



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**“DISEÑO DE ESTRUCTURA SOPORTE DE CÁMARA  
TERMOGRÁFICA DE UN DRONE-HEXAROTOR PARA OPTIMIZAR  
TIEMPO DE INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN  
ELÉCTRICA-HERZAB-S.A.C”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**AUTOR:**

**MIGUEL SEGURA REQUEJO**

**ASESOR:**

**Mg. DECIDERIO ENRIQUE DÍAZ RUBIO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS**

**CHICLAYO – PERÚ**

**2018**



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ACTA DE SUSTENTACION

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 12:00 horas del día 16 de Abril de 2019, de acuerdo a los dispuesto por la resolución de dirección de investigación N° 0661-2019-UCV-CH, de fecha 12 de abril de 2019, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis titulada: **"DISEÑO DE ESTRUCTURA SOPORTE DE CÁMARA TERMOGRÁFICA DE UN DRONE-HEXAROTOR PARA OPTIMIZAR TIEMPO DE INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA-HERZAB-S.A.C"**, presentado por el(la) (los) bachiller: **SEGURA REQUEJO MIGUEL**, con la finalidad de obtener el título de **Ingeniero Mecánico Electricista**, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:

Presidente : Ing. Fredy Dávila Hurtado  
Secretario : Ing. Celada Padilla James Skinner  
Vocal : Ing. Deciderio Enrique Díaz Rubio

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:

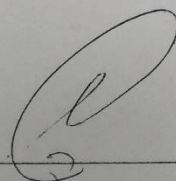
APROBADO POR UNANIMIDAD

Siendo las 12:45 pm del mismo día, se dio por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

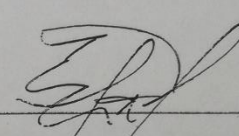
Chiclayo, 16 de abril de 2019

  
Ing. Fredy Dávila Hurtado

Presidente

  
Ing. Celada Padilla James Skinner

Secretario

  
Ing. Deciderio Enrique Díaz Rubio

Vocal



CAMPUS CHICLAYO  
Carretera Chiclayo Pimentel Km. 3.5  
Telf.: (074) 481616 / Anexo: 6514

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

## DEDICATORIA

*Este proyecto dedico a mis padres por apoyarme siempre en el camino del bien. Asimismo, a todas las personas, amigos y familiares que conocen y fueron pieza fundamental para mi motivación en el desarrollo de esta investigación*

**Miguel**

## AGRADECIMIENTO

*A mi familia que siempre me apoyo.*

*A nuestra Universidad Cesar Vallejo Filial Chiclayo quien contribuyo a mi desarrollo profesional, a los docentes por impartirme conocimientos e instruirme en el método científico e investigación,*

**El Autor**

### DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

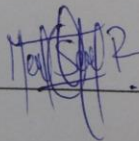
Yo, SEGURA REQUEJO MIGUEL, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, identificado con DNI 46611342, Con la tesis titulada **“DISEÑO DE ESTRUCTURA SOPORTE DE CÁMARA TERMOGRÁFICA DE UN DRONE-HEXAROTOR PARA OPTIMIZAR TIEMPO DE INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA-HERZAB-S.A.C”**

Declaro que:

- La tesis es veraz de mi propia autoría.
- He respetado las normas, el ISO para las referencias. Por tanto, este proyecto de tesis es totalmente autentica.
- En los procedimientos realizados no ha tenido un auto plagio; es decir, un duplicado de otras tesis.
- Los correspondientes datos de los resultados son verdaderos, acorde a la realidad investigativa.

De tal manera si se identificara alguna falta, auto plagio y falsedad, me someto a las normas establecidas vigentes de la Universidad Cesar Vallejo.

Chiclayo, Diciembre del 2018



DNI: 46611342

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del jurado, presento ante ustedes la tesis titulada “Diseño de estructura soporte de cámara termográfica de un Drone-Hexarotor para Optimizar Tiempo de Inspección de Sistemas de Distribución Eléctrica-Herzab-S.A.C”, con la finalidad de dar cumplimiento del Reglamento de grados y Títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el Título de Ingeniero Mecánico Electricista.

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

El Autor.

## ÍNDICE

ACTA DE SUSTENTACION:.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	v
PRESENTACIÓN.....	vi
ÍNDICE.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad Problemática.....	11
1.2. Trabajos Previos.....	15
1.3. Teorías Relacionadas al tema.....	20
1.4. Formulación del Problema.....	23
1.5. Justificación del Estudio.....	23
1.6. Hipótesis.....	24
1.7. Objetivos.....	24
D. Determinar el costo económico de la implementación del resultado de la investigación.....	25
II. MÉTODO.....	25
2.1. Diseño de Investigación.....	25
2.2. Variables, Operacionalización.....	25
2.2.1. Variables.....	25
2.2.2. Operacionalización de las Variables.....	268
2.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos, validez y confiabilidad.....	29
Técnicas.....	29

2.4. Métodos de Análisis de datos .....	30
2.5. Aspectos éticos .....	31
III. RESULTADOS.....	32
OBJETIVO 1. Diagnosticar la situación actual de los procesos de inspección realizados por la empresa Herzab S.A.C.....	32
OBJETIVO 2. Calcular los parámetros de diseño de la estructura soporte para un drone tipo hexarotor.....	37
OBJETIVO 3. Seleccionar los componentes electromecánicos que forman parte de un drone tipo hexarotor.....	47
La imagen es de una calculadora que permite determinar parámetros de operación de un drone hexarotor .....	66
OBJETIVO 4.- Determinar el costo económico de la implementación del resultado de la investigación .....	67
IV. DISCUSIÓN.....	72
V. CONCLUSIONES.....	73
VI. RECOMENDACIONES .....	74
REFERENCIAS .....	75
ANEXO .....	76
ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	77
AUTORIZACION DE PUBLICACION DEL TRABAJO DE INVESTIGACION EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL.....	78
AUTORIZACION DE LA VERSION FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	79



## RESUMEN

Las inspecciones en los sistemas de distribución eléctrica son fundamentales para el diagnóstico de fallas y posteriores correcciones evitando cortes de energía y penalizaciones, es por ello que se tiene mucho énfasis en este tema y por tal motivo el coste de inspección es elevado tanto en el uso de recursos y mano de obra, siendo este último no muy eficiente ya que el trabajador se expone a diferentes riesgos en el recorrido y la exposición a estos componentes del sistema de distribución de tal manera en la búsqueda de optimizar estos procesos se propone el presente trabajo de investigación titulado “Diseño de estructura soporte de cámara termográfica de un Drone-Hexarotor para Optimizar Tiempo de Inspección de Sistemas de Distribución Eléctrica-Herzab-S.A.C” donde irá montando una cámara termografía para poder monitorear zonas de difícil acceso evitando así que el personal de mantenimiento se exponga directamente al contacto con los componentes cargados de electricidad reduciendo el tiempo y teniendo un registro de imágenes termografías y fotos aéreas para posteriores informes .

Para el diseño y la simulación de la estructura multifuncional se realizará en el software Solidworks, para la telemetría y programación del hexarotor será en el software DJI Nasa v2.

**Palabras claves:** Tiempo de inspección, Drone hexarotor, Solidworks.

## ABSTRACT

The inspections in the electrical distribution systems are fundamental for the diagnosis of failures and subsequent corrections avoiding power cuts and penalties, which is why there is a lot of emphasis in this topic and for this reason the cost of inspection is high both in the use of resources and labor, the latter being not very efficient since the worker is exposed to different risks in the route and exposure to these components of the distribution system in such a way in the search to optimize these processes is proposed this work of research entitled "Design of the support structure of a thermographic camera of a Drone-Hexarotor to Optimize Time of Inspection of Electrical Distribution Systems- Herzab-SAC" where a thermography camera will be mounted to monitor areas of difficult access, preventing the personnel from maintenance is directly exposed to contact with the charged components of the electricity by reducing time and having a record of images, thermographs and aerial photos for later reports.

For the design and simulation of the multifunctional structure will be made in the software SolidWorks, for the telemetry and programming of the hexarotor will be in the software DJI Nasa v2.

**Keywords:** Inspection time, hexarrotor Drone, SolidWorks.

## I. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. Realidad Problemática.

#### 1.1.1. Realidad Problemática Internacional

Las investigaciones a nivel mundial y los muchos estudios donde los autores llegaron a concluir que el 80 % de todas las interrupciones se producen por problemas en los sistemas de distribución eléctrica (“Determining the Locations of Faults in Distribution Systems”, 1998).

La confiabilidad en los sistemas de distribución eléctrica es casi inevitable que suceda alguna interrupción en la prestación de servicio por problemas en las líneas conductoras. Las fallas más comunes son por lluvias, rayos, fallas en aisladores y por corto circuitos causado por animales, plantas, por corrosión y salinidad en los conductores

Por tal motivo la confiabilidad del servicio de distribución eléctrica va a depender del su rápida aislación, corrección y reincorporación del servicio eléctrico.

La forma más común de encontrar un problema es por medio de la inspección visual, por lo tanto esta demanda de mayor tiempo y necesita de un número mayor de técnicos que realizan este trabajo (“Localización de Faltas en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica usando Métodos Basados en el Modelo y Métodos Basados en el Conocimiento” , 2006).



**Imágen 1** . visual inspection of insulators

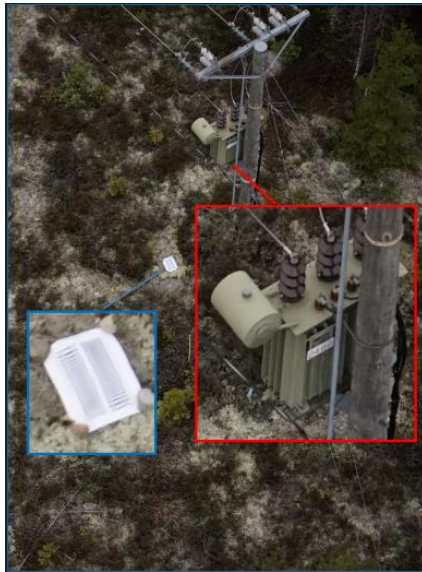
Finnish Energy Industries y Sharper Shape incorporaron drones con sensores avanzados como parte de la investigación en sistemas de electricidad el helicóptero robótico está equipado con un escáner láser, cámaras y sistemas de seguridad de la aviación y tiene la capacidad para vuelos de inspección de larga distancia BVLOS (Beyond Visual Line of Sight). El escáner láser mapea el terreno y forma un modelo 3D preciso de los componentes de la red eléctrica, así como de los edificios circundantes, el bosque y la vegetación.



**Imágen 2.** Imágenes de un estudio de caso de aviones no tripulados para inspecciones de líneas eléctricas en las líneas de que distribuyen la energía en 20 kV. Finlandia

El propósito del estudio fue demostrar la viabilidad técnica y costo-eficiencia de las inspecciones basadas en drones a la industria eléctrica. Los drones permiten reunir los datos necesarios para identificar y mitigar los riesgos en la distribución de energía por adelantado.

De acuerdo con los resultados del estudio, los drones pueden ser un método eficiente y económico para realizar vuelos de inspección para el mantenimiento de la red eléctrica. El equipo de pruebas ha estimado que el 50% de las reducciones en los costos de inspección aérea son alcanzables usando aviones no tripulados. Todavía se necesita algún desarrollo técnico y regulatorio adicional para permitir operaciones regulares rápidas y fáciles.



**Imágen 3 (sector electricidad) Drones para inspecciones electricas 2017**

### **1.1.2. Realidad Problemática Nacional**

La inspección en el territorio nacional consiste en una serie de acciones y procedimientos que tienen como fin conservar y mantener el estado óptimo de funcionamiento de los diferentes sistemas de distribución eléctrica donde se inspecciona y se evalúa el estado y luego documenta en informes.

Es muy importante la ejecución de acciones predictivas, preventivas para prolongar la vida útil del sistema.



**Imágen 4(Foto: Archivo/VANGUARDIA LIBERAL )**

El servicio se aplica al conjunto de componentes que conforman una línea de transmisión tales como estructuras y soportes metálicos (torres de energía eléctrica), cables y alambres, elementos de sujeción, aisladores, amortiguadores, separadores de línea, contrapesos o puestas a tierra, etc. Así como también a líneas de distribución primaria, sistemas de utilización y sus componentes como lo son; postes y torres, cables y alambres de acero, elementos de sujeción, aisladores, retenidas y puestas a tierra.

Los resultados esperados son restablecer y mantener las óptimas condiciones de funcionamiento de las redes intervenidas a fin de minimizar las reparaciones por emergencias maximizando su disponibilidad y la vida útil de los mismos, los cuales propinan beneficios muy significativos tanto la confiabilidad en el sistema y disminución de costos aumentando la seguridad y evitando los cortes de energía y con esto se prolonga la vida útil de dichas redes eléctricas.

Conocer el estado de funcionamiento de las redes eléctricas y de sus principales componentes y accesorios de protección, ejecutando el mantenimiento general e integral ya sea del tipo predictivo, preventivo o correctivo, sabiendo que sus componentes electromecánicos se van degenerando a lo largo de la vida útil y su mantenimiento ayuda a disminuir el riesgo de fallas inesperadas, aumenta la vida útil del sistema en general, otorga mejores condiciones para el suministro eléctrico, mejora la confiabilidad en su funcionamiento.

Verificar el estado de operatividad del sistema y sus accesorios, debe ser de manera estricta donde se debe cumplir con los procedimientos de seguridad y medio ambiente sin olvidar las normativas técnicas nacionales e internacionales.

Satisfacer las necesidades del cliente, cumpliendo con los cronogramas de trabajo y los objetivos del servicio, procurando el cuidado del medio ambiente, de sus instalaciones y la integridad física del personal que interviene directa e indirectamente en su desarrollo de los servicios.



### **1.1.3. Realidad Problemática Local**

En la región Lambayeque las inspecciones a sistemas de distribución eléctrica siguen siendo de una manera tradicional y aun no se ha desarrollado una investigación donde se utilice una aeronave pilotada a distancia para optimizar el tiempo de inspección visual en zonas de difícil acceso, documentación de sitios arqueológicos, levantamientos topográficos, detección de puntos calientes en empalmes de líneas de transmisión, recolección de parámetros ambientales como (temperatura, humedad, calidad de aire, concentración de monóxido de carbono, radiación uv), etc.

## **1.2. Trabajos Previos.**

Según Manuel Burgers Oñate en su proyecto, **MODELADO, SIMULACIÓN Y CONTROL DE VEHÍCULO HEXAROTOR**, para este proyecto fue necesario familiarizarse con él con el controlador de vuelo PX4 Autopilot y con el proyecto Ardupilot, para así poder programarlo y editar el código según fuese necesario. Para ello se ha usado un editor de texto, la cadena de herramientas del PX4 para programar el controlador y el programa Mission Planner para editar los parámetros de vuelo.

Además, ha sido necesario configurar el sensor de flujo óptico, conectándolo con el controlador y configurándolo para su correcto funcionamiento.

Una vez vinculado al controlador de vuelo y su programación, se ha realizado un modelo dinámico. Para ello se ha hecho uso de las leyes de Newton, y posteriormente se hicieron mediante el método experimental en un banco de pruebas en el interior del laboratorio, como diferentes pruebas de parámetros en el exterior sin ninguna restricción en su movimiento. Este análisis es necesario para determinar los parámetros del sistema y su posterior simulación en diferentes softwares como MATLAB Simulink.

El control del hexarotor está estructurado en tres niveles anidados: estabilización, altura y traslación. Estos controladores son de tipo PID (proporcional, integral, derivativo), y ha sido necesaria una sincronización para su correcto funcionamiento.

Para el diseño de materialización se realizan los cálculos aerodinámicos para delimitar la potencia que requiera en los motores, por tal motivo se comparan 2 teorías fundamentales una es la de cantidad de movimiento y la de diseño de la propeller o hélices, al final del estudio se concluyó que por rotor requería una potencia de 614.64w. Para poder alcanzar se necesitó hasta 6 baterías LiPo de 5000mAh de capacidad y 6 celdas para obtener una tensión (V) de salida de 22,2 V. mediante esta disposición se obtuvo un vuelo estable sin peso extra de 40 min. Para asegurar la resistencia de la estructura, esta analizada mediante elementos finitos en donde se calcula el coeficiente de seguridad del elemento crítico para asegurar la resistencia mecánica del equipo.

En conclusión, este proyecto ha cumplido con todos los objetivos propuestos donde, partiendo de cero se ha construido un hexacoptero con una capacidad de carga de 5kg y una autonomía máxima de 40 min de carga.

A la amplia gama de utilidades de las aeronaves no tripuladas llega las inspecciones de sistemas eléctricos. La empresa Arborea intellbird dentro de sus instalaciones del parque científico de la universidad de salamanca. Acaba de ganar la concesión para poder emplear aeronaves no tripuladas en las redes eléctricas de España con más de 4000 km de tendido en alta tensión, han apostado por esta empresa para suministrar una nueva tecnología de innovación al haber finalizado una exhaustiva evaluación con diferentes aeronaves esto informo la empresa DiCYT. Esto conforma un programa de adaptación de las nuevas tecnologías que al buscar



ingresar a un nuevo proceso de inspección más seguro, eficiente y más económico que los métodos convencionales. De los cuales el personal técnico debía subir en un helicóptero tripulado.

A su proyecto la empresa lo denominó Aracnoptero, que desarrolló Arboleda “este proyecto se diseñó con el realizar inspecciones de tendidos eléctricos generando mayor eficiencia y seguridad, incluso puede volar bajo una tormenta” así mismo comentó que tiene brazos intercambiables para trabajar de mejor manera en condiciones meteorológicas y cuenta con una serie de sensores capaces de obtener imágenes termográficas en simultáneo de muy buena resolución, como mapeos en 3d y maniobras automáticas sobre estas líneas así lo indicó el fundador de la empresa, Carlos Bernabéu.

En este caso la empresa Unión Fenosa, en una entrevista dijo que ya tienen más de un año realizando inspecciones con vehículos aéreos no tripulados como un sistema de respaldo en las inspecciones de tendidos eléctricos.

Estas aeronaves completan el trabajo de los técnicos de mantenimiento ya que con este sistema se puede lograr colocar de manera más precisa posibles fallas en los sistemas eléctricos donde la empresa logró inspeccionar más de 550 km de tendido eléctrico en la provincia de Castellano, en otras zonas llegó hasta 1000 km de recorrido.

El personal que pilota la aeronave lo conforman 2 personas, dentro de los cuales uno es el piloto certificado que es el que hace las maniobras y el otro es un operador que se encarga de procesar la información recopilada en un ordenador.

La unión entre los vehículos aéreos no tripulados y las impresoras 3d es muy vinculada, es por ellos que Phone-Drone, J.D Claridge y Charles Manning, han desarrollado unos kits pre fabricados y muy fáciles de ensamblar, estos son relativamente muy económicos, a su vez viene con todos los archivos para poder imprimirlos en una 3d para que sus clientes puedan hacer su Phone-Drone.

Estos kits tienen todo lo necesario tanto como la parte electrónica, sus tarjetas de control, rotores, y más y sus modelos en 3d para ser. Ellos también diseñaron cada uno de sus componentes del chasis para que sea compatible con todas las impresoras 3d con unas medidas de aproximadamente 15 cm.

Esta empresa también tiene como fin brindar varios modelos que puedas construir tú mismo o adquirir el kit de ensamblado y viene con cierta utilidad como una

cámara sport es una muy buena competencia para la barra de selfie, es un muy elevado para los más pequeñines de la casa y cuenta con una transmisión en tiempo real mediante una app.

A poco de terminar su campaña la empresa logro recaudar aproximadamente 250.000 dólares para producir sus drones.



**Imágen 5 fuente 3ders.org**

### **1.2.1. Nacional**

Heser Harold Leon Reyes en su tesis denominada “diseño de hexacoptero autónomo para mantenimiento en líneas eléctricas” nos garantiza que el usuario tenga un servicio de calidad evitando la interrupcion del servicio por parte del consecionario de electricidad, el trabajo lo realizo con cámaras termograficas o de efecto corona que didentifican fallos inminentes por la corrision o tierra.

En esta investigación comentaban los autores que los tendidos eléctricos recorren grades extensiones de terreno hasta zonas sin accesibilidad desde la tierra, es por ello que en las inspecciones se llevan se utilizan helicópteros y vehículos todo terreno, esta forma hace que el costo sea muy elevado, y el tiempo de inspección aumenta teniendo en cuenta que se tiene que recorrer miles de kilómetros, hoy en día las aeronaves no tripuladas llegaron para facilitarnos el trabajo.

Es su investigación el autor nos comenta que utilizo una aeronave no tripulada para el mantenimiento predictivo basado en termografía en sistemas de distribución de media tensión, siendo más rápida y sencilla a su vez mucho más segura que de la manera tradicional , el autor desarrollo un hexacopter autónomo donde le incorporo una cámara termográfica para identificar puntos calientes y una cámara de profundidad para evitar obstáculos y así poder estar a la distancia deseada logrando recorrer la línea de manera autónoma y puede recorrer hasta 30km siendo muy versátil ya que se mantiene a la distancia programada y esto resulta menos costoso que utilizar un helicóptero el autor también concluyo con lo siguiente:

- Se logró diseñar un sistema para llevar a cabo la inspección de líneas eléctricas autónomamente a una distancia segura de estas, recorriéndolas hasta por 12.384 km, Además, se ha conseguido contar con un sistema que apoyaría a realizar un mantenimiento predictivo más rápido (comparado con los métodos convencionales). Esto se debe a que se ha desarrollado un algoritmo que le permitiría al sistema inspeccionar líneas y seguirlas simultáneamente mientras viaja a 30km/h, no superando los 55km/h de restricción.
- Los componentes seleccionados le darían la capacidad al UAV de recibir y transmitir datos a una computadora externa (puerto ethernet), almacenar datos (kit de desarrollo de software), ubicarse en todo momento (GPS), realizar el procesamiento de las imágenes de profundidad y termográfica (kit de desarrollo de software), y tener un vuelo estable (controlador de vuelo).
  - Se han diseñado componentes mecánicos que, a pesar de ser ligeros, resistirían satisfactoriamente las fuerzas que se ejercen sobre estos (véase simulaciones y cálculos en Anexo 3). Para lograr esto se utilizó materiales de baja densidad, pero de gran resistencia como la fibra de carbono y el policarbonato.
  - Se ha logrado simplificar y a la vez desarrollar una propuesta más económica (costo total de \$27,784.58) para el mantenimiento predictivo en líneas de alta y media tensión. Lo anterior debido a que, mediante el uso de este sistema, ya no se precisan de helicópteros o vehículos todo terreno para llegar a terrenos de difícil acceso, o la contratación de mano de obra especializada para cada vez que se precise realizar un mantenimiento predictivo.

### **1.2.2. Regional**

Después de la investigación realizada con respecto a trabajos previos realizados a nivel regional y local cabe mencionar que no se encontró investigación relacionada al tema de estudio.

### 1.2.3. Local

Después de la investigación realizada con respecto a trabajos previos realizados a nivel regional y local cabe mencionar que no se encontró investigación relacionada al tema de estudio.

## 1.3. Teorías Relacionadas al tema

### 1.3.1. MOVIMIENTOS DE UN HEXAROTOR

Durante el desplazamiento de un cuerpo rígido puede tener una descomposición del movimiento de traslación de un punto arbitrario fijo al cuerpo rígido, y el movimiento de rotación del cuerpo rígido respecto de ese punto. La ecuación dinámica de un cuerpo rígido puede ser representado por 2 ecuaciones, la primera determina su movimiento de traslación del centro de masa y la segunda el movimiento de rotación. Siendo esta la ecuación de Newton que describe el movimiento de masa y la segunda manera es la ecuación de movimiento de Euler.

Los movimientos de un hexacopter multirrotor son ascendente, descendente, izquierda, derecha, adelante y atrás, para estos movimientos

El hexacopter aumenta o disminuye el caudal de aire que produce sus motores según la figura siguiente demuestra el giro de cada uno de los motores.

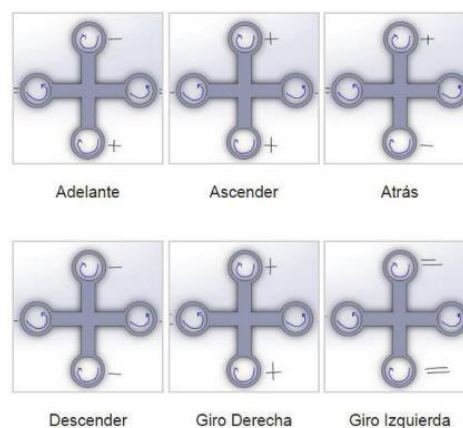
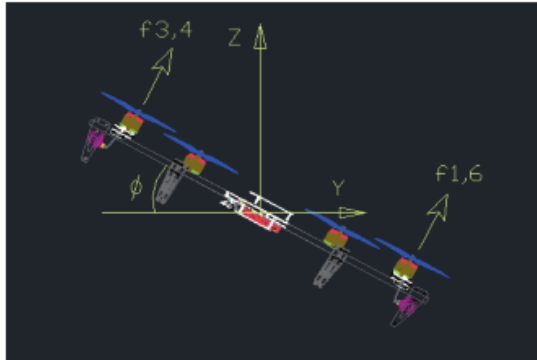


Imagen 6 (Benavides, y otros, 2010)

### 1.3.2. CINEMÁTICA DE UNA AERONAVE NO TRIPULADA

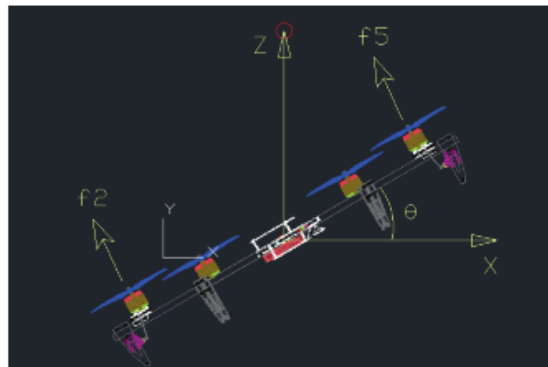
Movimientos de alabeo (Roll)

El siguiente movimiento permite a la aeronave no tripulada realizar movimientos de izquierda o derecha esto lo define el ángulo de giro( $\phi$ )



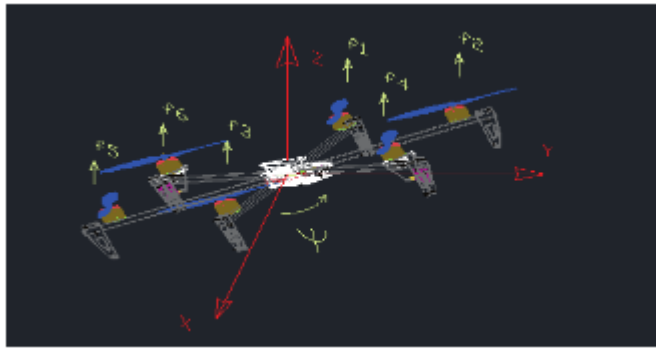
Movimiento de cabeceo (Pitch)

Este tipo de movimiento permite a la aeronave realizar movimiento hacia adelante o atrás y también lo define el ángulo de giro( $\theta$ )



Movimiento Yaw

Este movimiento permite a la aeronave no tripulada rotar sobre su propio eje este movimiento define ( $\Psi$ )



### 1.3.3. ANÁLISIS AERODINÁMICO DE UN HEXAROTOR

La potencia necesaria para que el hexarotor pueda suspenderse en vuelo se rige mediante dos teorías aerodinámicas fundamentales:

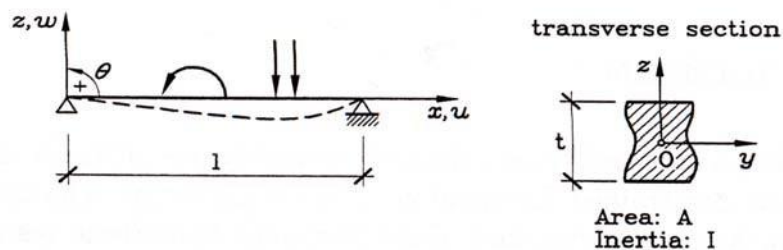
#### 1) Teoría de Cantidad de Movimiento.

Cada motor del hexarotor genera un impulso hacia arriba por el desplazamiento del flujo de aire hacia abajo a través del giro de las hélices. La unión entre el impulso que genera el motor y la velocidad de comunicación al aire se puede determinar según la ley de Newton en la ley de la conservación –masa, esta teoría es muy usada en empuje de helicópteros

Si uno conoce el impulso entonces utilizamos la siguiente:

#### 2) Teoría de viga de Euler Bernoulli.

La teoría de Euler Bernoulli muestra el análisis de una viga que tiene como esfuerzos no de tracción, compresión y flexión el cual se obtiene el cálculo mediante los momentos y el punto de inercia



#### **1.4. Formulación del Problema**

¿Cómo optimizaría el tiempo de inspección en sistemas de distribución eléctrica si se realizara el diseño de una estructura soporte de cámara termografía para un drone-hexarotor?

#### **1.5. Justificación del Estudio.**

Las fallas de los sistemas a través del tiempo siempre han existido por la complejidad de los activos, la estrategia de lograr otras maneras de tanto económicas, técnicas que conlleven a disminuir de una forma total o parcial y con la finalidad de garantizar el suministro de energía eléctrica de forma continua en la generación, transmisión y distribución se emplea en mantenimiento predictivo, las empresas tienen muy en claro esto ya que se puede optimizar el servicio, evitando cortes de energía y penalizaciones para el concesionario eléctrico.

#### **JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

esta investigación se justifica porque desarrolla un ambiente multidisciplinario, fomentando la investigación científica y tecnológica en el departamento de Lambayeque.

A su vez se desarrollará el diseño y construcción de una aeronave no tripulada tipo hexarotor que me sirva para:

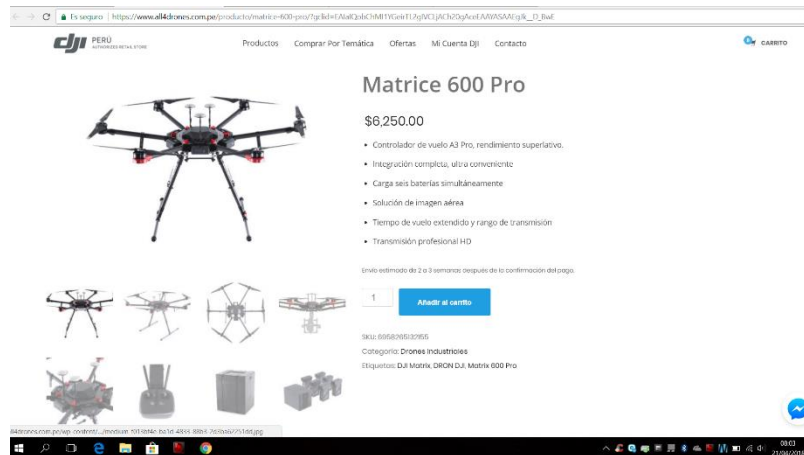
**SOCIAL** esta investigación permitirá enfocar sus hexarotores con cámara termografía para diagnosticar puntos calientes en sistemas de distribución eléctrica evitando así caídas de la línea, cortes de energía y penalizaciones a la empresa

Al contar con una cámara termográfica se puede brindar un servicio a la sociedad frente a un desastre natural, identificando posibles víctimas atrapadas entre escombros poniendo sus aeronaves a un bien común.

**AMBIENTAL** el soporte para la cámara termográfica se fabricará de un polímero biodegradable PLA evitando utilizar plásticos derivados del petróleo, a su vez el hexarotor permitirá incluirle sensores para monitorear parámetros ambientales usando variables relevantes como (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>), Temperatura relativa, humedad, calidad de aire, monóxido de carbono.

En el aspecto **ECONÓMICO**, esta investigación será posible monitorear los sistemas de distribución eléctrica, sin necesidad de ingresar al área donde se desea estudiar evitando pérdidas de tiempo permisos a personas y zonas de difícil acceso.

Y al finalizar se realizará un análisis económico del diseño y construcción de una aeronave no tripulada tipo hexarotor ya que uno la marca dji puede llegar a costar hasta 6,250.00 dólares.



Imágen 7 fuente dji

## 1.6. Hipótesis.

Con el diseño de una estructura soporte de cámara termográfica de un drone-hexarotor permite optimizar el tiempo de inspección de sistemas de distribución eléctrica

## 1.7. Objetivos.

### 1.7.1 Objetivo General

Diseñar Estructura soporte de cámara termográfica de un Drone-Hexarotor para Optimizar el Tiempo de Inspección de Sistemas de Distribución Eléctrica-Herzab-S.A.C



## 1.7.2 Objetivos Específicos

- A. Diagnosticar la situación actual de los procesos de inspección realizados por la empresa Herzab S.A.C.
- B. Calcular los parámetros de diseño de la estructura soporte, para seleccionar los componentes de la misma.
- C. Seleccionar los componentes electromecánicos que forman parte de un drone tipo hexarotor.
- D. Determinar el costo económico de la implementación del resultado de la investigación.

## II. MÉTODO.

### 2.1. Diseño de Investigación.

La presente investigación tiene como siguiente tipo:

**Experimental**, porque vamos a obtener resultados a partir de pruebas en campo mediante guías de observación.

### 2.2. Variables, Operacionalización.

#### 2.2.1. Variables

- **Variable independiente:**
- Diseño de una estructura soporte para cámara termografica
- **Variable dependiente:**
- Optimizar el tiempo de inspección en sistemas de distribución eléctrica.



**Población y muestra.** No aplica

## **2.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.3.1. Técnicas de Recolección de Datos:**

#### **Técnicas**

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos se basarán en la guía de observación y se tomarán parámetros bajo diferentes regímenes tanto de capacidad de carga y autonomía de vuelo del hexarotor.

En esta investigación utilizare técnicas fundamentales realizadas y validadas:

#### **a.) Observación**

- Observar el comportamiento del hexarotor experimentalmente en vuelo.
- Tomar datos de variables dependiente

### **2.3.2. Instrumentos de Recolección de Datos:**

En la siguiente investigación se utilizarán los siguientes instrumentos para la recolección de datos:

#### **a.) Entrevistas:**

Se realizará entrevistas a:

- I. Ingenieros Mecánicos Electricistas especialistas en líneas de trasmisión.
- II. Técnicos especialistas en mantenimiento e inspección de líneas de trasmisión.

III. Ingenieros y técnicos especialistas en sistemas de distribución eléctrica.

**b.) Guía de observación:**

En primer lugar, se ingresará diferentes cargas al hexarotor y se Monitoreará el comportamiento del mismo. Comprobando estabilidad, (landing, return the home) y los modos de vuelo (posición, ati, manual)

**2.3.3. Validez y Confiabilidad**

**Validez**

La validez de los instrumentos será dada por la aprobación y juicio de expertos en la especialización, se registra cada instrumento con la firma de un especialista sobre los datos que se requiera recoger con dicho instrumento.

**Confiabilidad**

La confiabilidad de los instrumentos será dada por el llenado de las fichas con registros gráficos.

**2.4. Métodos de Análisis de datos**

Para el análisis de los diferentes datos obtenidos se empleará estadística descriptiva, la cual ayuda para analizar el procedimiento de la variable dependiente.

El siguiente método que se utilizará en este proyecto es el método deductivo, ya que el resultado de lo que queremos lograr se halla implícitamente en las premisas que se puedan alcanzar.

Estos métodos nos permitirán que el análisis e interpretación de datos y resultados de la información sean a través de cuadros, gráficos, tablas, esquemas, y planos de ser el caso.

## **2.5. Aspectos éticos**

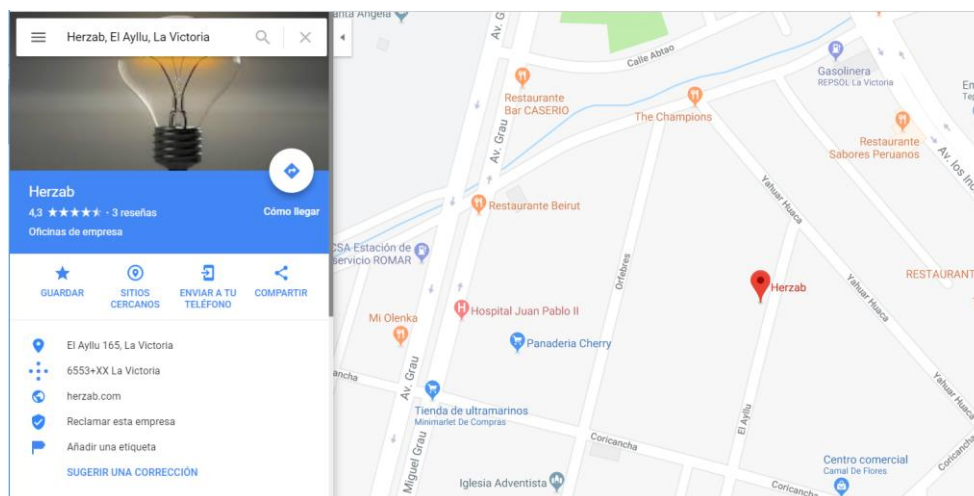
El proyecto de investigación se desarrollara manteniendo la veracidad de los valores que se obtengan sin ser alterado mediante el análisis estadístico, el investigador se compromete a respetar los reglamentos del hospital respetando la privacidad de los participantes que no requieran ser involucrados y registrando los aportes de sus autores, se consideran los criterios de ética del Colegio de Ingenieros del Perú que en su código tecnológico y de ética establece que los ingenieros serán objetivos y veraces en sus informes y declaración o testimonios profesionales, así como que se esforzaran por ampliar el conocimiento del publico acerca de la ingeniería y de los servicios a la sociedad.

### III. RESULTADOS.

#### OBJETIVO 1. Diagnosticar la situación actual de los procesos de inspección realizados por la empresa Herzab S.A.C.

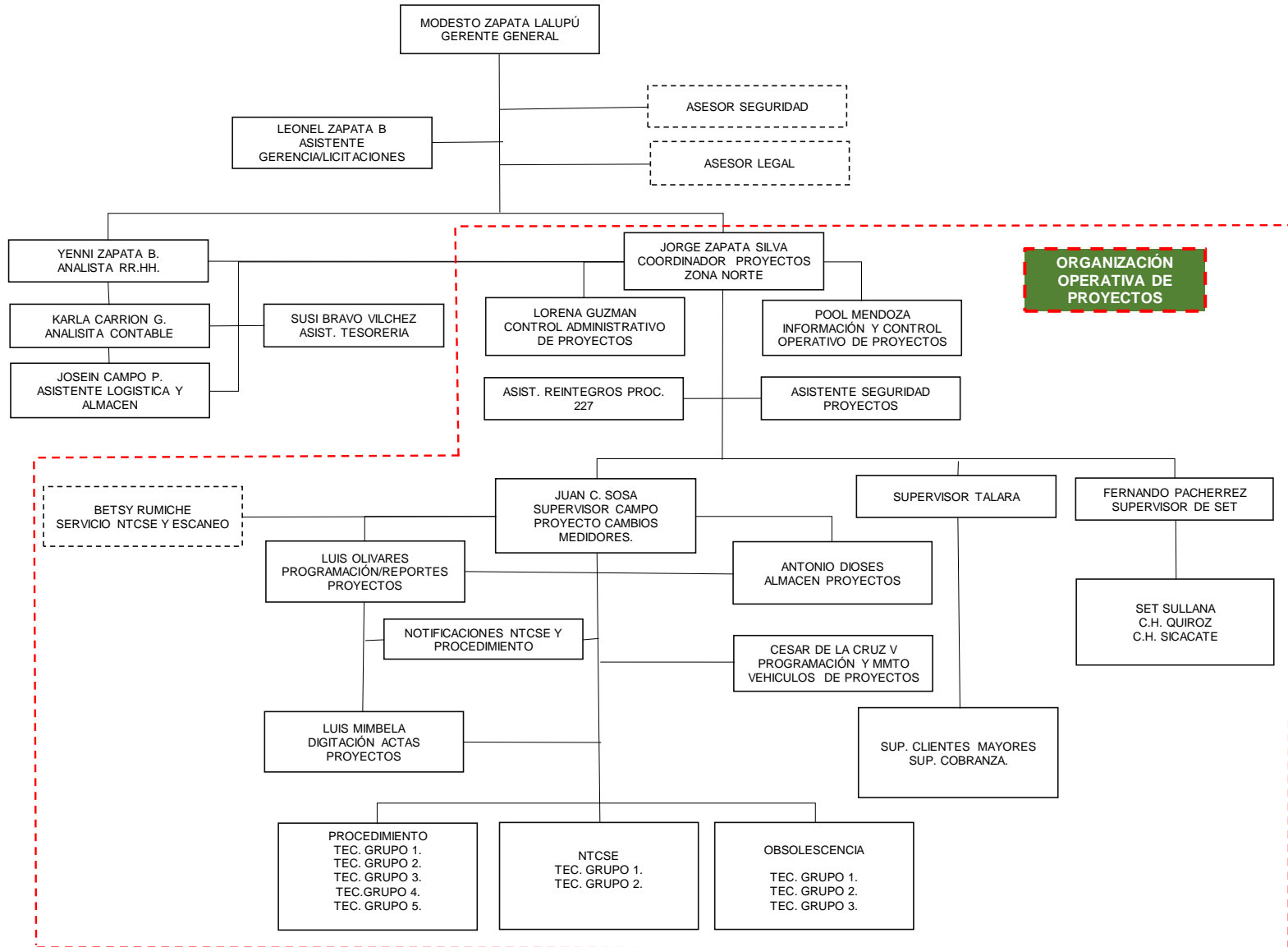
a) Marco general de la empresa.

La empresa Herzab S.A.C está ubicada geográficamente en el departamento de Lambayeque, en el distrito de la victoria en la calle el Ayllu #165 Chiclayo, una empresa dedicada al rubro de la electricidad en todas las fases del proyecto eléctrico dentro de ellas la inspección de sistemas de media y baja tensión, transformadores, cutados, aisladores, etc.



b) **Descripción de la empresa:** Las operaciones de la empresa se basan en las instalaciones eléctricas residenciales, montaje de infraestructura eléctrica en media y baja tensión, control y monitoreo de redes en media y baja tensión, operación de subestaciones de potencia y minicentrales, alquiler de camionetas, retroexcavadora y grúa, entre otros, solicitados por los encargados de ejecutar proyectos eléctricos, es decir, la empresa se presenta a determinadas convocatorias o licitaciones donde se haga necesaria el uso de los servicios anteriormente mencionados, de manera que HERZAB S.A.C. elabora el expediente técnico de acuerdo a los requisitos impuestos, para luego presentarse, ya sea ante el sector privado como público.

**ORGANIZACIÓN HERZAB 2018 (TRIM IV) -2019**



c) **Descripción de los procesos de inspección**

Las tecnologías existentes para mantenimientos eléctricos durante el tiempo de existencia de las redes eléctricas el método más común para la revisión de las líneas eléctricas es el chequeo manual, este se hace por cuadrillas de dos o más recursos dependiendo de los terrenos, formas de acceso y niveles de seguridad.



**Imágen 8 Ejecución de revisión de Torre eléctrica**

“Imagen 9”, ejecución de revisión de un sistema de distribución eléctrica por personal especializado.

Una cuadrilla de revisión puede revisar entre 4 a 5 subestaciones por día dependiendo de la distancia y el terreno de acceso a la estas estén ubicadas, la forma de revisión se realiza escalando en poste y realizando las conexiones necesarias con el fin de proteger al revisor con el fin de que no corra ningún peligro, la forma alterna de acceso es llevar al revisor por medios aéreos y depositarlo en la torre con el fin de realizar las revisiones necesarias, estos métodos aunque manuales son muy efectivos y los únicos utilizados para realizar los diferentes tipos de revisiones y mantenimientos. Este método permite que se cubran áreas de manera efectiva, pero en terrenos con algún tipo de acceso difícil sea por el área de acceso o en nuestro país por el factor de seguridad, según fue consultado con personal especializado en este tipo de trabajos estos factores pueden presentar una problemática que genera que algunas torres no sean revisadas en una cantidad de tiempo importante.





**Imágen 9 Inspección de transformadores.**

Según las observaciones realizadas por encuestas de elaboración propia al Gerente General de la empresa Herzab S.A.C toda labor de este tipo debe ser realizada por personas con formación especializada y experiencia, con suficientes conocimientos en el uso de técnicas verticales y utilización de sistemas de protección de ascenso.” Como se puede ver por los comentarios del experto son muchos los riesgos que pueden afectar este tipo de labor que realizas día a día los profesionales en este tipo de trabajo.

El Gerente dice que el primero “se aplica en terreno y en las fábricas para controlar espesores de galvanizado o de capa de óxido y, mediante esos controles, inspeccionar el grado de corrosión de las torres”, mientras que los métodos electroquímicos se usan más bien como control en fábrica, para aprobar o rechazar el proceso de galvanización”.

Dentro de los desafíos, el ingeniero de mantenimiento de la empresa Herzab S.A.C nos comenta la necesidad de tener un buen manejo de la información respecto de las mediciones realizadas en los elementos distribución eléctrica, incluyendo el detalle de los elementos inspeccionados, espesores registrados y la fecha de las mediciones”.

Así mismo menciona que se deben realizar inspecciones “cada vez más instrumentadas, además de tener análisis de bases de datos asociadas a los registros de inspección de toda la industria y la generación de mapas con zonas potenciales de corrosión adaptables al desarrollo industrial y cambios climáticos”.

“Asimismo, se hace prioritario el uso de plataformas de gestión de la información que permitan organizarla de manera adecuada, realizar análisis de manera rápida y eficiente, generar reportes del estado actual y predicciones en el tiempo, y permitir el escalamiento

de la información a los profesionales correspondientes, todo con el objetivo de poder tomar decisiones bien informadas y en el momento oportuno”.

Según El ingeniero de mantenimiento la sola inspección visual puede resultar engañosa ya que no siempre refleja el real estado de conservación del material, y el estado de los componentes a inspeccionar puesto que la inspección es el recorrido de la línea desde el suelo y el tiempo que demanda esta inspección en zonas rurales es elevado donde aproximada recorre 4km por día de trabajo.

Puesto que genera pérdidas de tiempo ya que las líneas pasan por sitios de difícil acceso, cerros propiedades privadas, y el técnico se expone a muchos peligros al momento de recorrer la línea.

Con esos datos se tomo como muestra la inspecciona la sub estacion que se encuentra en la zona de pozoz motupe donde la distancia desde la carretera hasta la sub estacion es de aproximadamente 392m el cual pasa por parcelas de terreno y fabricas agroexportadoras es por ello que el ingreso a las fabricas es dificil y tedioso .



**Imágen 10 Distancia entre la línea a la sub estación**

**OBJETIVO 2. Calcular los parámetros de diseño de la estructura soporte para un drone tipo hexarotor.**

En este objetivo diseñaremos una estructura soporte para una cámara termográfica de la marca Flir C3 con una masa de 132g. (0,132 Kg)



**Imagen 11 Cámara termográfica**

En la imagen siguiente se propone el diseño del soporte que va anclada a la parte superior del tren de aterrizaje y la inferior del frame del hexarotor.

Para diseñar ese soporte se debe de tener en cuenta lo siguiente:

**A Material:** El soporte para la cámara termográfica debe resistir una fuerza de 1.5 Newton ya que la masa de la cámara es de 132g.

**A.1.Eco amigable con el medio ambiente:**

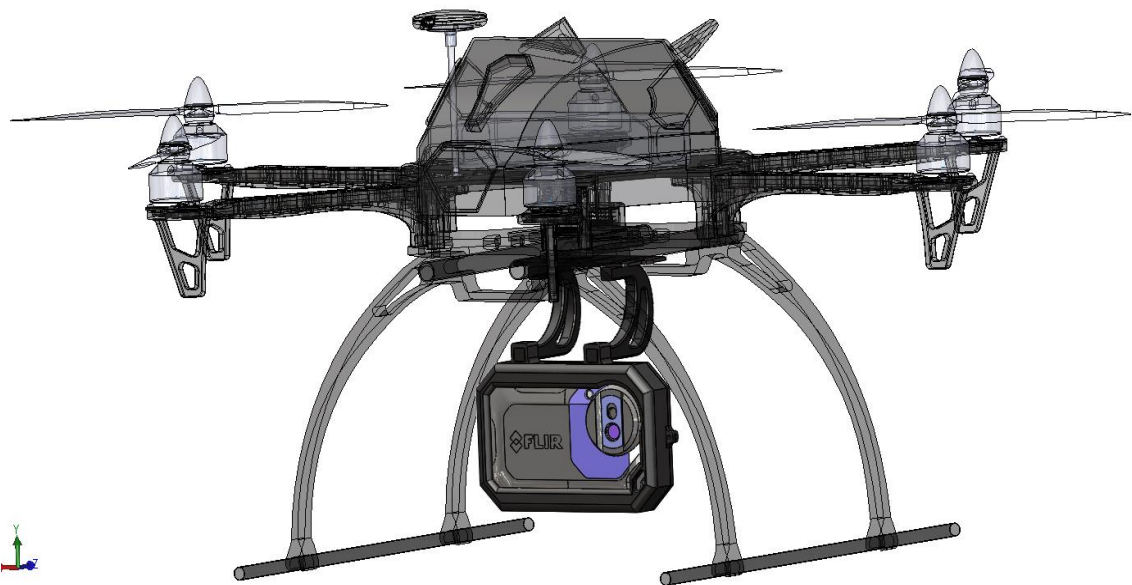
El material debe ser fácil de imprimir y se debe adherir de manera muy buena entre cada una de las capas, es por ello que se eligió el PLA (Ácido Poliláctico) este tipo de material nos entrega grandes prestaciones para las impresoras 3d como la de no emanar olores tóxicos, y tener muy bajas deformaciones como que la ved necesita menor temperatura en relación a otros filamentos.

El filamento PLA (Ácido Poliláctico) además de ser ecológico es biodegradable ya que se compone de féculas de maíz y su fabricación requiere menor energía

– Densidad:	1,25 g/cm <sup>3</sup>
– Módulo de elasticidad (Young):	3,5 GPa
– Elongación a la rotura:	6%
– Módulo de flexión:	4 GPa
– Resistencia a la flexión: 80 MPa	80 MPa
– Temperatura de transición vítrea:	60°C
– Temperatura de deflexión del calor (a 455 kPa):	65°C
– Comienzo de fusión:	160°C
– Módulo de corte:	2,4 GPa
– Capacidad calorífica específica:	1800 J/kg-K
– Relación fuerza-peso:	40 kN-m/kg
– Resistencia a la tracción:	50 MPa
– Conductividad térmica:	0,13 W/m-K

Tabla 1fuente: <http://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide/>

En la siguiente imagen se muestra un prospecto donde va montado el soporte de cámara termográfica.

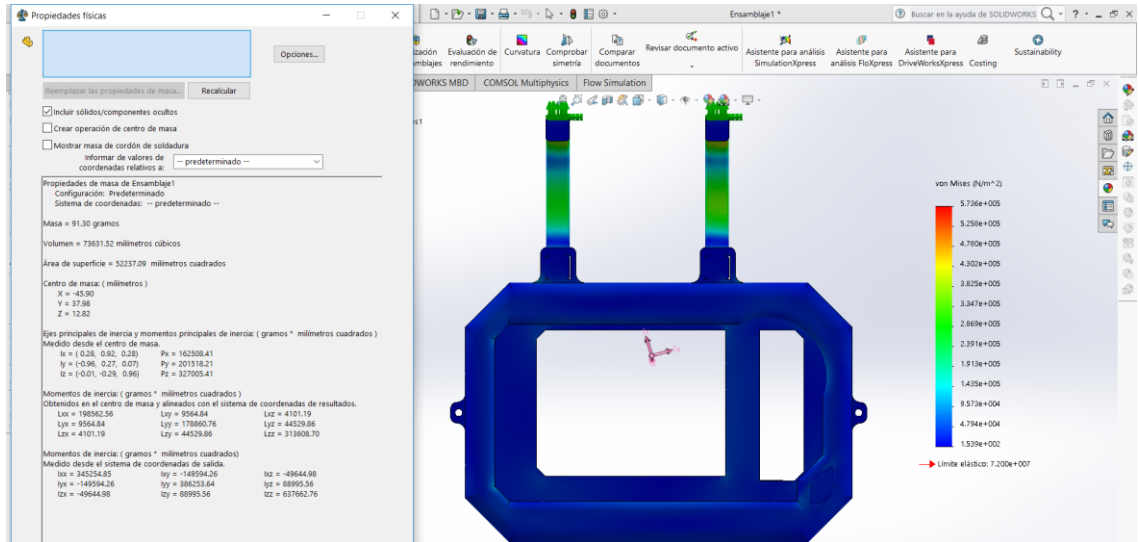


**Imágen 12 Montaje de soporte para cámara termográfica (Elavoración propia)**

## B Aspecto Mecánicos:

B.1. Para facilitar el estudio se analizó todo el ensamblaje tanto las tensiones como los desplazamientos.

Para el aspecto mecánico, la resistencia a deformaciones por tracción y el módulo de elasticidad de este material ácido poli láctico (PLA) es de densidad muy baja



Imágen 13 Simulación Propiedades mecánicas

Masa = 91.30 gramos

Volumen = 73631.52 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 52237.09 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

$$X = -33.47$$

$$Y = 47.84$$

$$Z = 15.82$$

El momento de inercia se mide en (g\*mm<sup>2</sup>)

$$I_x = ( 0.26, 0.92, 0.28) \quad P_x = 162706.79$$

$$I_y = (-0.96, 0.25, 0.07) \quad P_y = 201227.60$$

$$I_z = (-0.01, -0.29, 0.96) \quad P_z = 326910.00$$

Momentos de inercia: ( $g \cdot mm^2$ ) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{array}{lll} L_{xx} = 198562.56 & L_{xy} = 9064.71 & L_{xz} = 3856.59 \\ L_{yx} = 9064.71 & L_{yy} = 178766.95 & L_{yz} = 44529.86 \\ L_{zx} = 3856.59 & L_{zy} = 44529.86 & L_{zz} = 313514.88 \end{array}$$

Momentos de inercia: ( $g \cdot mm^2$ ) Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{array}{lll} I_{xx} = 430414.91 & I_{xy} = -137161.44 & I_{xz} = -44507.73 \\ I_{yx} = -137161.44 & I_{yy} = 303941.17 & I_{yz} = 113653.26 \\ I_{zx} = -44507.73 & I_{zy} = 113653.26 & I_{zz} = 624816.30 \end{array}$$

Tabla 2

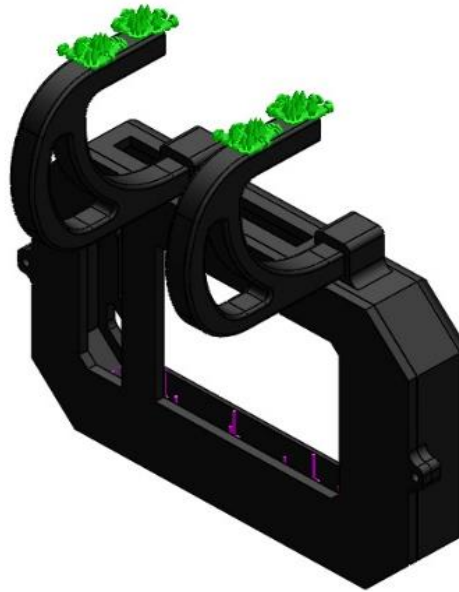


Imagen 14 Geometría fija en la propuesta de diseño (elaboración propia)

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
Brazo derecho 	Sólido	Masa:0.0124017 kg Volumen:1.00014e-005 m <sup>3</sup> Densidad:1240 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.121537 N
Brazo izquierdo 	Sólido	Masa:0.0124017 kg Volumen:1.00014e-005 m <sup>3</sup> Densidad:1240 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.121537 N
Case Frontal 	Sólido	Masa:0.0396402 kg Volumen:3.19677e-005 m <sup>3</sup> Densidad:1240.01 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.388474 N
Tapa Posterior 	Sólido	Masa:0.0268598 kg Volumen:2.16611e-005 m <sup>3</sup> Densidad:1240 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.263226 N

**Propiedades volumetricas de cada parte del ensamblaje (elavoración propia)**

## Propiedades de material

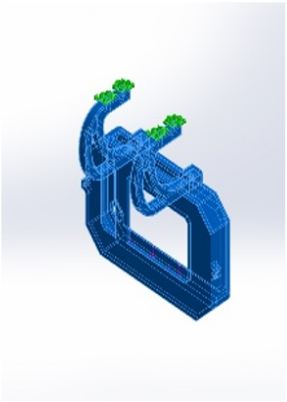
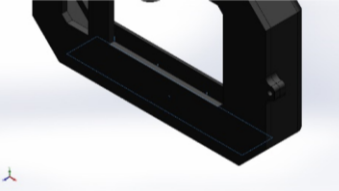
Referencia de modelo	Propiedades		Componentes
	<b>Nombre:</b>	PLA	<b>Sólido</b> 1(Redondeo17)(brazo de soporte-1),
	<b>Tipo de modelo:</b>	Isotrópico elástico lineal	<b>Sólido</b> 1(Redondeo17)(brazo de soporte-2),
	<b>Criterio de error predeterminado:</b>	Tensión de von Mises máx.	<b>Sólido</b> 1(Cortar-Extruir2)(support camera flir-1),
	<b>Límite elástico:</b>	7.2e+007 N/m <sup>2</sup>	<b>Sólido</b> 1(Saliente-Extruir1)(tapa post-1)
	<b>Límite de tracción:</b>	7e+007 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Límite de compresión:</b>	8e+007 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Módulo elástico:</b>	2.3465e+009 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Coefficiente de Poisson:</b>	0.4	
	<b>Densidad:</b>	1240 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Módulo cortante:</b>	2.4e+009 N/m <sup>2</sup>		

Tabla 3 Propiedades del material elaboración propia

## CARGAS Y SUJECIONES

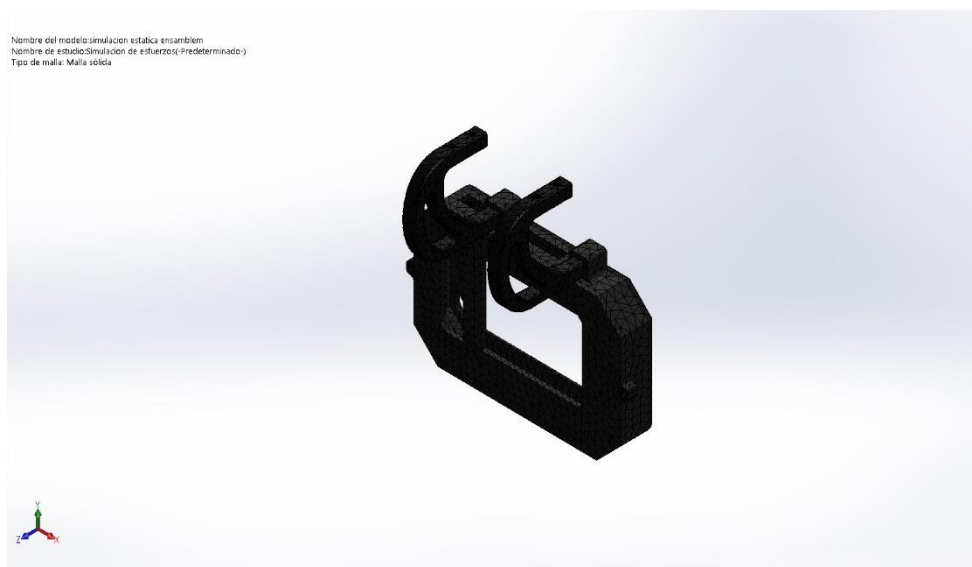
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza-1		<b>Entidades:</b>	1 cara(s)
		<b>Tipo:</b>	Aplicar fuerza normal
		<b>Valor:</b>	1.3 N



Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		<b>Entidades:</b>	<b>2 cara(s)</b>		
		<b>Tipo:</b>	<b>Geometría fija</b>		
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>-9.79511e-005</b>	<b>1.30003</b>	<b>-1.75488e-005</b>	<b>1.30003</b>	
<b>Momento de reacción(N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	

### Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	- 9.79511e- 005	1.30003	- 1.75488e- 005	1.30003



Imágen 15 Enmallado de ensamblaje elaboración propia

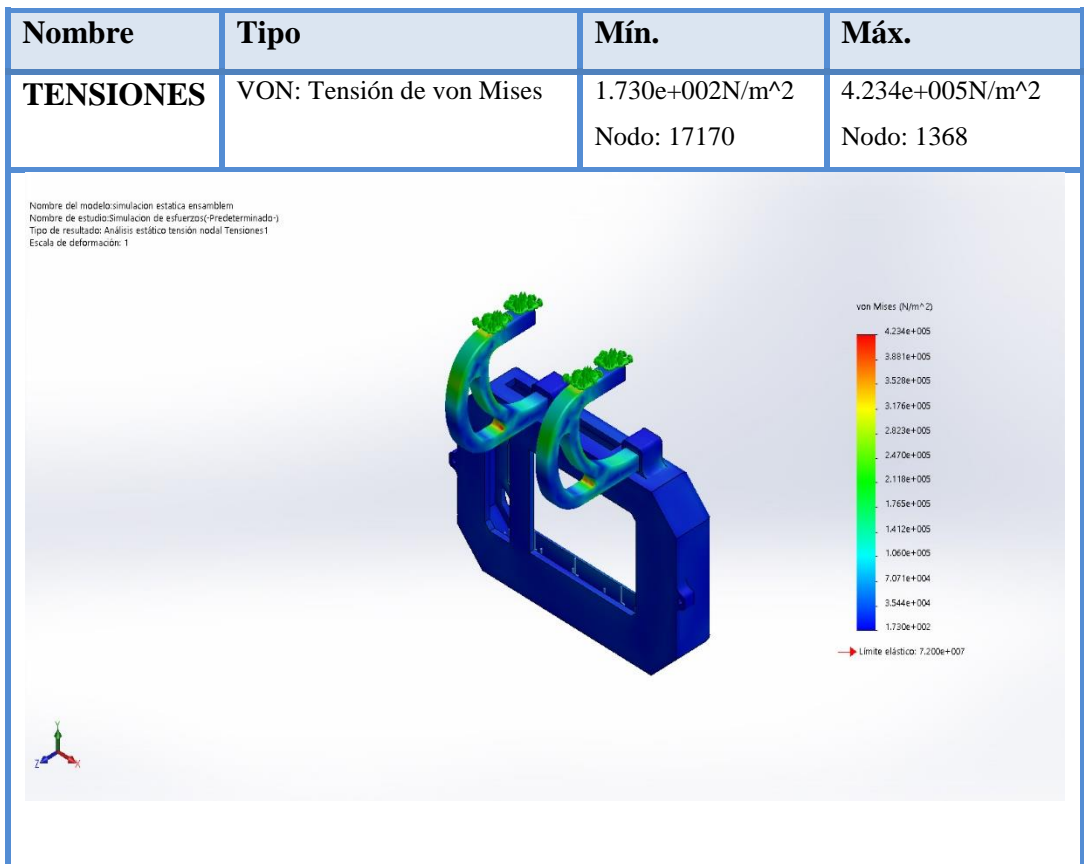
Para el cálculo y análisis de tensiones. Solidworks Simulation lo calculó con el método de Von Mises que es una magnitud física escalar que se calcula a partir de las tensiones principales según la siguiente ecuación.

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]/2\}^{(1/2)}$$

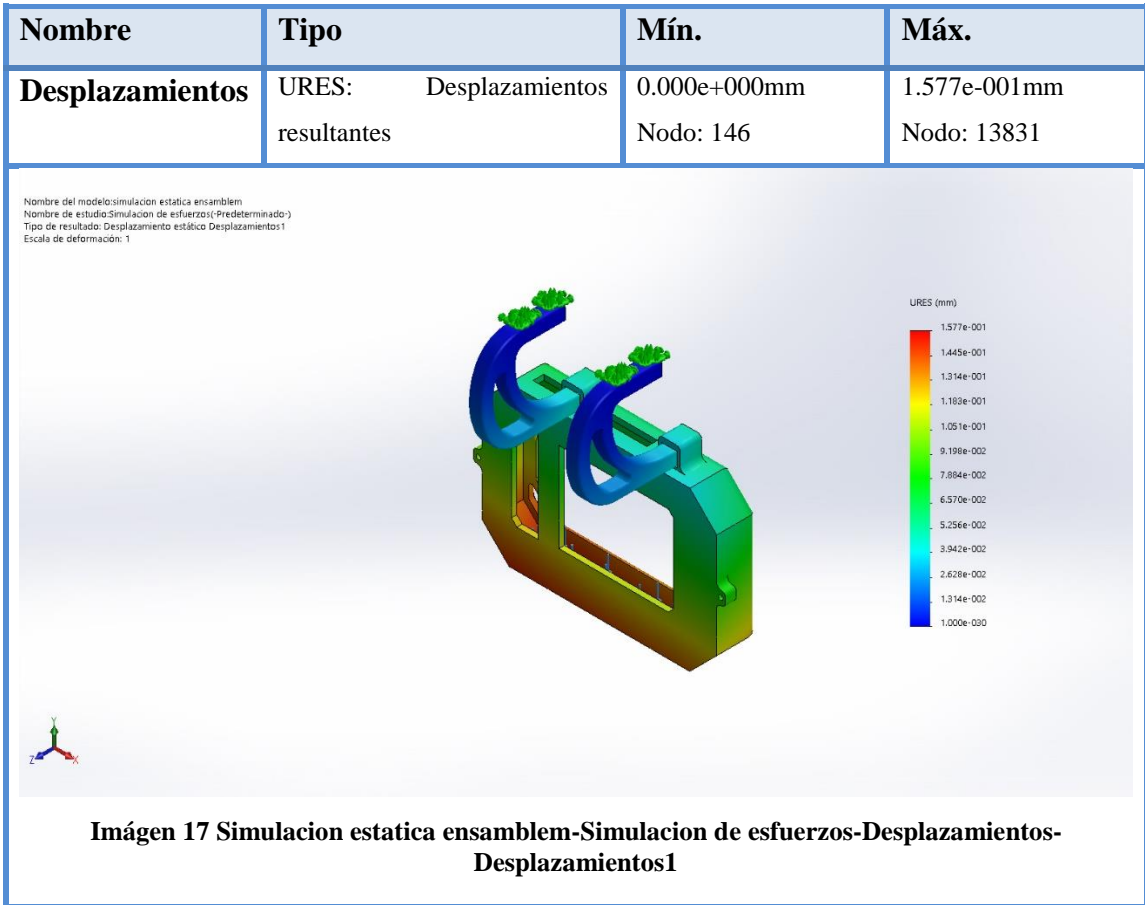
Donde  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  son las tensiones principales en un punto del sólido.

El escalar obtenido se puede utilizar como criterio de diseño si la tensión de Von Mises es inferior al límite elástico del material utilizado (PLA 50 MPa)

En la siguiente figura nos muestra las propiedades físicas del soporte de cámara simulado en Solidworks Simulation



**Imagen 16 Simulación estatica ensamblen-Simulacion de esfuerzos y Tensiones**



**C. Manufactura Rápida:** se eligió este tipo de material por sus buenas prestaciones al momento de imprimir, el PLA es un material que deriva del maíz y nos da buena estabilidad, mejor rigidez y menor contracción.

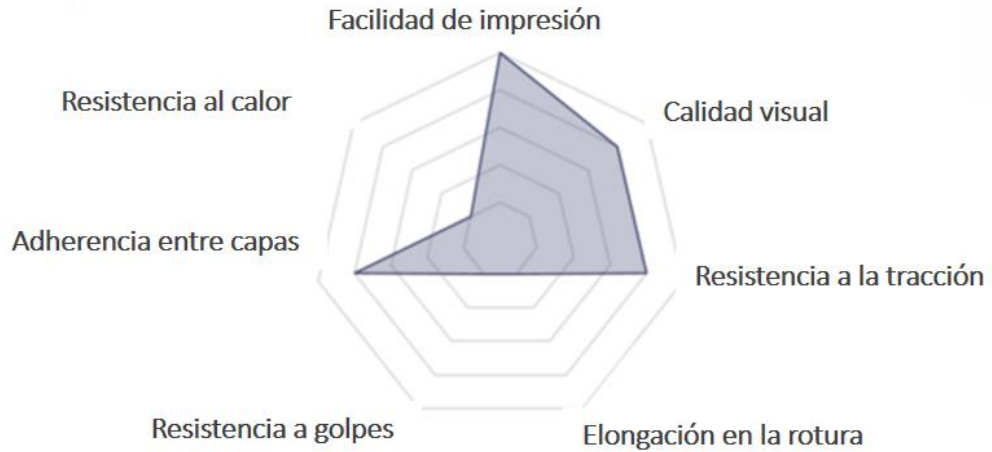
#### Especificaciones técnicas PLA PolyMax

- Temperatura de impresión 3D:  
(190 – 220) °C para 1,75 mm – (200 – 220) °C para 2,85 mm
- Temperatura de cama: No necesita.
- Velocidad de impresión 3D (recomendada): 40 – 90 mm/s.
- Diámetro: 1.75 mm +/- 0.05 mm.
- Densidad: 1.17 – 1.24 g/ cm<sup>3</sup>.
- Resistencia al impacto: 5.1 KJ / m<sup>2</sup>



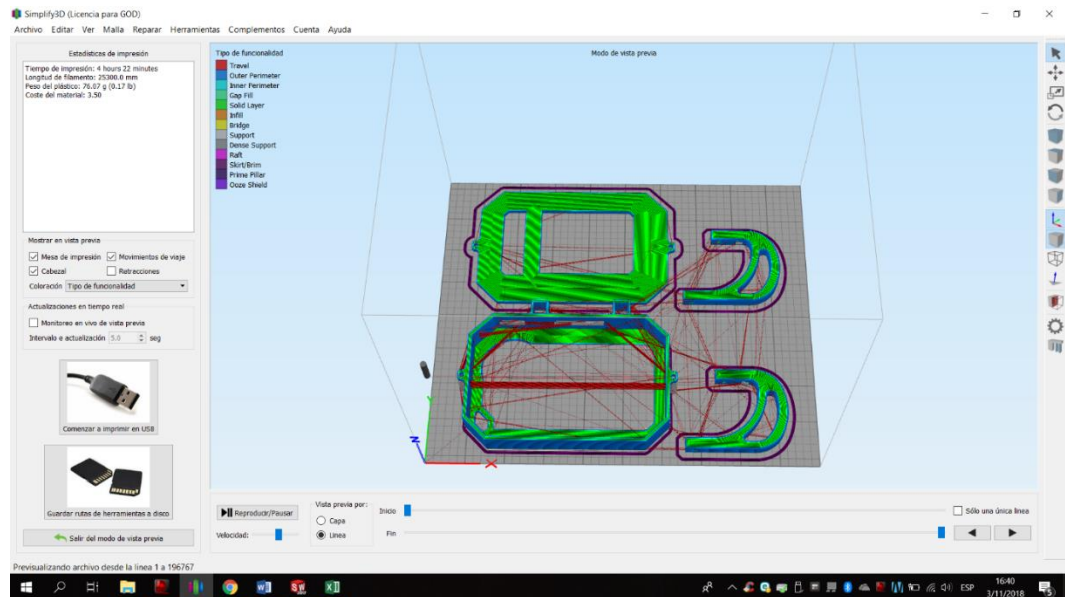
3D HUBS

PLA



Imágen 18 fuente 3d hubs

Con lo determinado anteriormente en la simulación y ensamblaje, se procedió a desarrollar un prototipo mediante el método de impresión 3d, obteniendo el tiempo de fabricación del soporte es de aproximadamente 4 horas con 22 minutos. Siendo muy aceptable y viable su fabricación.



Imágen 19 Modelo para impresión 3d (software simplify 3d)

### **OBJETIVO 3. Seleccionar los componentes electromecánicos que forman parte de un drone tipo hexarotor**

Con los parámetros determinados en objetivo anterior y los criterios de diseño que se describen a continuación podemos llegar a establecer la selección de los componentes que conforman la estructura soporte de la cámara termográfica y a su vez plantear el requerimiento de las condiciones de operación de un drone tipo hexarotor desde un punto técnico, funcional, ergonómico y económico.

- a) **Dimensiones:** El hexarotor con las hélices debe formar un radio de 0.5 m máximo. Esto lleva a poder maniobrar en espacios cerrados. Por otro lado, también poder trasladarlo de un lado a otro en algún vehículo.
- b) **Peso:** Tiene una masa de 2kg teniendo en cuenta los componentes internos. 2 kg no incluyen la capacidad de carga. Este límite ha sido determinado según la ley de aeronáutica civil, que indica que un drone superior a los 2kg el piloto necesitaría ser autorizado por la misma instancia.
- c) **Modo de vuelo:** El drone hexarotor debe tener la capacidad y de mantener su posición en vuelo para lograr la captura de imágenes termográficas y poder despegar y aterrizar en espacios cortos manteniendo estabilidad.
- d) **Capacidad de carga:** La carga máxima en su capacidad teórica es de aproximadamente 1.5 kg puesto que la cámara termográfica que existen en el mercado varían entre 130g y 1100g y las dimensiones de la carga no deben ser superiores a 20x20x20 cm puesto que supera la distancia del tren de aterrizaje.
- e) **Autonomía en vuelo:** La autonomía sea de aproximadamente 15 minutos por recarga de batería, demorará aproximadamente (1 min) en subir capturar imagen (0.5min) y regresar de manera segura (2 min). Este dato se tomó como referencia de un drone profesional el cual se hicieron pruebas en sistemas de distribución eléctrica. Es por ello que se debe llevar baterías de reemplazo.
- f) **Comercial:** El drone hexarotor deberá constar de componentes comerciales y de fácil acceso a demás la fabricación de soportes sea económica y de manufactura rápida.
- g) **Resistencia a impactos y caídas:** El drone hexarotor tendrá con un tren de aterrizaje que impide que se dañe el soporte y la cámara termográfica ya que no

siempre es un aterrizaje suave debido a condiciones de terreno, la Shell o carcasa debería ser de un polímero de alta resistencia a impactos para proteger componentes internos.

- h) Resistencia mecánica de la estructura:** El frame del drone deberá soportar la fuerza de empuje de los motores sin deformarse a su vez mantener una estabilidad en vuelo y reducir vibraciones.
- i) Simplicidad mecánica y aerodinámica:** Debe ser barato y mantenimiento rápido y sencillo. Y donde el mantenimiento sea con menor cantidad de herramientas.
- j) Potencia:** Al finalizar esta investigación se desea implementar el diseño propuesto en un primer prototipo para la ciudad de Chiclayo donde podrá volar con vientos hasta de 7m/s (26km/h) que es la velocidad máxima registrada en el atlas eólico del Perú (Ministerio de energía y Minas)
- k) Alcance de vuelo:** Según la ley de aeronáutica civil del Perú – ley 27261 y su reglamento, aprobado con decreto supremo N°011-2014-IN nos recomienda que la distancia máxima de altura es de 500ft(152.4m) y de distancia 500m.

## 1. Selección de componentes Electromecánicos del Hexarotor.

a) **Tipo de batería:** para seleccionar la mejor batería se debe tener en cuenta los siguientes parámetros.

**a.1. Tamaño de batería:** El peso es un parámetro importante para tener mayor autonomía de vuelo, pero sin disminuir la capacidad de carga.

**a.2. Voltaje de la batería:** Si tienes baterías con mayor clasificación de voltaje, harán que los motores de tu Hexacopter produzcan mayor potencia. Pero, al mismo tiempo, las baterías de alto voltaje suelen tener más peso, por lo tanto, aumentará directamente el peso total del mismo.

En realidad, no es necesario seguir ninguna regla de oro para la selección del voltaje de la batería, pero puedes decidir comparando las tablas de datos, así como la eficiencia. La mayoría de vosotros podrían haber observado que los motores de los drones por lo general se vuelven mucho más potentes y eficientes cuando son alimentados por un voltaje más alto. Pero la desventaja es el problema con el coste y peso de la batería. Si consigues tomar una decisión sobre cuántos motores usará el dispositivo también puedes decidir sobre la configuración requerida.

**a.3 Tasa de descarga:** La tasa de descarga de una batería es conocida como clasificación C. Esta clasificación ayuda a los usuarios a saber sobre la corriente máxima que una batería puede descargar, sin dañarse a sí misma. Aunque estas cifras no son del todo precisas, se consideran buenas para la medida de la calidad. Por ejemplo, si vas a comprar nuevas baterías y cualquier marca te ofrece calificación 45C y 65C, debes elegir el modelo 65C, ya que tiene una capacidad para manejar la tasa de descarga mucho más alta en comparación con el modelo 45C.

¿Cómo afecta?

Muchas personas no son conscientes del hecho de que el rendimiento general de un dron es altamente dependiente de su calificación de descarga C. Los profesionales siempre prefieren escoger sus baterías después de comprobar esta calificación específica. 9 de cada 10 expertos recomiendan elegir aquellas baterías que tengan la máxima capacidad de descarga de C.

Aquí necesitas saber una cosa, ya que, si instalas una batería con tasa de descarga más alta, el dron aumentará de peso y el tiempo de vuelo también se puede reducir.

Podría parecer una tarea difícil para la mayoría de los usuarios de aviones no tripulados y puede que necesiten asistencia profesional para seleccionar las baterías adecuadas. Cuando se compra una nueva batería, se deben comprobar las especificaciones de los motores y también el grado de corriente máximo. Aquí hay una ley simple que puede ayudarte a realizar el cálculo correcto: Generalmente:

Máximos amperajes continuos = Capacidad de la batería x tasa de descarga.

**a.4 Capacidad de la batería:** Está indicado por la clasificación de mAh que significa "miliamperios por horas" - que significa cuántos miliamperios esta batería puede suministrar durante una hora. Si deseas saber acerca del tiempo durante el cual el dron puede volar en el aire con una batería en particular, calcula el grado de mAh con la corriente promedio que se gasta y, finalmente, divide entre 1000. Este cálculo ayudará a los usuarios a obtener una idea aproximada de cuánto tiempo puede permanecer en el aire el dron, o cuánto tiempo la batería puede suministrar energía al dron.

El siguiente cuadro muestra la comparación de cada tipo de batería de 11.1v y 5000 mA teniendo en cuenta su vida útil, la seguridad, la tasa de descarga el bajo tiempo de recarga, la economía, el peso donde el que obtuvo el mayor ponderado total



TIPO DE BATERÍA 11.1 5000mA		Níquel-Cadmio	Níquel e hidruro metálico	Iones de litio	Polímero de litio	Grafeno	Alcalinas
Porcentaje(%)	Parámetros	Puntaje					
10	Vida útil	4	3	4	4	5	1
	Ponderado	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.1
15	Seguridad	3	2	4	5	5	3
	Ponderado	0.45	0.3	0.6	0.75	0.75	0.45
15	Tasa de descarga	4	4	5	5	5	2
	Ponderado	0.6	0.6	0.75	0.75	0.75	0.3
10	Bajo tiempo de recarga	5	3	5	5	5	0
	Ponderado	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0
10	Economía	3	3	3	4	2	2
	Ponderado	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2
12	Peso	4	4	5	5	5	3
	Ponderado	0.48	0.48	0.6	0.6	0.6	0.36
12	Alta densidad energética	3	4	5	5	5	2
	Ponderado	0.36	0.48	0.6	0.6	0.6	0.24
8	Tamaño	4	4	5	5	5	3
	Ponderado	0.32	0.32	0.4	0.4	0.4	0.24
8	Impacto ambiental	2	2	3	3	4	2
	Ponderado	0.16	0.16	0.24	0.24	0.32	0.16
PUNTAJE TOTAL		32	29	39	41	41	18
PONDERADO TOTAL		3.57	3.24	4.39	4.64	4.62	2.05

Tabla 4 Elaboration propia

**b. Estructura o Frame:** Para poder seleccionar un frame para esta investigación se tuvo en cuenta lo siguiente:

**d.1. Diseño:** El diseño de los brazos determina cómo estos se extienden del cuerpo. Aunque los drones en forma de X son los más populares en la actualidad, no hay un veredicto acerca de si este diseño lleva a una diferencia significativa de desempeño. El peso reducido de los marcos en X es una de las razones detrás de lo que mejorará el rendimiento. Aun así, echemos un vistazo a varios diseños para los brazos de los drones.

**En X Verdadera:** Aquí los brazos se extienden desde el centro del cuerpo del dron para formar un ángulo de 90° entre ellos.

**En X Asimétrica:** Aquí los brazos se extienden desde el centro del cuerpo del dron, pero en con un ángulo más grande en los brazos frontales que el del resto.

**En H:** Aquí los brazos se extienden hacia la parte frontal y trasera del cuerpo de tu dron.

**d.2. Tamaño de los brazos.** Hace referencia a la longitud de los brazos. Este tamaño ayuda a determina el tipo de sistemas de propulsión es por ello que se debe tener en cuenta lo siguiente:

Los brazos de menos de 200mm solo pueden soportar propulsores no mayores a 4”

Los brazos que miden entre 200mm y 215mm pueden soportar propulsores de hasta 5”

Los brazos de entre 225mm y 250 mm soportan propulsores de hasta 6”.

### d.3. Material.

El material a seleccionar juega un papel importante ya que busca que tenga una buena resistencia mecánica y una baja densidad ya que al disminuir el peso se obtendrá mayor autonomía en vuelo.

Para el desarrollo de esta investigación se eligió el nylon que a diferencia de la fibra de carbono es más comercial y es de muy bajo costo.

**Propiedades del compuesto de nylon 6/6  
Chemlon® 109 HBK778**

Propiedad	Método de prueba	Valor
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183	1,08
Encogimiento lineal en molde, %	ISO 2577	2,1-2,8
Resistencia a la tracción, MPa	ISO 527	45
Elongación en el punto de ruptura, %	ISO 527	75
Módulo de flexión, GPa	ISO 178	1,7
Resistencia a la flexión, MPa	ISO 178	52
Impacto en ensayo de Izod con muesca a 23 °C, KJ/m <sup>2</sup>	ISO 180	70
Impacto en ensayo de Izod con muesca a -40 °C, KJ/m <sup>2</sup>	ISO 180	18
Temperatura de deflexión de calor (1,8 MPa), °C	ISO 75	50
Punto de fusión, °C	ASTM D789	260

Fuente: Teknor Apex

ESTRUCTURA O FRAME		Polímero ABS	Fibra de carbono	NyLon	Polímero PLA	Aluminio	Polímero TPU
Porcentaje(%)	Parámetros	Puntaje					
25	Resistencia mecánica	3	5	3.5	2.5	5	2
	<b>Ponderado</b>	<b>0.75</b>	<b>1.25</b>	<b>0.875</b>	<b>0.625</b>	<b>1.25</b>	<b>0.5</b>
25	Baja densidad	4	5	4	4	2	4
	<b>Ponderado</b>	<b>1</b>	<b>1.25</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
15	Vida útil	3	5	4	2	5	3
	<b>Ponderado</b>	<b>0.45</b>	<b>0.75</b>	<b>0.6</b>	<b>0.3</b>	<b>0.75</b>	<b>0.45</b>
25	Economía	4	1	4	4	3	4
	<b>Ponderado</b>	<b>1</b>	<b>0.25</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.75</b>	<b>1</b>
10	Manufactura rápida	5	1	4	5	2	4
	<b>Ponderado</b>	<b>0.5</b>	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>
<b>PUNTAJE TOTAL</b>		19	17	19.5	17.5	17	17
<b>PONDERADO TOTAL</b>		3.7	3.6	3.875	3.425	3.45	3.35

**Tabla 5 Elavoracion propia**

**a. Sistema de vuelo:** El sistema de vuelo pertenece a una importante parte en el desarrollo de una aeronave pilotada a distancia(RPA) es por ello que según nuestras necesidades debemos elegir la más que mejor nos convenga

Los modelos más conocidos son los arduipilot y los pixHaw son los modelos de la línea DIY (hazlo tú mismo) teniendo como ventaja principal la capacidad para expandir canales

y programación, pero puede resultar un poco tedioso para los entusiastas que recién se inician.



**Tabla 6 fuente Robotica CNC**

Según la investigación desarrollada por Robótica CNC recomienda utilizar una controladora NAZA v2 por sus prestaciones, estabilidad en vuelo, performance en su operación, precisión y su capacidad de resistir a vientos, se puede implementar hasta 8 motores, pero se reduce a 6 si desea añadirle un gimbal (estabilizador de cámara), buenas prestaciones en recuperación mediante posicionamiento por GPS ya que tiene buena exactitud.



**Imagen 20 Controladora NAZA V2 DJI**

SISTEMA DE VUELO		TARJETAS DE VUELO			
		ARDUPILOT	PIXHAWK	MULTIWII	NAZA
Porcentaje(%)	Parámetros	Puntaje			
25	Facilidad de Programación y Calibración	3	3	3	5
	<b>Ponderado</b>	<b>0.75</b>	<b>0.75</b>	<b>0.75</b>	<b>1.25</b>
15	Confiabilidad en GPS	3	4	3	5
	<b>Ponderado</b>	<b>0.45</b>	<b>0.6</b>	<b>0.45</b>	<b>0.75</b>
15	Estabilidad en vuelo	3	4	4	5
	<b>Ponderado</b>	<b>0.45</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.75</b>
20	Economía	5	4	4	2
	<b>Ponderado</b>	<b>1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.4</b>
5	Módulo de Aviso Led	3	3	3	5
	<b>Ponderado</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.25</b>
10	Tamaño Compacto	4	4	4	5
	<b>Ponderado</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>
10	Vida útil	4	4	4	4
	<b>Ponderado</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>
<b>PUNTAJE TOTAL</b>		25	26	25	31
<b>PONDERADO TOTAL</b>		3.6	3.7	3.55	4.3

Tabla 7 Fuente Roboica CNC Mexico

## b. SISTEMA DE RADIO CONTROL

Un transmisor RC, también conocido como controlador de radio o TX, es un dispositivo que permite a los pilotos controlar el dron de forma inalámbrica. La señal y órdenes son recibidos por un receptor de radio (RX) que está conectado a un controlador de vuelo FC.



Imagen 21 fuente fysky

## e.1 CANALES

La cantidad de canales determina cuántas acciones individuales se pueden controlar en un dron.

Por ejemplo, acelerador, yaw (girando a la derecha e izquierda), pitch (inclinarse hacia adelante y hacia atrás) y roll (rodar hacia la izquierda y hacia la derecha), cada uno ocupa 1 canal. Y como puede ver, cuatro canales es el mínimo indispensable para controlar un quad, pitch, roll, throttle y yaw.

Los canales adicionales en un transmisor normalmente se les llaman canales auxiliares o AUX, en forma de interruptores de palanca y potenciómetros. Puedes usarlos para cambiar los modos de vuelo o activar ciertas funciones y características del dron.

Los transmisores con más de 6 canales generalmente son más caros. Tienden a tener una mejor calidad de construcción y son más funcionales que un transmisor RC básico de 4 o 5 canales.

## e.2 MODOS.

Hay 4 modos de transmisión diferentes: modo 1, modo 2, modo 3 y modo 4. Estas son básicamente las diferentes configuraciones de los 2 controles del mando.

### e.2.1 MODO DE VUELO 1:

La configuración del modo uno tiene el control del elevador en el joystick izquierdo y el acelerador en el derecho.



### e.2.2 MODO DE VUELO 2:

El modo dos es el más común para quads porque el stick representa el movimiento de tu dron. Tiene el control del elevador en el joystick derecho y el acelerador del motor en el

izquierdo. El joystick derecho se centra en los ejes, mientras que el joystick izquierdo solo se centra en el eje del yaw (dirección izquierda / derecha) y en el eje del acelerador (arriba / abajo) para permitir una aceleración constante.



### e.2.3 MODO DE VUELO 3:

El Modo tres es igual que el Modo uno, excepto Aleron y Timón se intercambian.



### e.2.4 MODO DE VUELO 4:

El modo cuatro es el mismo que el Modo dos, excepto Aileron y Timón, se intercambian. Debido a la configuración de los mandos son idénticos, en algunos TX, el Modo 1 y el Modo 3 son intercambiables, al igual que el Modo 2 y el Modo 4. Esto se logra intercambiando los canales Alerón y Timón en la configuración del usuario.

No está bien ni mal cuál usar, solo con lo que te sientas más cómodo. Si no sabes qué modo usar, simplemente elija el modo 2, ya que la mayoría de los pilotos lo están usando y va a tener un mayor valor de reventa más adelante.



### e.3 TIPOS DE FRECUENCIA

La frecuencia en el RC más popular es 2.4GHz. Las frecuencias más bajas normalmente se utilizan para vuelos a más distancia, estas son 27MHz, 72MHz, 433MHz, 900MHz y 1.3GHz pero raramente se usan.

Otro problema fue el gran tamaño de las antenas, mucho más largas que las de alta frecuencia. Los cristales utilizados para la selección de canales también era un inconveniente, ya que se rompían fácilmente y podían cambiar al volar/conducir con otros. El sistema de 2.4GHz es una tecnología más nueva, y actualmente es la frecuencia más popular para vehículos pequeños terrestres y aéreos RC. Se convierte en el estándar RC después de que se crearon nuevos protocolos que introdujeron la tecnología de salto de frecuencia que permitía al usuario no tener que preocuparse por recoger frecuencias o canales de otros pilotos. La antena es más pequeña y más fácil de transportar, pero generalmente con un alcance más corto que los 27 / 72Mhz.

### e.4 HARDWARE Y CARACTERÍSTICAS

Hay mucho que considerar cuando se trata de elegir un buen transmisor, como la pantalla (resolución, luz de fondo, etc.), cómo se sienten los sticks (calidad de los gimbals), memorias de modelos múltiples y características de Entrenamiento (conectividad), y más. A algunos también les pueden gustar las funciones de expo y curva donde permite intercambiar los mandos reaccionan a tu entrada, aunque esto también se puede hacer en el software controlador de vuelo.

Algunos transmisores RC admiten programación y flasheo de firmware para mejorar la experiencia del usuario. Puedes personalizarlos con música y grabaciones de voz o lo que quieras. Investigue antes de gastar dinero en ello.

### e.5 ERGONOMÍA

La ergonomía es muy personal, nadie puede decirle qué TX se sentiría bien o mal en sus propias manos. Consideraciones como el peso, la ubicación de los sticks y los interruptores, qué tan grandes son tus manos, que largos son tus dedos, todo juega un papel en esto.

### e.6 SOPORTE DE TELEMETRÍA

Cuanto más tiempo llevo volando, más valoro la telemetría. Es una característica útil que permite a RX enviar datos de vuelo a la TX, como RSSI, voltaje de la batería, consumo de corriente, etc.

<b>SISTEMA DE RADIO CONTROL</b>		<b>Radiolink AT10</b>	<b>DJI LightBridge 2</b>	<b>SpeKtrum DX6i</b>	<b>FlySky FS-i6</b>
<b>Porcentaje(%)</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Puntaje</b>			
25	Alcance	4	5	3	2
	<b>Ponderado</b>	<b>1</b>	<b>1.25</b>	<b>0.75</b>	<b>0.5</b>
25	Canales	5	4	4	4
	<b>Ponderado</b>	<b>1.25</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
15	Switch de Posiciones	2	5	5	5
	<b>Ponderado</b>	<b>0.3</b>	<b>0.75</b>	<b>0.75</b>	<b>0.75</b>
25	Economía	2	1	3	5
	<b>Ponderado</b>	<b>0.5</b>	<b>0.25</b>	<b>0.75</b>	<b>1.25</b>
10	Power Batery	3	5	4	5
	<b>Ponderado</b>	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>
<b>PUNTAJE TOTAL</b>		16	20	19	21
<b>PONDERADO TOTAL</b>		3.35	3.75	3.65	4

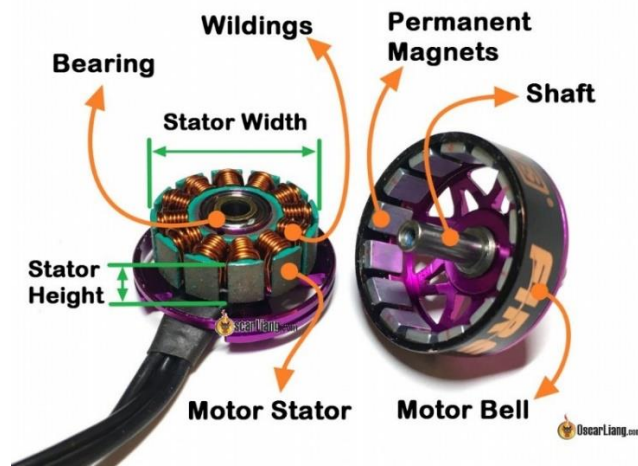
Tabla 8 Elvaoración propia



### c. Sistema de propulsión

#### f.a) Selección de motores.

En esta investigación se ha elegido rotores tipo brushless que al ser sin escobillas tiene mejor ventaja ya que la potencia es alta y el peso es bajo y genera mayores revoluciones, Para estos tipos de motores de tres polos trifásicos se debe controlar mediante un driver donde se obtiene una señal desfasada en forma de sinusoidal y al conectarse con el motor se puede variar su velocidad.



Imágen 22 fuente oscar land

**f.a.I. Relación entre empuje y peso:** Nuestro hexarotor debe suspenderse en el aire con la mitad de aceleración, esto quiere decir que los motores seleccionados deben tener la suficiente potencia para producir un impulso de 50% más al multirrotor, esto es un punto muy importante ya que mantendrá en vuelo a nuestro hexarotor en caso de que haya vientos o maniobras entonces podemos determinar que:

$$\text{Peso del hexarotor} = 2(\text{empuje de los motores})$$

## Multi copter motor MT2213-920KV(1045Combo)



Imágen 23fuente emax multicopter

**f.a.II. Eficiencia:** la representación entre (impulso del motor/potencia) sus unidades finales serian (g/w) esto significa que su el motor tiene mayor eficiencia permitirá que nuestro hexarotor pueda mantenerse por mayor tiempo en vuelo. Los técnicos especialistas en aeronaves no tripuladas multirrotores recomiendan que el valor optimo sea aproximado o mayor a 7.

Esto quiere decir que, si un motor de valor menor a 7 tenga eficiencia, pero cuando este en aceleración en límites mayores perdería eficiencia. Cuando eliges rotores de baja eficiencia perderá significativamente su capacidad de vuelo y producirá caídas de voltaje en las baterías.

**f.a.III. Torque:** este valor indica cuan hábil es el motor para variar su velocidad angular (rpm) y esto me permite maniobrar con mayor versatilidad el hexarotor mientras estamos volando. Si los motores tienen un toque superior permitirá que nuestro hexarotor pueda cambiar rápidamente de velocidad angular (rpm) y tendríamos mayor performance en vuelo.

Cuando se tiene un valor superior de torque en motores, permitirá usar hélices de mayor tamaño, pero a su vez consumirán mayor energía. La desventaja mayor es que al usar motores de toque superior es que aumenta las oscilaciones que no es tan fácil el ajuste.

**f.a.IV. Cantidad de Polos:** para elegir un motor se debe tener en cuenta la cantidad de polos que existen dos características, una es con polos superiores, estos producen torques superiores pero su operación necesita mayor voltaje para operar.

Los especialistas recomiendan que para motores con mayor número de polos es necesario utilizar hélices de mayor tamaño y la otra categoría de motores son los de menor polos, pero con una velocidad angular (rpm) superior, esto vienen con hélices de menor tamaño.

Para esta investigación se usará motores de polos superiores para evitar caja reductora.

El siguiente cuadro nos muestra los tipos de motores

Tipo	Definición	Aplicación	Tiempo de Vida	Ahorro de Energía
Motor CC Cepillado	Los motores cepillados de corriente continua poseen un armazón rotativo que funciona como un electro magneto con dos polos. Un interruptor rotativo está conectado y ayuda a revertir la dirección de la corriente para cada medio ciclo, para que los polos puedan ser empujados o halados contra los imanes permanentes conectados fuera del motor.	Es comúnmente utilizado como una herramienta de poder para los drones..	Puede funcionar por 1000 horas o menos..	En caso del diseño de los Motores Cepillados, usted deberá realizar mantenimiento continuo para garantizar un consumo de energía adecuado y un funcionamiento satisfactorio.
Motores CC sin Cepillado	Los Motores sin cepillado de corriente continua no poseen cepillos, solo tienen un imán permanente y este se invierte con los cambios de la polaridad magnética. Sus movimientos pueden ser controlados con un control electrónico dedicado y mecanismos de ajuste de velocidad.	Estos motores son comúnmente utilizados por drones que demandan altas velocidades de rotación para mantenerse en vuelo.	Pueden trabajar efectivamente durante 1000 o más horas.	Los Motores sin Cepillado son altamente eficientes en comparación a los motores cepillados.

Imágen 24 [filmora.wondershare.com/es/drones/drone-motors](http://filmora.wondershare.com/es/drones/drone-motors)

### f.a) HÉLICES O PROPELLERS.

Los drones se diferencian por tener 2 sentidos de giro para las propellers.

Si vemos un hexacoptero, este necesitaría 2 propellers que giren en un sentido y otras 3 que giren en sentido contrario. Cada propeller irá montada en la posición correcta, determinada por el software de desarrollo y teniendo en cuenta el norte de la aeronave. La longitud y el grado de inclinación viene detallado mediante dos números. La longitud se mide de punta a punta de la hélice o propeller y esa será el diámetro de giro de las hélices y si en algún caso tuviera 4x4x3 o 4050x3, determina que tiene 4" y un grado inclinado de 30°. Y el ultimo numero representa al número de palas de las que tiene en ese caso 3 palas.

El grado de inclinación y el tamaño influyen en el empuje de los motores uno con mayor inclinación tendrá mayor empuje, esto genera aumento en el consumo.

Las propellers más pequeñas aceleran y frenan más rápido que las de mayor tamaño. Ya que la grandes tardan más en cambiar la velocidad angular por el momento de inercia.



Imágen 25 helices horarias y antihorarias

### **f.a.1 TAMAÑO**

al momento de determinar el tamaño de las propellers hay que hallar las más óptimas para nuestro proyecto tanto en longitud y grado de inclinación. Las hélices con grado menor giraran con mayor rapidez y los motores generaran menor esfuerzo al girar debemos de tener en cuenta que la longitud es muy importante y esto determinara las revoluciones de nuestra aeronave.



**Imágen 26 fuente mundo drones**

### **f.a.2 MATERIAL**

El tipo de material es muy importante y podemos encontrar tanto de plástico, fibra de carbono. Las de plástico son muy versátiles y tienes un buen coeficiente de elasticidad, pero al trabajar tiene a generar vibraciones en vuelo y esto hace que la vibración se traslade a la base de los motores generando fracturas mínimas y en vuelo pueden llegar romperse si no se le da el cuidado necesario

Por otro lado, están las de fibra de carbono, estas son las mejores por su baja densidad y su suavidad en vuelo, pero estas son conductoras y puede generar interferencias en las ondas electromagnéticas.

Otro punto importante es la seguridad y estas hélices de fibra de carbono son muy peligrosas y ante una caída nuestra aeronave sufrirá mayores daños

### **f.a.3 LAS PALAS**

El número de palas es muy importante ya que esto influye en el rendimiento su forma de la curvatura determinara el Angulo de ataque. puede ser diferentes en sus palas (2 palas, 3 palas, etc.)

Las que se utilizan mayormente son las de doble pala esto nos permite generar mayores revoluciones por minuto ya que se va a desplazar mayor masa o flujo de aire.

Luego las más comunes para aeronaves de carrera son las tripulas ya que nos permite una aceleración y desalación más rápida y al ser




**Imágen 27 fuente mundodrones**

La imagen es de una calculadora que permite determinar parámetros de operación de un drone hexarotor

# 54R

Version Demo Limitada  
[Contratar](#) la version completa por solo \$0.99

datos sin garantía de precision: +/-15%



xcopterCalc - Calculador de Multicópteros

[Follow](#)
[Follow](#)
[YouTube](#) 464

[Contratar](#) la version completa por solo \$0.99  
 Login:  eMail  password  Login  
 Recordar - ¿olvidaste la contraseña?

[News](#) | [Toolbox](#) | [Easy View](#) | [Help](#) | [Tutorial](#) | Language: español

---

**General**

Peso del modelo:  g  oz

Nº de rotores:  simple

Tamaño del amazon:  mm  inch

Límite de inclinación de la FCU:

Altura del campo:  m ASL  ft ASL

Temp. aire:  °C  °F

Presion (QNH):  hPa  inHg

**Celdas batería**

Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga:  -

Configuración:  S  P

Capacidad por celda:  mAh descarga max.:

Resistencia:  Ohm

Voltaje:  V capacidad C de descarga:  C continua  C de pico

Peso:  g  oz

**Variador**

Tipo:

Corriente:  A cont.  A max.

Resistencia:  Ohm

Peso:  g  oz

**Accesorios**

Consumo de corriente:  A

Peso:  g  oz

**Motor**

Fabricante - Tipo (Kv) - refrigeración:  -  -

KV (w/o torque):  rpm/V

Corriente sin hélice:  A @  V

Límite (hasta 15s):  W

Resistencia:  Ohm

Longitud caja:  mm  inch

nº Polos mag.:

Peso:  g  oz

**Hélice**

Tipo de hélice:  -

Diámetro:  inch  mm

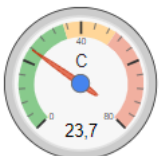
Paso:  inch  mm

número de palas:


Const. de Potencia/Empuje:  /

Gear Ratio:  :


---



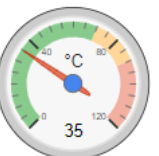
Carga: **23,7**




Tiempo de vuelo estacionario: **8,4**



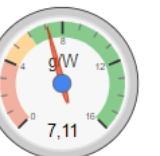
Potencia eléctrica: **175,7**




Temperatura ext.: **35**



Empuje-Peso: **2,3**



Empuje específico: **7,11**



Configuración

---

**Observaciones:**

**Batería**

Carga:  C

Voltaje:  V

Tensión nominal:  V

Energía:  Wh

Capacidad total:  mAh

Capacidad usada:  mAh

Tiempo min de vuelo:  min

tiempo medio de vuelo:  min

Tiempo de vuelo estacionario:  min

Peso:  g  oz

**Motor a eficiencia óptima**

Corriente:  A

Voltaje:  V

Revoluciones\*:  rpm

Potencia eléctrica:  W

Potencia mecánica:  W

Eficiencia:  %

**Motor al Máximo**

Corriente:  A

Voltaje:  V

Revoluciones\*:  rpm

Potencia eléctrica:  W

Potencia mecánica:  W

Potencia-Peso:  W/kg

231,2 W/lb

Eficiencia:  %

Temperatura ext.:  °C  °F

**Medidas de potencia**

Intensidad:  A

Voltage:  V

Potencia:  W

**Motor @ Hover**

Corriente:  A

Voltaje:  V

Revoluciones\*:  rpm

Acelerador (log):  %

Acelerador (lineal):  %

Potencia eléctrica:  W

Potencia mecánica:  W

Potencia-Peso:  W/kg

65.5 W/lb

Eficiencia:  %

est. Temperatura:  °C  °F

Empuje específico:  g/W  oz/W

**Motorización Total**

Peso de la Motorización:  g  oz

Empuje-Peso:  :

Corriente en estacionario:  A

Pot(entrada) en estacionario:  W

Pot(salida) en estacionario:  W

Eficiencia en estacionario:  %

Corriente al máximo:  A

Potencia(entrada) al máximo:  W

Potencia(salida) al máximo:  W

Eficiencia al máximo:  %

**Multicóptero**

Peso total:  g  oz

máximo peso adicional:  g  oz

inclinación máxima:  °

velocidad máxima:  km/h  mph

Trepada estimada :  m/s

1614 ft/min

Area total del disco:  dm²

471.2 in²

Fallo del motor:

---



#### OBJETIVO 4.- Determinar el costo económico de la implementación del resultado de la investigación

En este objetivo se detallará la evaluación económica tomando en cuenta el costo de producción, costo demanda y el costo del mercado para el obtener resultados con el van y el tir si el proyecto es viable y no viable.

#### 4.1 COSTO DE PRODUCCIÓN

Aquí encontraremos los gastos necesarios para mantener un servicio o un producto. El cual, por su parte cumple la función de producir (elaborar, fabricar y originar). Dentro de esta evaluación llegaremos a evaluar los ingresos y egresos que este trabajo provee para así tener un mejor calculo con ayuda de unas tablas las ganancias y pérdidas que se logren obtener a lo largo de la jornada a realizar. Donde el mismo indica el beneficio bruto obtenido.

COMPONENTES DEL HEXAROTOR					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	SUBTOTAL
1	Motores	Unidad	6	S/ 55.00	S/ 330.00
2	Variador de Velocidad	Unidad	6	S/ 45.00	S/ 270.00
3	Helices	Unidad	6	S/ 12.00	S/ 72.00
4	Bateria Lipo 500mA 25c 11.1v	Unidad	1	S/ 240.00	S/ 240.00
5	Mando RF	Unidad	1	S/ 180.00	S/ 180.00
6	Controladora NAZA V2 + GPS	KIT	1	S/ 940.00	S/ 940.00
7	Frame	KIT	1	S/ 210.00	S/ 210.00
8	Tren de aterizaje	KIT	1	S/ 140.00	S/ 140.00
9	Soporte Camara i3d	KIT	1	S/ 45.00	S/ 45.00
10	Case body Shell	Unidad	1	S/ 100.00	S/ 100.00
11	Camara Termografica Flir C3	Unidad	1	S/ 2,100.00	S/ 2,100.00
12	Pernería	KIT	1	S/ 20.00	S/ 20.00
INSUMOS Y MATERIALES					
13	Pintura Base	Unidad	1	S/ 45.00	S/ 45.00
14	Pintura Acabado	Unidad	1	S/ 45.00	S/ 45.00
15	Fomix	Metro	2	S/ 18.00	S/ 36.00
16	Otros	Unidad	1	S/ 80.00	S/ 80.00
MANO DE OBRA					
18	Mano de Obra		1	S/ 502.50	S/ 502.50
				<b>Total</b>	<b>S/ 5,355.50</b>
INGRESOS					
1	Alquiler del Equipo por batería		4	S/ 350.00	S/ 1,400.00
EGRESOS					
1	Mantenimiento por Vuelo		1	S/ 45.00	S/ 45.00

## **4.2 COSTO DEMANDA**

Dentro de esta evaluación y los análisis que se ha realizado; consideran que el costo de mano de obra es de \$ 585 Dólares Americanos en la País de Ecuador (2017). Teniendo en cuenta que en nuestro País para un Contratante elevaría su costo presupuestado, ya que actualmente el mismo trabajo esta valorizado en \$100 Dólares Americanos (2018). Teniendo en cuenta el presupuesto aproximado para una Empresa; que se dedica a las inspecciones con Cámaras termografías tiene ese promedio y con óptimos resultados con la toma de imágenes.

## **4.3 COSTO DEL MERCADO**

Habiendo hecho el análisis del costo demanda, el costo promedio que pagan las Industrias en nuestra ciudad llegamos a la conclusión de que el precio establecido (\$100 Dólares Americanos) será factible la inversión de una empresa con esta nueva modalidad, ya que actualmente no cuentan con la implementación de dicha tecnología, la toma de imágenes desde el punto más cercano es clara y precisa.

Con esos criterios detallados anteriormente procederemos con los indicadores a realizar los cálculos con el VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Retornos).

INGRESO				EGRESO		
MESES	COSTO/SERVICIOS	SERVICIOS /MES	TOTAL INGRESO/MES	DESCRIPCION	UND	TOTAL
1	S/350.00	4	S/1,400.00	PAGO PILOTO	soles	S/400.00
2	S/350.00	4	S/1,400.00	INSUMOS CLEAR	SPRAY	S/15.00
3	S/350.00	4	S/1,400.00	MANTENIMIENTO	und	S/45.00
4	S/350.00	4	S/1,400.00			
5	S/350.00	4	S/1,400.00			S/460.00
6	S/350.00	4	S/1,400.00			
7	S/350.00	4	S/1,400.00			
8	S/350.00	4	S/1,400.00			
9	S/350.00	4	S/1,400.00			
10	S/350.00	4	S/1,400.00			
11	S/350.00	4	S/1,400.00			
12	S/350.00	4	S/1,400.00			
		<b>TOTAL</b>	<b>S/16,800.00</b>			

DATOS	VALORES
NUMERO DE PERIODOS	12
TIPO DE PERIODO	MENSUAL
TASA DE DESCUENTOS	0%

#### 4.4 VALOR ACTUAL NETO (VAN):

Este valor permite calcular determinar el número flujo originados por una inversión. Para actualizar los flujos netos se requiere de la tasa de descuentos también llamada tasa expectativa o alternativa que mide la rentabilidad mínima deseada por el proyecto que permita recuperar la inversión, costos y obtener los beneficios deseados.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

$V_t$  representa los flujos de caja en cada periodo t.

$I_0$  es el valor del desembolso inicial de la inversión.

$n$  es el número de periodos considerado.

$k$ , **d** o **TIR** es el tipo de interés.

Nº	FNE	(1+i) <sup>t</sup>	FNE/(1+i) <sup>t</sup>
0	-S/5,355.00		-S/5,355.00
1	S/940.00	1.00	S/940.00
2	S/940.00	1.00	S/940.00
3	S/940.00	1.00	S/940.00
4	S/940.00	1.00	S/940.00
5	S/940.00	1.00	S/940.00
6	S/940.00	1.00	S/940.00
7	S/940.00	1.00	S/940.00
8	S/940.00	1.00	S/940.00
9	S/940.00	1.00	S/940.00
10	S/940.00	1.00	S/940.00
11	S/940.00	1.00	S/940.00
12	S/940.00	1.00	S/940.00

<b>VAN</b>	<b>S/5,925.00</b>
------------	-------------------

#### 4.5 TASA INTERNA DE RETORNOS:

Para el mejor cálculo de la TIR, conocimos la formula Valor Actual Neto (VAN) que obtiene los flujos de caja restando la tasa de interés obtenido, menos la inversión inicial.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

DETALLE	FLUJO DE INGRESOS	FLUJO DE EGRESOS	FLUJO NETO EFECTIVO PROYECTADO
0	-S/5,355.00		-S/5,355.00
1	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
2	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
3	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
4	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
5	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
6	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
7	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
8	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
9	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
10	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
11	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00
12	S/1,400.00	S/460.00	S/940.00

TIR	14%
-----	-----

#### IV. DISCUSIÓN

El análisis de la teoría relacionada al tema tanto de desplazamientos y deformaciones con von mises nos hace plantearnos la pregunta ¿Sera el diseño optimo del soporte de cámara termográfica, u otra? Esto es un punto de debate que puede surgir muchas preguntas tanto en la forma y en el diseño ya que al hacerle un análisis aerodinámico nos genera cierta resistencia el desplazamiento del viento

En la siguiente imagen nos detalla el desplazamiento del aire y podemos ver que el soporte de cámara termográfica en la parte posterior es casi 0 por ello la búsqueda de una forma más óptima del diseño.

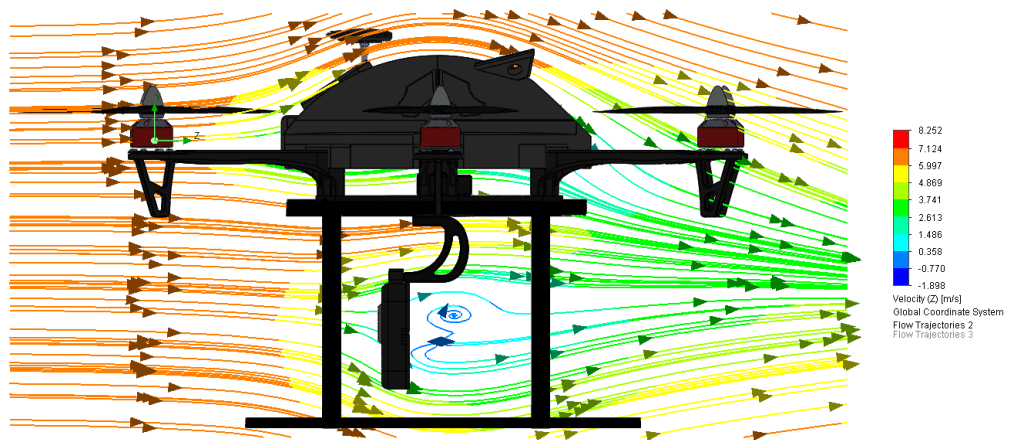


Imagen 28 Desplazamiento de aire

## V. CONCLUSIONES

- 5.1.- Se realizó un diagnostico actual de cómo la empresa herzab S.A.C realizaba sus inspecciones de sistemas de distribución eléctrica y llegando a la conclusión de que se podía optimizar con el desarrollo de este proyecto logrando generar mucho interés por parte del gerente general y de los ingenieros y técnicos de mantenimiento, quienes apoyaron el desarrollo de este proyecto.
- 5.2.- Se determinaron los parámetros de diseño donde se realizó un análisis tanto de esfuerzos como deformaciones basándonos en la teoría de von mises y simulando en Solidworks Simulation donde se obtuvo resultados que nos indicaron que la propuesta de diseño si soportaba las cargas sometidas y se pudo generar un prototipo que se implementó en nuestro hexarotor.
- 5.3.- Se logró seleccionar de manera adecuada los diferentes componentes que requiere nuestro hexarotor tomando en cuenta criterios de selección y basándonos en las guías técnicas de cada fabricante es así que pudimos seleccionar tanto como frame, batería, tarjeta de vuelo, sistemas de propulsión (motor y hélices).
- 5.4.- se concluyó en el tercer objetivo que implementar un sistema de aeronaves no tripuladas con cámaras termográficas previene fallas, disminuyendo costos y manteniendo la confiabilidad del servicio y lo mejor es evitando accidentes laborales, es por ello que este sistema lo hace confiable para daños futuros que no son visibles por el ojo humano.
- La determinación de los costos se realizó mediante el VAN y TIR llegando a una conclusión que nuestra inversión se recuperara en aproximadamente 12 meses con un 14 % de tasa de retorno

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se sugiere que este proyecto sea la base para otras investigaciones tanto en el diseño del soporte con un sistema de estabilizador para la cámara termográfica como un sistema de toma de imágenes automáticas esto traería muchas mejoras en la captura de imágenes, mejorando la precisión y evitando fallos por vibración o que las imágenes salgan borrosas.

Otro punto importante es que el piloto sea capacitado antes de operar y pueda ser hasta certificado por un ente que regule el uso de aeronaves no tripuladas para el uso en ingeniería. Donde sepa de normatividad vigente y regulaciones así mismo como optimizar el uso de la batería en vuelo.



## Referencias

1. **PHANTOM3, DJI.** phantom3-4k. *phantom3*. [En línea] dji. [Citado el: 28 de abril de 2018.] <https://www.dji.com/es/phantom3-4k>.
2. **LINELCON.** [En línea] LINELCON, 28 de abril de 2018. [Citado el: 28 de abril de 2018.] <http://www.linelcon.com.pe/>.
3. **PERULAND.** <http://www.peruland.com.pe/>. [En línea] 28 de abril de 2018. [Citado el: 28 de abril de 28.] <http://www.peruland.com.pe/>.
4. **URRUTIA, CESAR.** *CEO Spacedat*. [En línea] CEO Spacedat, 28 de ABRIL de 2018. [Citado el: 28 de ABRIL de 2018.] <http://www.spacedat.com>.
5. **Benavides, Carlos y Sanchez, Juan.** *La planificación gubernamental*. Lima : Prentice Hall, 2010.
6. **Oficina Nacional de Gobierno Electrónico e Informática.** ONGEI. [En línea] 1 de 1 de 1998. [Citado el: 19 de Octubre de 2013.] [www.ongei.gob.pe](http://www.ongei.gob.pe).
7. **Sallenave, Jean-Paul y Dios, Christian.** *Gerencia y Planeación Estratégica*. Bogotá : Grupo Editorial Norma, 2002.  
*“Determining the Locations of Faults in Distribution Systems”*. **R, Das. 1998.** Canada : s.n., 1998.  
*“Localización de Faltas en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica usando Métodos Basados en el Modelo y Métodos Basados en el Conocimiento”*. **J., Mora. 2006.** España : Tesis doctoral. Universidad de Girona, 2006.  
**ARIAS, Fidias. 2012.** *El Proyecto de Investigación - Introducción a la Metodología Científica*. 6ta Edición. Caracas - Republica Bolivariana de Venezuela : Editorial Episteme, C.A., 2012. pág. 143. ISBN: 980 - 07 - 8529 - 9.  
**AYRE, Jorge. 2005.** *Evaluación de la confiabilidad mediante el método de modo de Fallas y Ubicación Óptima de Seccionadores de una Red de Distribución Eléctrica*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima : s.n., 2005. pág. 175.  
**Dirección General de Epidemiología (DGE). 2017.** *Guía de Calidad del Sistema de Vigilancia de Vacunas*. México : s.n., 2017. pág. 90.

## ANEXOS

### **PASOS PARA DESCARGAR EL DISEÑO EN REALIDAD AUMENTADA.**

1. Ingresa a la siguiente dirección o escanea el QR.

<https://mega.nz/#!TVkQVAqB!yDmuLOrKcvPjPKaoocfZt91sAUGfh9anZ9CoWXT6QhM>



2. Descarga el apk.

3. Instala en tu dispositivo móvil o Tablet Android.

4. Abre la aplicación MegaloDrone v2.0.

5. Escanea la siguiente imagen y disfruta la Realidad Aumentada.



## ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo, Deciderio Enrique Díaz Rubio, docente de la Facultad Ingeniería y Escuela Profesional Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo, filial Chiclayo, revisor (a) del trabajo de investigación titulado:

**"DISEÑO DE ESTRUCTURA SOPORTE DE CÁMARA TERMOGRÁFICA DE UN DRONE-HEXAROTOR PARA OPTIMIZAR TIEMPO DE INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA-HERZAB-S.A.C."**, del (de la) estudiante (S) Segura Requejo Miguel, constato que la investigación tiene un índice de similitud de **16%** verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesina cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 16 de Marzo de 2019



Firma

Ing. Deciderio Enrique Díaz Rubio  
16728343



Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI)  
"César Acuña Peralta"

## FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LAS TESIS

### 1. DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres: (solo los datos del que autoriza)

SEGURA REQUEJO MIGUEL

D.N.I. : 46611342

Domicilio : Luis Castilla Portilla #265 urb. La Primavera

Teléfono : Fijo : ..... Móvil : 935262046

E-mail : miguelsegurar@gmail.com

### 2. IDENTIFICACIÓN DE LA TESIS

Modalidad:

Tesis de Pregrado

Facultad : INGENIERÍA

Escuela : INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Carrera : INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Título : INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Tesis de Post Grado

Maestría

Doctorado

Grado : .....

Mención : .....

### 3. DATOS DE LA TESIS

Autor (es) Apellidos y Nombres:

SEGURA REQUEJO MIGUEL

Título de la tesis:

DISEÑO DE ESTRUCTURA SOPORTE DE CÁMARA TERMOGRÁFICA  
DE UN DRONE-HEXAROTOR PARA OPTIMIZAR TIEMPO DE  
INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA-HERZAB-  
S.A.C

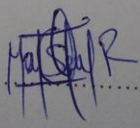
Año de publicación : ..... 2018 .....

### 4. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN VERSIÓN ELECTRÓNICA:

A través del presente documento,

Si autorizo a publicar en texto completo mi tesis.

No autorizo a publicar en texto completo mi tesis.

Firma : .....  .....

Fecha : ..... 16-04-19 .....



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

EP. INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

MIGUEL SEGURA REQUEJO

INFORME TÍTULADO:

DISEÑO DE ESTRUCTURA SOPORTE DE CÁMARA TERMOGRÁFICA DE UN DRONE-HEXAROTOR PARA OPTIMIZAR TIEMPO DE INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA-HERZAB-S.A.C

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

---

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

SUSTENTADO EN FECHA: 16/04/2019

NOTA O MENCIÓN: APROBADO POR UNANIMIDAD



*[Handwritten signature of Miguel Segura Requejo]*

FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN