reportes y crear un sistema de administración de puentes en sentido riguroso.

### 2. Antecedentes:

Durante mucho tiempo se contó con un archivo de tarjetas con las dimensiones de cada uno de los elementos de los puentes y su nombre, estos se hacían acompañar de una pequeña fotografía de la estructura, posteriormente se decidió elaborar una nueva guía para recopilar los datos de campo que consta de los tres componentes que todo puente debe tener, y se creó la Base de Datos que contiene toda esta información.

### 3. Beneficios del Sistema:

Los beneficios específicos de un sistema de administración de puentes son:

1. Un mejor conocimiento de los puentes de la red.
2. Habilidad para poder comparar, la condición de los puentes en la red., según variables de interés, como clima, cargas, tipo de puentes, etc.
3. Contar con listas priorizadas de acciones de mantenimiento, de rehabilitación y reemplazo (MR y R).

4. Contar con estimados de costos durante la vida útil de los puentes.
5. Mejorar los mecanismos para predecir el desempeño futuro de los puentes.
6. Mejorar la programación del mantenimiento rutinario.
7. Mejorar la programación de recursos.

4. Análisis de la información disponible del inventario de Puentes:

Actualmente se tienen 1338 puentes inventariados. De todos estos la distribución de puentes por tipo de estructuración de elementos críticos\* es la siguiente:

# Anexo 2

## 4. Análisis de la información disponible del inventario de Puentes:

Actualmente se tienen 1338 puentes inventariados. De todos estos la distribución de puentes por tipo de estructuración de elementos críticos\* es la siguiente:

Cuadro No. 1  
Sistema de Administración de Puentes  
Puentes inventariados

Tipo de estructura	Total de puentes	
Numero de puentes con elementos críticos*		
Concreto	929	623
Acero	178	152
Madera	79	63
Alc. Cuadro	97	70
Falta Puente	12	0
Paso Superior	22	8
Paso inferior	14	3
Alc. Acero Corrugado	4	6
Tubo Hormigón	3	2

Total 1338 927

\* : son elementos con calificaciones menores de 6 (seis)

En total se tienen aproximadamente 30 960 metros lineales de puentes inventariados en el país distribuidos según los siguientes rangos.

Cuadro No. 2

Sistema de Administración de Puentes  
PUENTES INVENTARIADOS

Rango	Cantidad
De 6 – 15 mts	717
De 16 - 30 mts	294
De 31 - 60 mts	211
De 61 - 100 mts	75
De 101 - 150 mts	18
Mas de 151 mts	23

Total 1338

Seguidamente se muestra el estado del inventario nacional de puentes, clasificados en bueno, regular y mal estado.

Cuadro No. 3  
Sistema de Administración de Puentes  
Condición de los Puentes Inventariados

Condición de los Puentes	Mts.
Regular y bueno	27 825
Mala	3 975

Cuadro No.4  
Sistema de Administración de Puentes  
Material de los Puentes Inventariados

MATERIAL Mts.

Concreto 23 380  
Acero 7 900  
Madera 527

La longitud medida del total de los puentes de la red puede subdividirse de acuerdo al tipo de material