



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA AERONAVE NO TRIPULADA TIPO OCTOCÓPTERO CON MODELAMIENTO DE OBJETOS EN 3D A PARTIR DE IMÁGENES 2D PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA”

- ❖ DIMITRI BERNARDO HINOJOSA ESPINOZA
- ❖ CRISTIAN PAÚL MONTALUISA PILATASIG

Latacunga, 2014



OBJETIVO GENERAL

“Diseñar y Construir una aeronave no tripulada tipo Octocóptero con modelamiento de objetos en 3D a partir de imágenes 2D para el laboratorio de Mecatrónica.”

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Diseñar la estructura del octocóptero para permitir un mejor desempeño al realizar maniobras de vuelo.
- Implementar el sistema motriz de vuelo del octocóptero. Desarrollar el sistema de control de vuelo o interfaz humano máquina del octocóptero.
- Adquirir imágenes a través del posicionamiento en el espacio del octocóptero.
- Obtener objetos 3D a partir de imágenes con procesamiento de digital. Implementar un espacio de trabajo adecuado para el funcionamiento del octocóptero.



CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Multicóptero.- Es principalmente un helicóptero con varios ejes y motores independientes capaz de elevarse paralelamente al suelo. Entre su clasificación están: tricóptero, cuadricóptero, hexacóptero, octocóptero, su denominación dependerá del número de motores que utilicen. Tienen gran estabilidad y la capacidad de levantar carga útil dependiendo de la aplicación



PRINCIPALES FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE UN UAV



SISTEMA DE NAVEGACIÓN INERCIAL (INS)

Un sistema de navegación inercial permite tener un control de vuelo estable mediante el análisis de las variables que existen en la aeronave como son: la posición, velocidad y altitud, con relación a un sistema de referencia inercial, estas variables son obtenidas a partir de IMU. Los errores de las mediciones que existen en los acelerómetros y giroscopios se minimizan cuando agregamos sensores redundantes (ayudas de navegación):

- ▶ GPS
- ▶ Altímetro barométrico
- ▶ Magnetómetro
- ▶ Sensores de velocidad
- ▶ Sensores ópticos de línea de vista
- ▶ Radar, sonar



MOTORES SIN ESCOBILLAS



HÉLICE



- ▶ Diámetro.
- ▶ Paso
- ▶ Palas

BATERÍA DE POLÍMERO DE LITIO (LIPO)



CONTROLES ELECTRÓNICOS DE VELOCIDAD (ESC's)



FIBRA DE CARBONO



TARJETA CONTROLADORA DE VUELO DJI A2



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RECONSTRUCCIÓN 3D A PARTIR DE VISTAS MÚLTIPLES.

La reconstrucción 3D a partir de varias imágenes es la creación de modelos tridimensionales a partir de un conjunto de imágenes. Es el proceso inverso de la obtención de imágenes en 2D a partir de escenas en 3D.



OCTOCÓPTERO

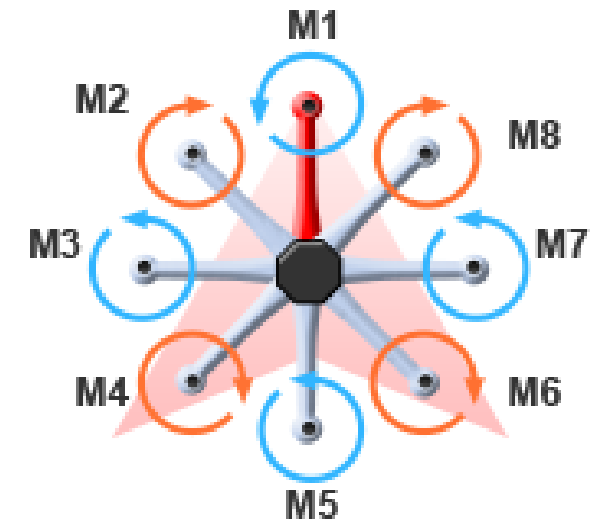


SISTEMA MECÁNICO

Tabla.- Parámetros Iniciales de diseño del octocóptero.

Motores	8
Tiempo de Vuelo Máximo	5 min.
Dimensiones Máximas	72 cm. diámetro 37 cm. Alto
Peso en Vacío	5 Kg.
Carga Útil	1 Kg.
Velocidad Máxima	3 m/s
Factor de Seguridad	3
Factor de Carga	1,5

SELECCIÓN DEL TIPO DE ESTRUCTURA



Octo-rotor I

DIMENSIONAMIENTO DEL TUBO DE FIBRA DE CARBONO (BRAZO) DEL OCTOCÓPTERO

$$W_T = \text{Peso en vacío} + \text{Carga útil}$$

$$W_T = 4,3 \text{ Kgf.}$$

Dónde: W_T = Es el peso total del octocóptero

$$W_D = W_T \times Fc$$

$$W_D = 6,45 \text{ Kgf}$$

Dónde: Fc = Factor de carga de la tabla 2.1 de los parámetros iniciales.

W_D = Peso de diseño.

$$P_{DM} = \frac{W_D}{\text{Número de motores}}$$

$$P_{DM} = 0,806 \text{ Kgf} \cong 7.9 \text{ N}$$

Dónde: P_{DM} = Fuerza de diseño de cada motor.

CÁLCULO DEL ESFUERZO EN EL TUBO DE FIBRA DE CARBONO MEDIANTE SOFTWARE MD SOLID



Ubicación de la fuerza ejercida sobre el tubo a estudiarse.

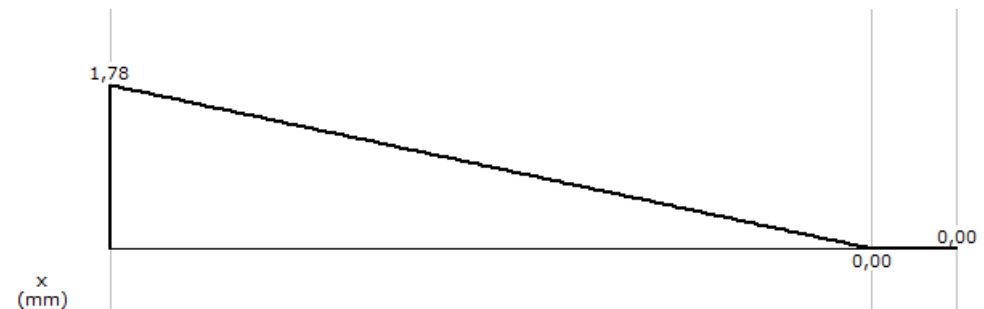


Diagrama de Momento flector del tubo de fibra de carbono.



Tipo de Fibra de Carbono = 3K a 90°
 Resistencia última a la Tracción = 191 MPa.
 Resistencia última a la Compresión = 57,3 MPa.

$$\sigma_{flex} = \pm \frac{M_{max}}{Z}$$

Donde: σ_{flex} Esfuerzo por flexión [MPa].

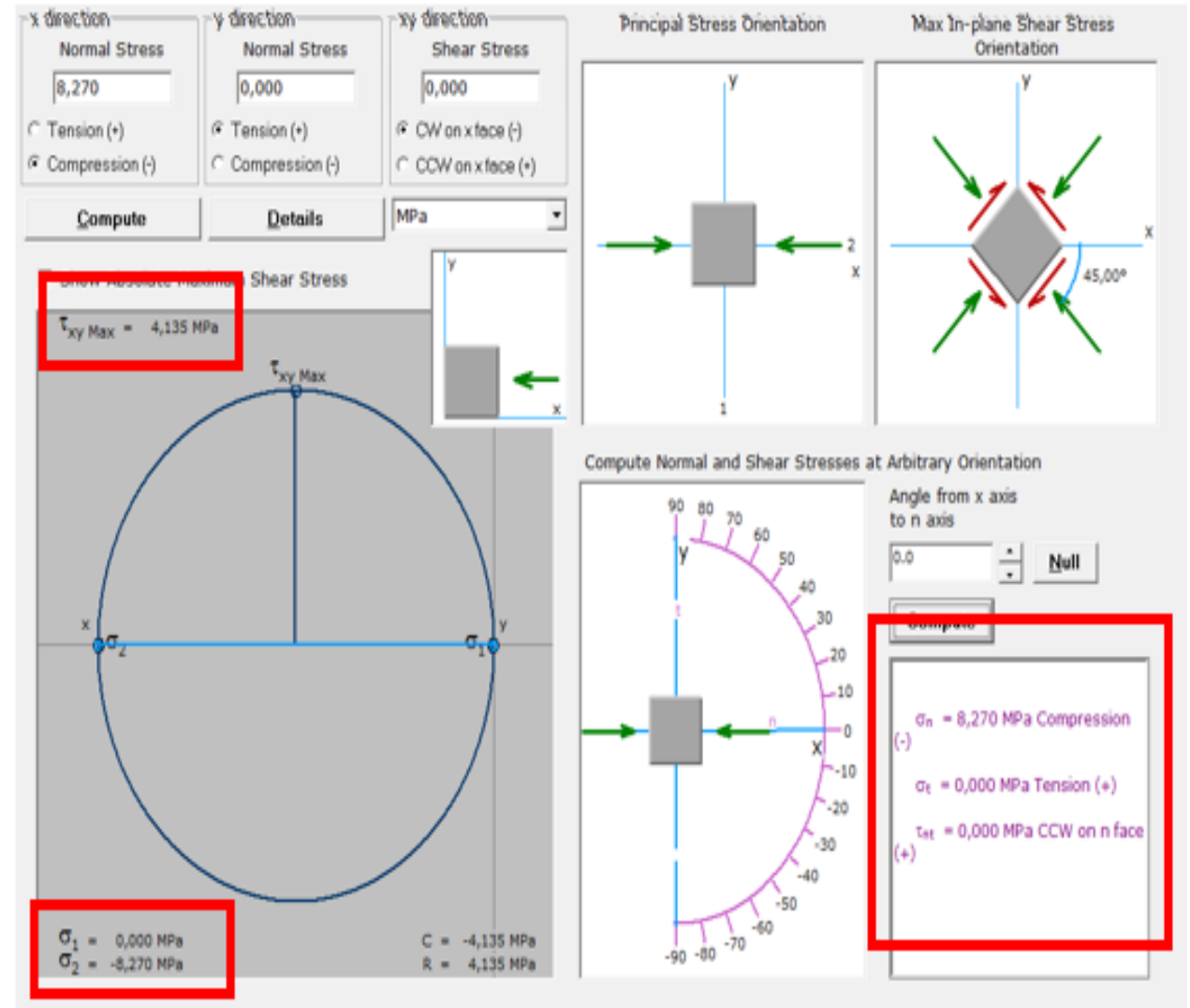
M_{max} Momento flector máximo generado en el tubo [Nm]

Z Momento de inercia de la sección transversal [MPa].

$$\sigma_{flex} = \pm \frac{M_{max}}{\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}}$$

$$\sigma_{flex} = \pm \frac{1,78 \text{ Nm}}{\pi(0,018^4 - 0,016^4)} \cdot 32D$$

$$\sigma_{flex} = \pm 8,27 \text{ MPa}$$



$$\sigma_2 = -\frac{S_{uc}}{FS}$$

Donde: σ_2 esfuerzo por compresión (círculo de Mohr [MPa]).

S_{uc} Resistencia última de compresión [MPa].

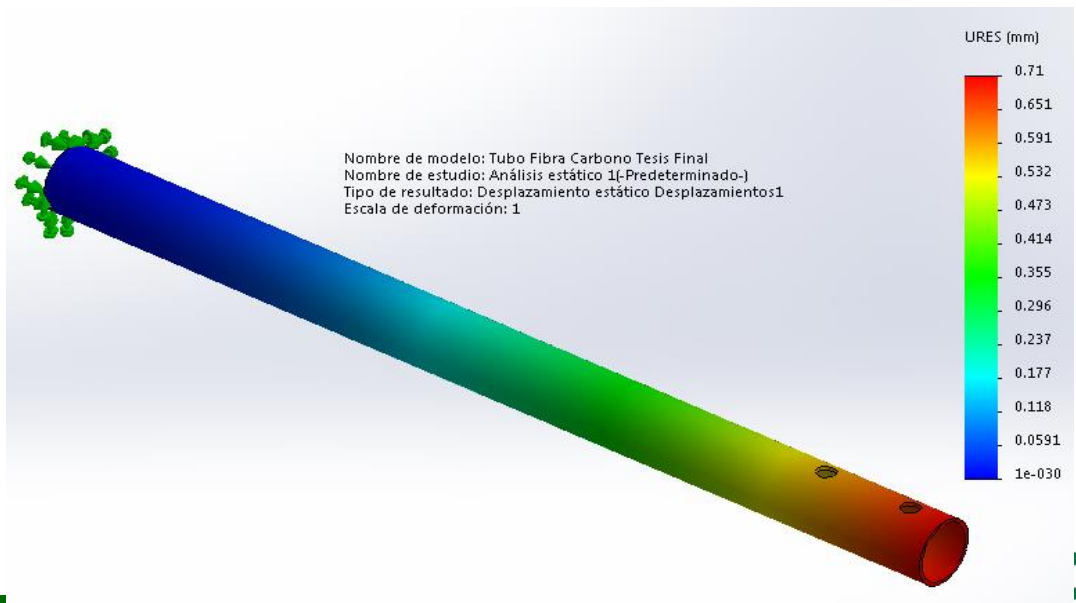
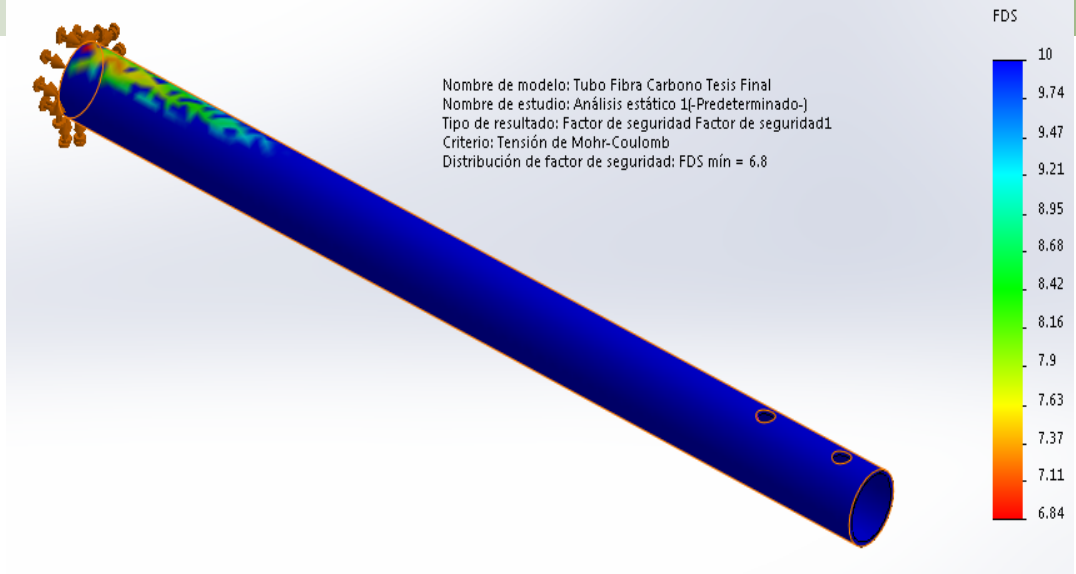
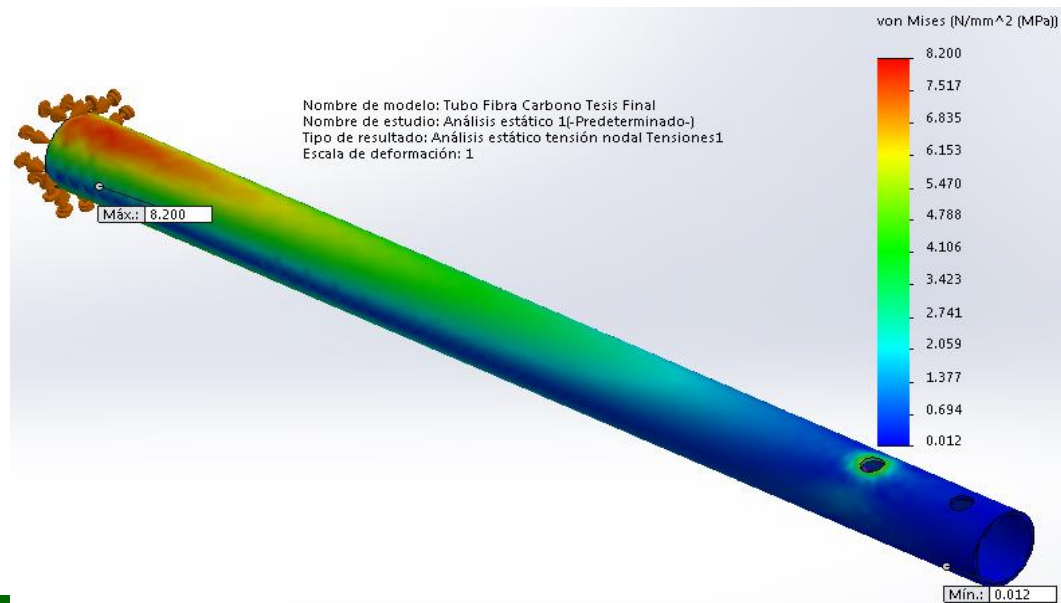
FS Factor de Seguridad

Despejamos el factor de seguridad:

$$FS = -\frac{S_{uc}}{\sigma_2}$$

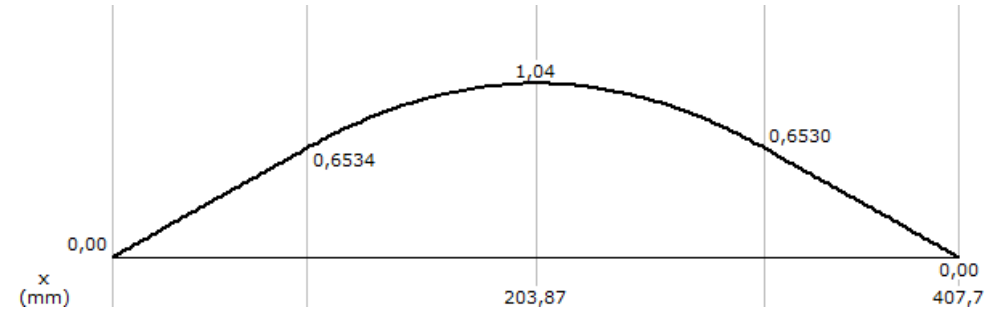
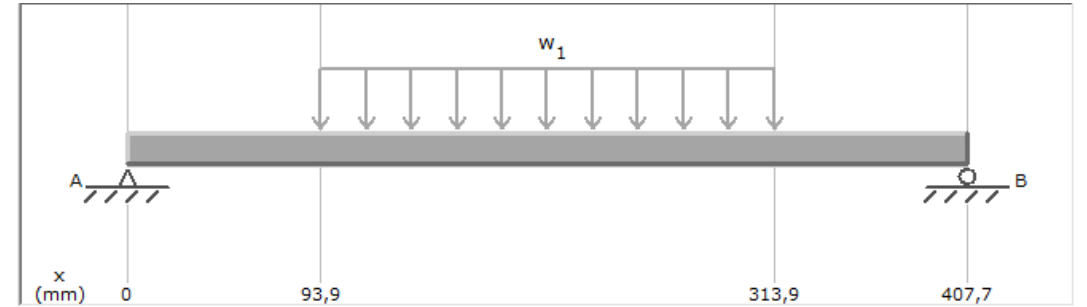
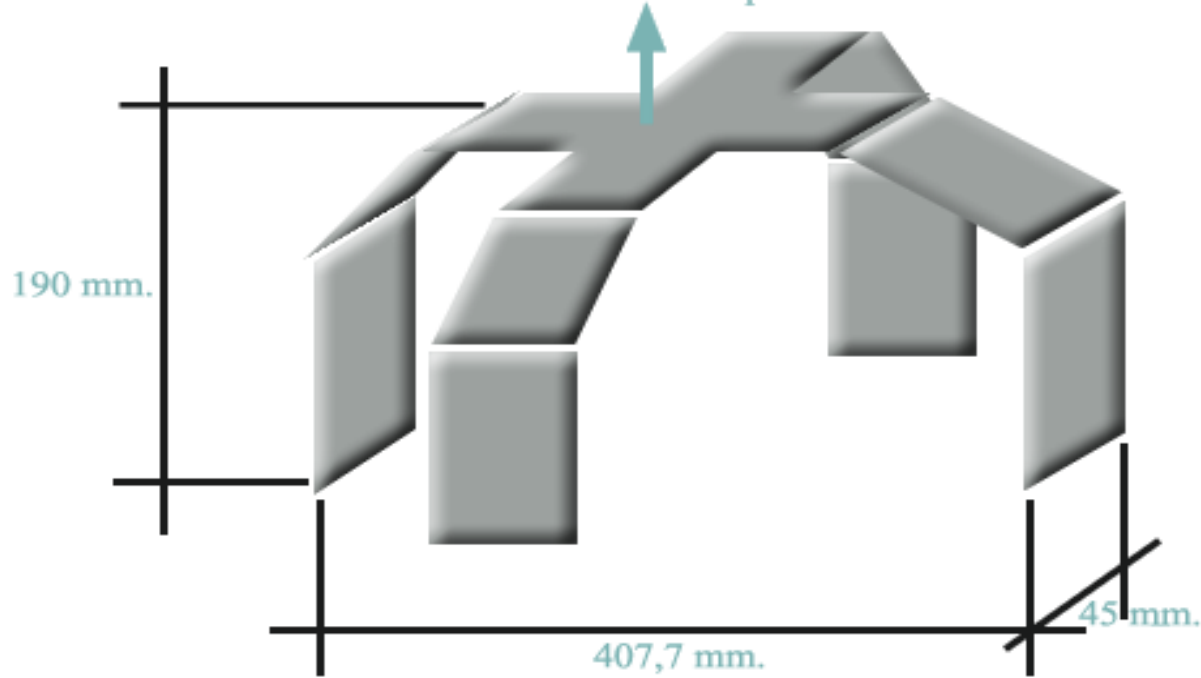
$$FS = \frac{-57,3 \text{ MPa}}{-8,3 \text{ MPa}}$$

$$FS = 6,91$$



DIMENSIONAMIENTO DEL SOPORTE DE ALUMINIO DEL OCTOCÓPTERO

Unión con la
base del Octocóptero



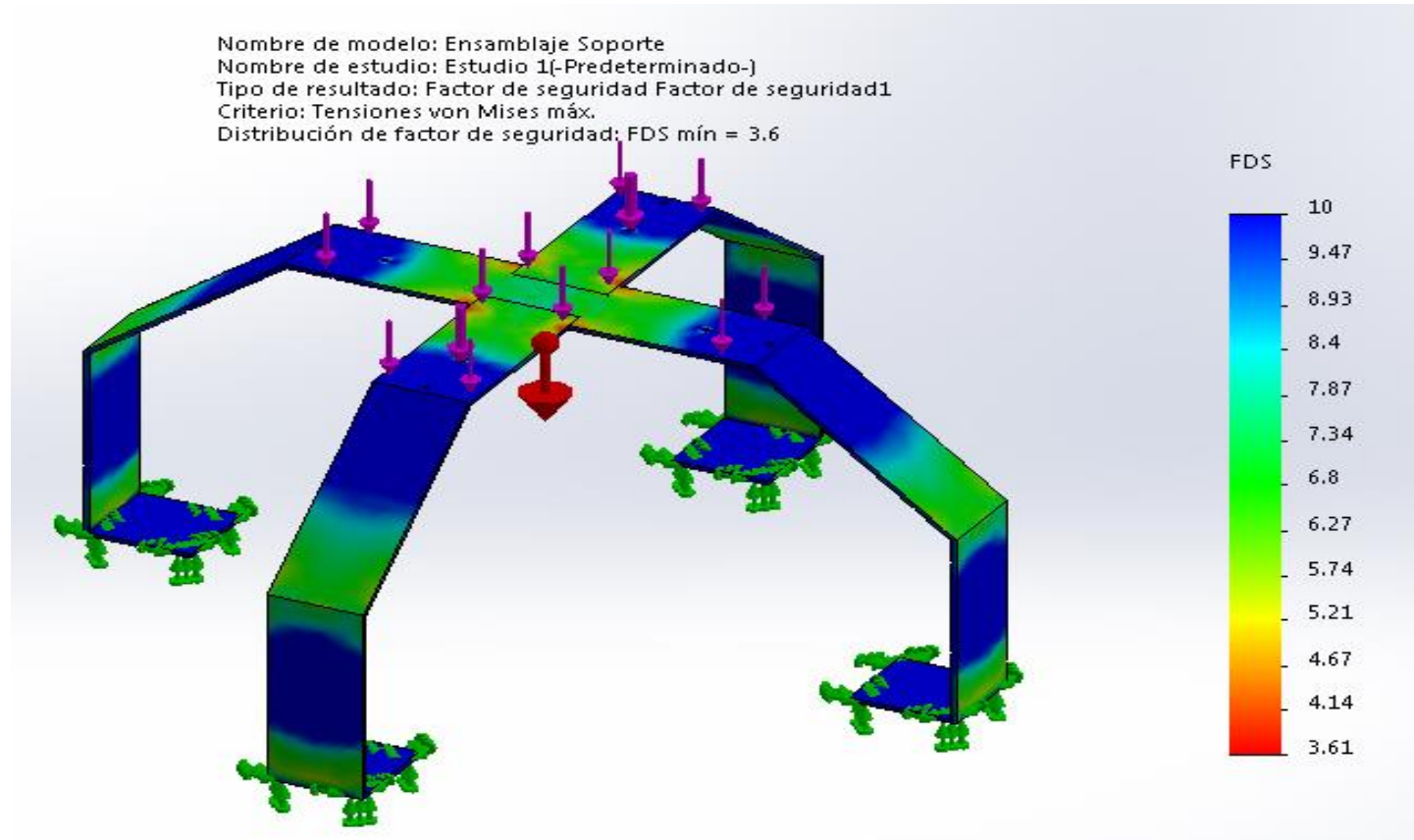
CÁLCULO DEL ESFUERZO EN EL SOPORTE DE ALUMINIO MEDIANTE SOFTWARE MD SOLID.

Tipo de Aluminio = 2024-O

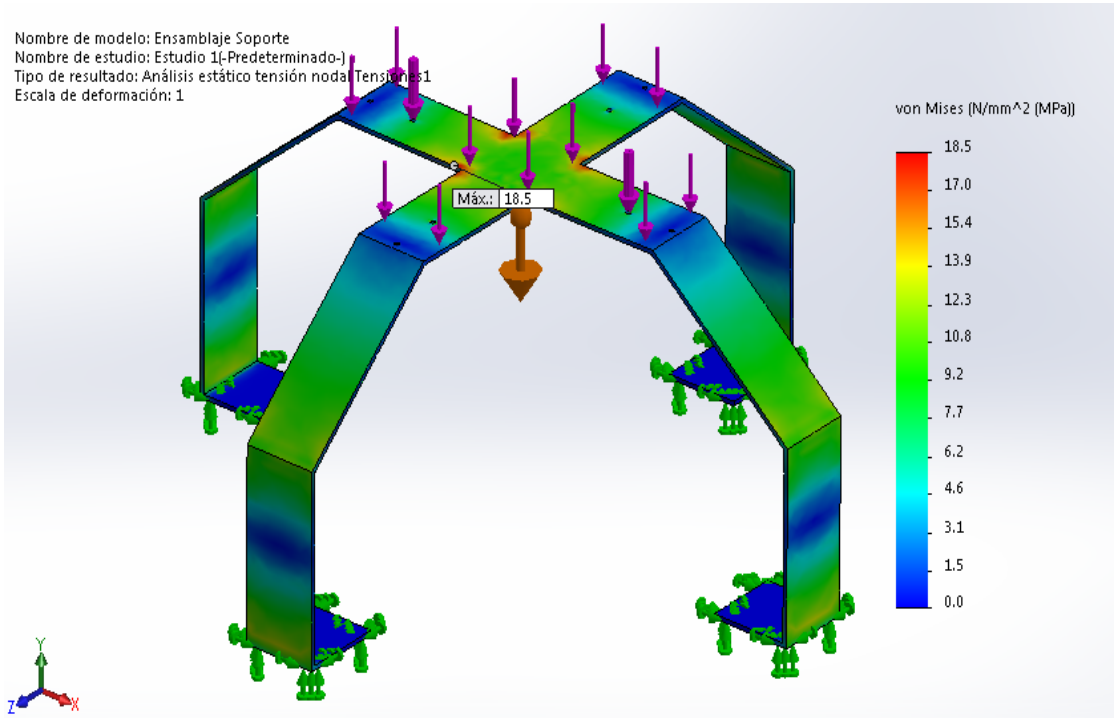
Esfuerzo de fluencia= 75 MPa.

Módulo de Elasticidad = 72,4 GPa.

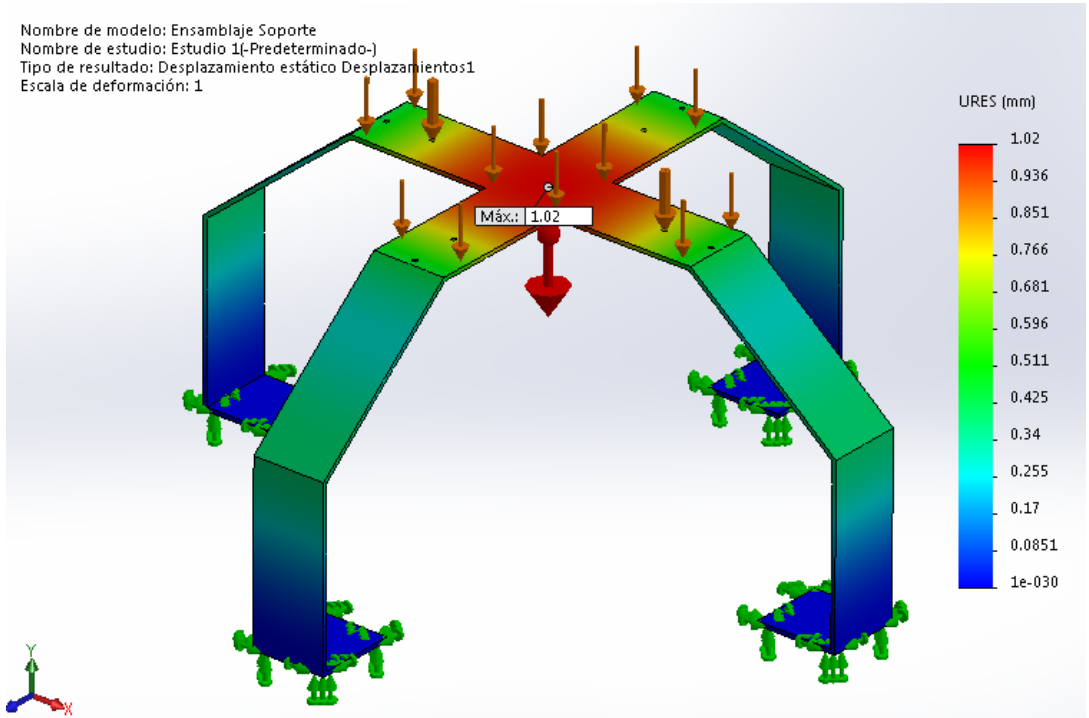
$$\sigma = \frac{S_y}{N}$$
$$N = \frac{75 \text{ MPa}}{22,18 \text{ MPa}}$$
$$N = 3,38$$



Nombre de modelo: Ensamblaje Soporte
Nombre de estudio: Estudio 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión noda Tension1
Escala de deformación: 1



Nombre de modelo: Ensamblaje Soporte
Nombre de estudio: Estudio 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1



SELECCIÓN DE LOS MOTORES BRUSHLESS

Tabla.- Comparación entre motores adquiridos para el proyecto.

Motores	KV (RPM/V)	Peso (gr.)	Corriente Máxima (A)	Empuje (gr.)	Baterías	Hélices (in.)
2212A	1 000	56	22	800	LiPo 3S	6 x 4
						10 x 5
Rctimer HP2217	1 500	90	40	1 610	LiPo 2S	7 x 6
					LiPo 4S	10 x 5

SELECCIÓN DE HÉLICES



Helices 8045

Selección de las Baterías

Tabla.- Valores iniciales de baterías.

Voltaje (V)	11,1 a 14,8
mAh (miliamperios hora)	5 000 a 10 000
20C a 60C (capacidad de descarga A)	150 a 360
Número de Celdas	3S a 4S

CÁLCULO DEL TIEMPO DE VUELO

$$TIEMPO DE VUELO = \frac{CARGA TOTAL DE BATERÍAS}{CARGA TOTAL DE MOTORES}$$

$$TIEMPO DE VUELO = \frac{2 \times 6,6 \text{ Ah}}{8 \times 40 \text{ A}}$$

$$TIEMPO DE VUELO = 0,04125 \text{ h}$$

$$TIEMPO DE VUELO = 2,47 \text{ min.}$$

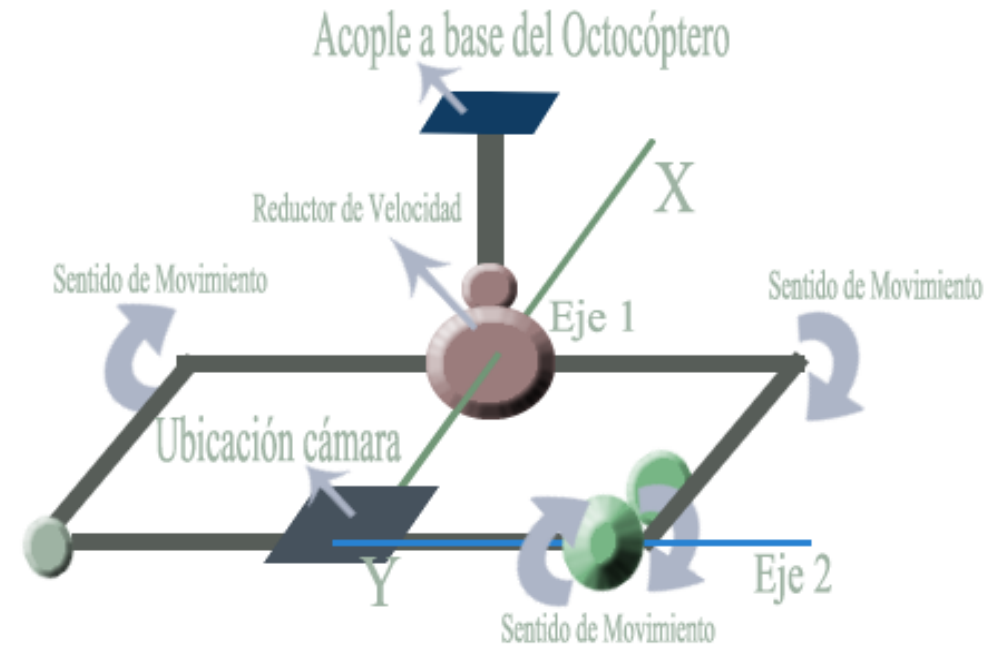


DISEÑO DE SOPORTE PARA LA CÁMARA.

PARÁMETRO INICIALES DE DISEÑO

Tabla.- Parámetros para el diseño del soporte.

Peso total (todo el diseño)	1 Kg.
Número de Ejes	2 (pitch, roll)
Servomotores	2
Dimensiones	22 x 17 x 18 cm



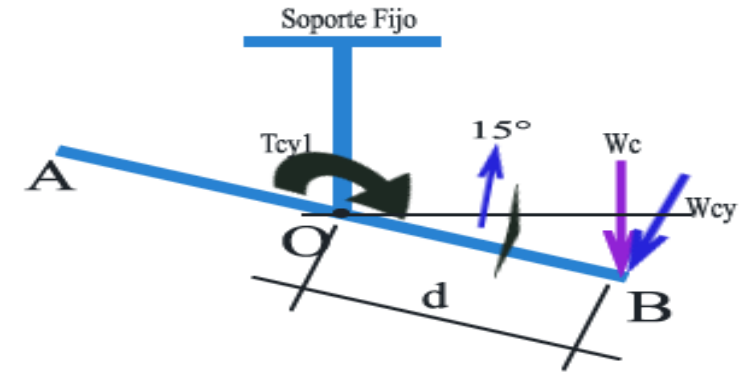
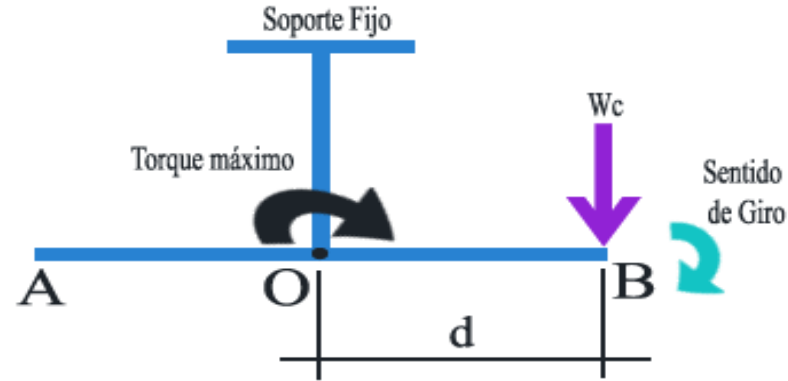
CÁLCULO DEL TORQUE EN EL PRIMER EJE.

Datos:

$m = 1 \text{ Kg.}$ (Parámetro inicial)

$d = 0,11 \text{ m.}$

$\alpha = 15^\circ$



Cálculo de la fuerza al extremo del soporte:

$$W_C = m * g$$

$$W_C = 9,81 \text{ N}$$

Descomposición de la fuerza con el Ángulo de 15°

$$\text{Cos}(\alpha) = \frac{W_{cy1}}{W_C}$$

$$W_{cy1} = 7,45 \text{ N}$$

Cálculo del torque generado en el punto O.

$$T_{cy1} = W_{cy1} * d$$

$$T_{cy1} = 7,45 * 0,11$$

$$T_{cy1} = 0,82 \text{ Nm.}$$



CÁLCULO DEL TORQUE EN EL SEGUNDO EJE.

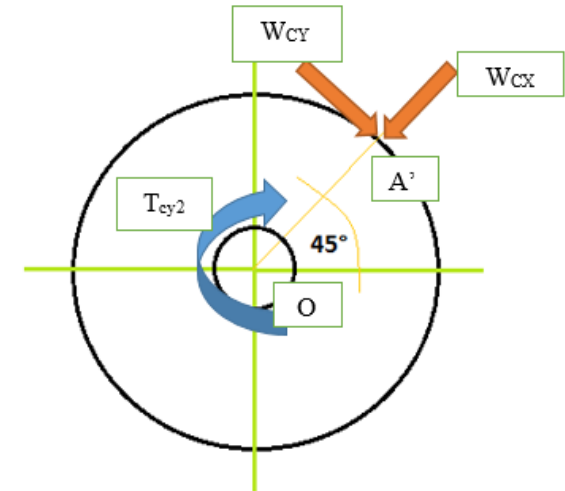
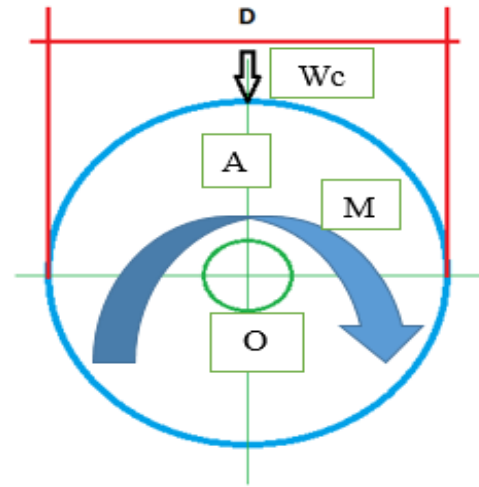
Datos iniciales:

$$W_c = 9,81 \text{ N}$$

$$D = 0,018 \text{ m.}$$

$$r = 0,009 \text{ m. (R. de la circunferencia)}$$

$$\beta = 45^\circ$$



Descomposición de la fuerza W_c con el Ángulo de 45°

$$\text{Sen}(\beta) = \frac{W_{cy}}{W_c}$$

$$W_{cy} = 6,94 \text{ N}$$

Cálculo del torque generado en el punto O, la distancia a utilizarse será el radio del tubo.

$$T_{cy2} = W_{cy} * r$$

$$T_{cy2} = 6,94 * 0,009$$

$$T_{cy2} = 0,062 \text{ Nm.}$$



SELECCIÓN SERVOMOTORES

Características de los Servomotores:

- Marca: Hi-Tec
- Tipo: HS-311
- Torque: 3 Kg.cm a 5 V.
- Velocidad: 0,19 sec/60°
- Potencia: 0,162 Watts
- Alimentación: 5 V.
- Dimensiones: 41 x 20 x 37 mm.



ANÁLISIS DEL TORQUE DEL SERVOMOTOR HI TEC 311 RESPECTO A LOS EJES DE GIRO

$$T_{max} = 3 \text{ Kg}f * \text{cm} \cong 0,2942 \text{ Nm}$$

$$\text{EJE 1} \quad T_{cy1} = 0,82 \text{ Nm.}$$

$$\text{EJE 2} \quad T_{cy2} = 0,062 \text{ Nm.}$$

- En el primer eje el torque $T_{cy1} > T_{max}$ entonces el servomotor seleccionado no soportaría dar movimiento al eje, dado este caso es necesario diseñar un sistema de transmisión reductor para adaptarlo al servomotor y permitir el uso del mismo además de permitir la reducción de la velocidad angular de giro.
- En el segundo eje el torque $T_{cy2} < T_{max}$ esta relación hace factible el uso del servomotor directamente el eje, aunque debido al factor de velocidad vamos igualmente que el eje 1, acoplar un reductor de velocidad con la diferencia en su relación de transmisión no debería ser tan grande.



CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN PARA CADA EJE

Transmisión 1		
	Engrane 1	Engrane 2
De (mm)	19	60
Dp (mm)	18	58
Z	18	58
m	1	1
p	3,14	3,14
Dc (mm)	38	
Rt	3,2	

Transmisión 2		
	Engrane 1	Engrane 2
De (mm)	32	47
Dp (mm)	30	45
Z	30	45
m	1	1
p	3,14	3,14
Dc (mm)	37,5	
Rt	1,5	

$\omega_1 = 0,55 \text{ rad/s}$ la velocidad angular del servomotor HI TEC

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{3,2}$$

$$\omega_2 = 0,172 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{SM} = T_{max1} * \omega_2$$

$$T_{max1} = \frac{0,162 \text{ Watts}}{0,172 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

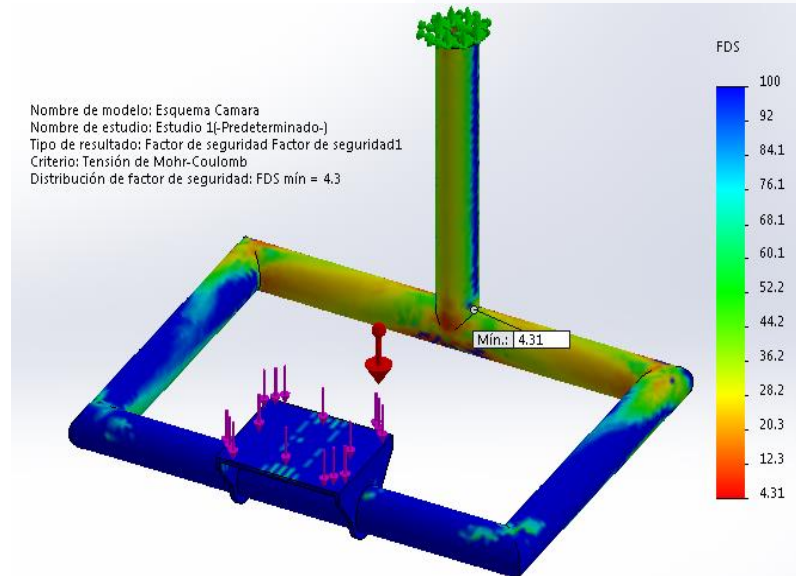
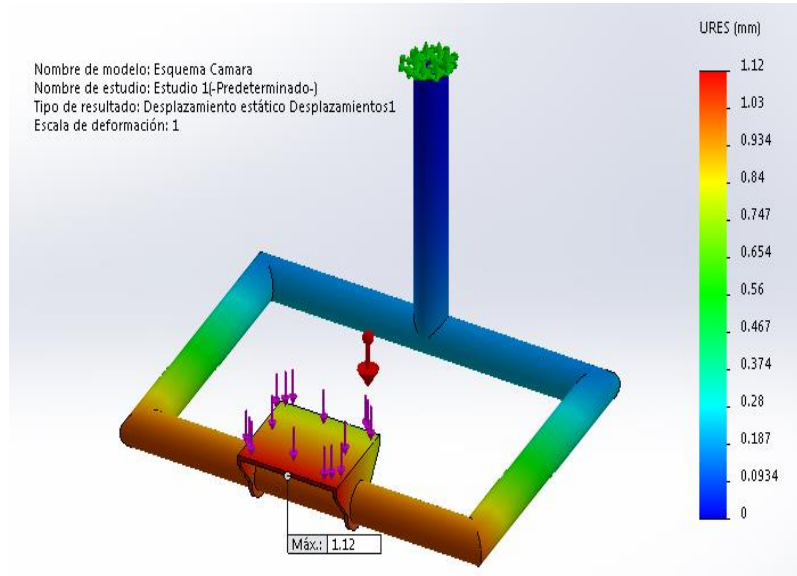
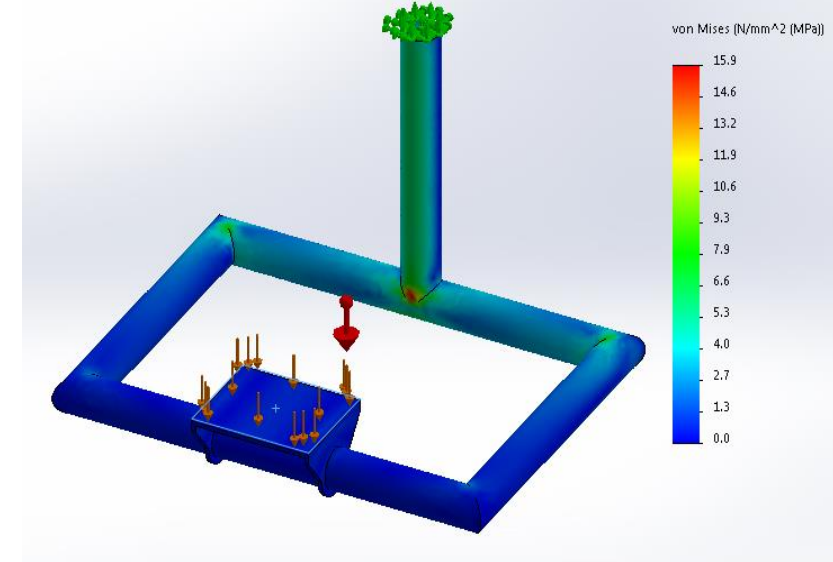
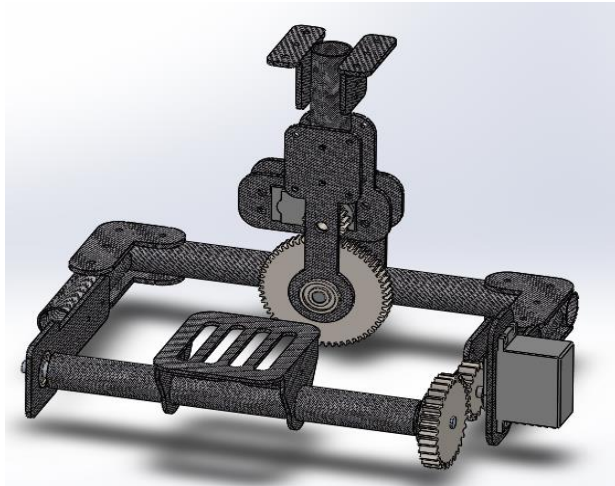
$$T_{max1} = 0,94 \text{ Nm.}$$

$$\omega_4 = 0,367 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

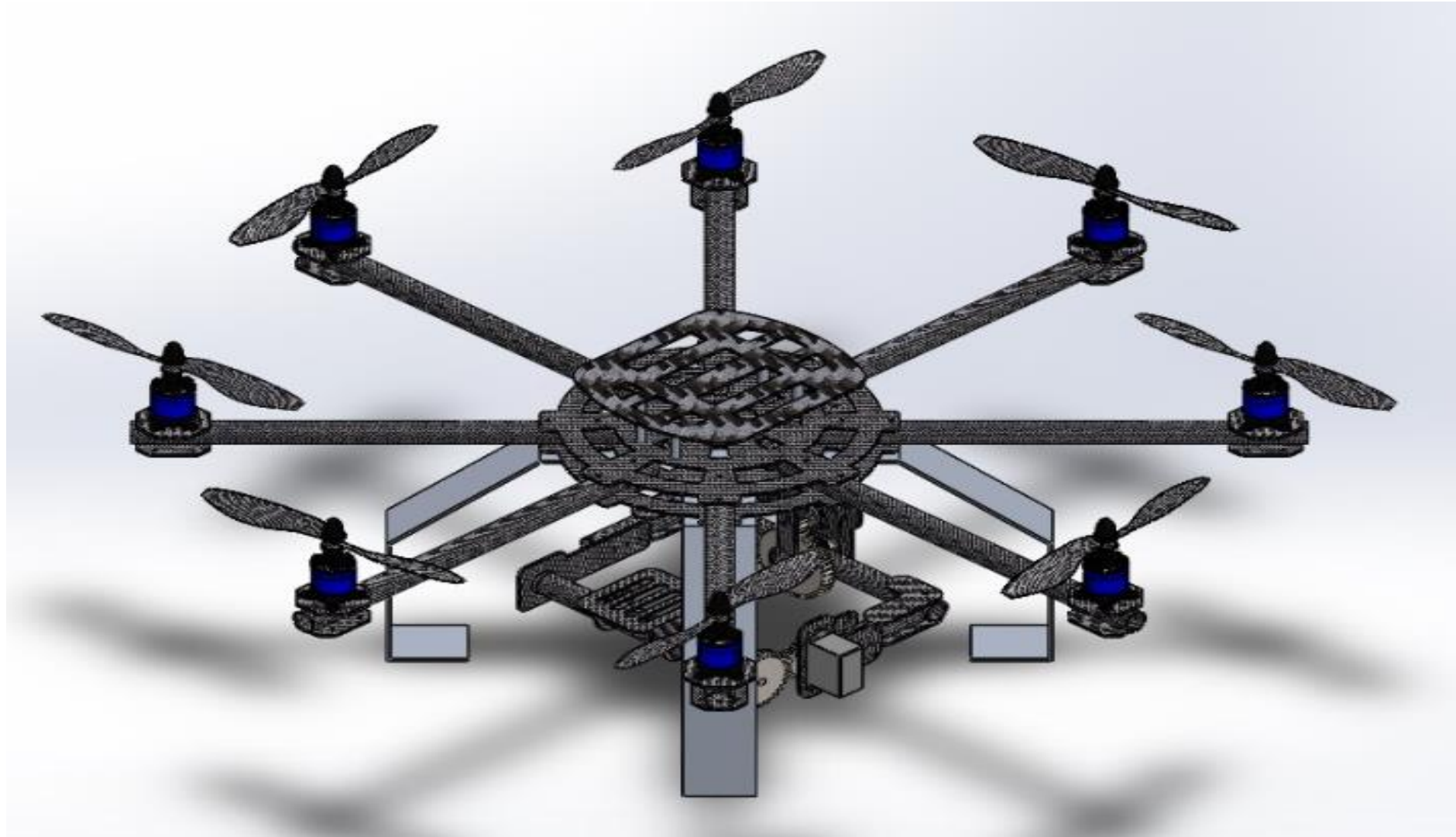
La velocidad angular ω_4 hace que el eje tenga un movimiento un poco más lento mejorando así la capacidad de posicionamiento de la cámara, durante las pruebas de vuelo verificaremos la teoría.



ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA SOPORTE DE LA CÁMARA



ESTRUCTURA DEL OCTOCÓPTERO Y DEL SOPORTE DE LA CÁMARA FINALIZADAS



SISTEMA ELECTRÓNICO.



Características Técnicas:

- ▶ Multi-Rotor:
 - Quad-Rotor: 4, x4;
 - Hex-Rotor 6, x6, Y6, Rev Y6;
 - Octo-Rotor 8, x8, V8
- ▶ Transmisor Admitidos para Receptor Incorporado:

Futaba FASST Series y DJI Desst Series

- ▶ Batería Recomendada:
 - 2S ~ 6S LiPo.
- ▶ Precisión (En Modo GPS):
 - Vertical: $\pm 0,5$ m
 - Horizontal: ± 1.5 m
- ▶ Resistencia Máxima Del Viento:
 - < 8 m / s (17.9mph/28.8km/h)
- ▶ Max Velocidad Angular De Guiñada:
 - 150 grados / s
- ▶ Max Ángulo De Inclinación:
 - 35 °
- ▶ Ascenso / Descenso:
 - ± 6 m / s

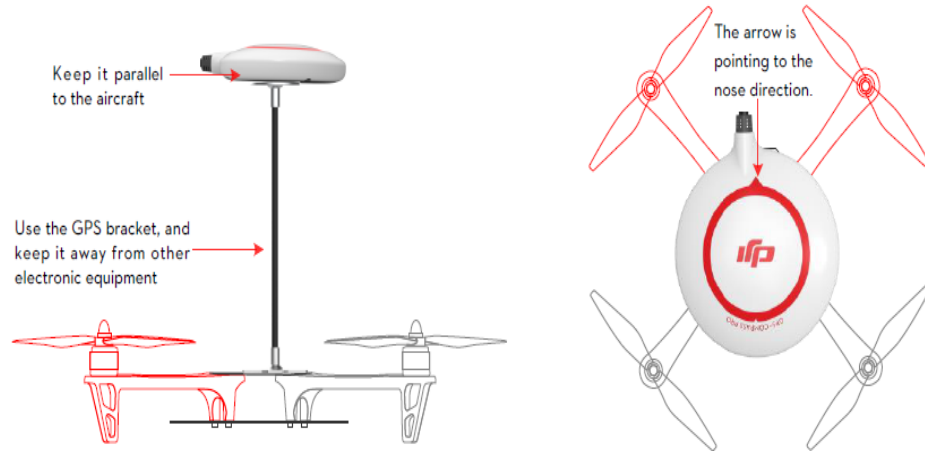


LA IMU

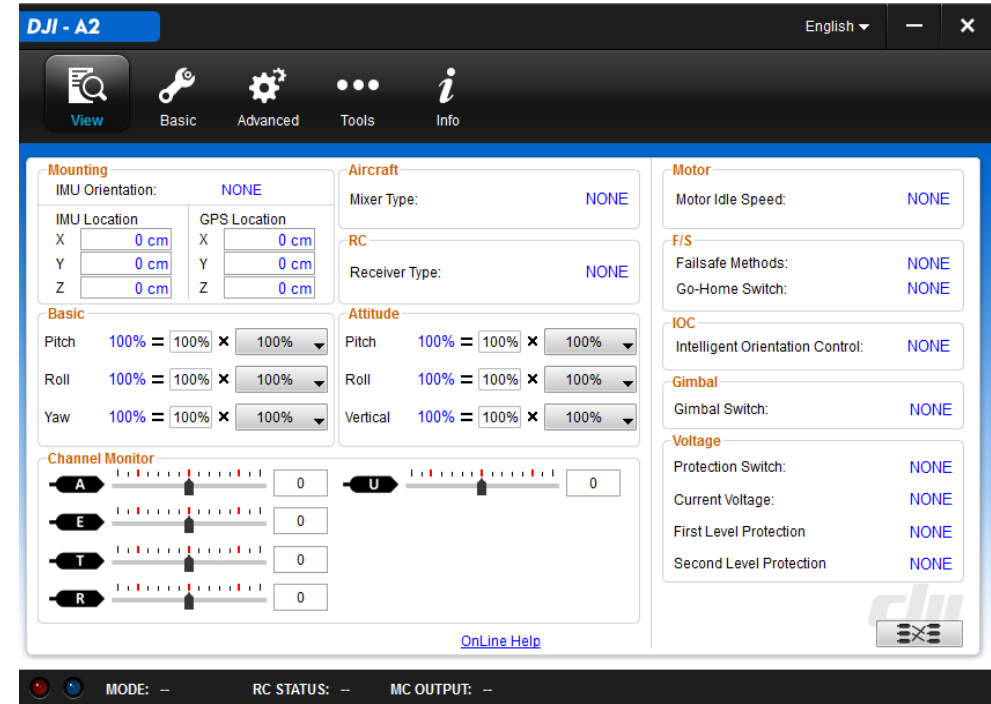
GPS COMPASS PRO

EI MÓDULO BLUETOOTH / LED

PMU



DJI A2 ASSISTANT



SISTEMA DE COMUNICACIÓN.



DJI 2.4 GHz DATA LINK



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

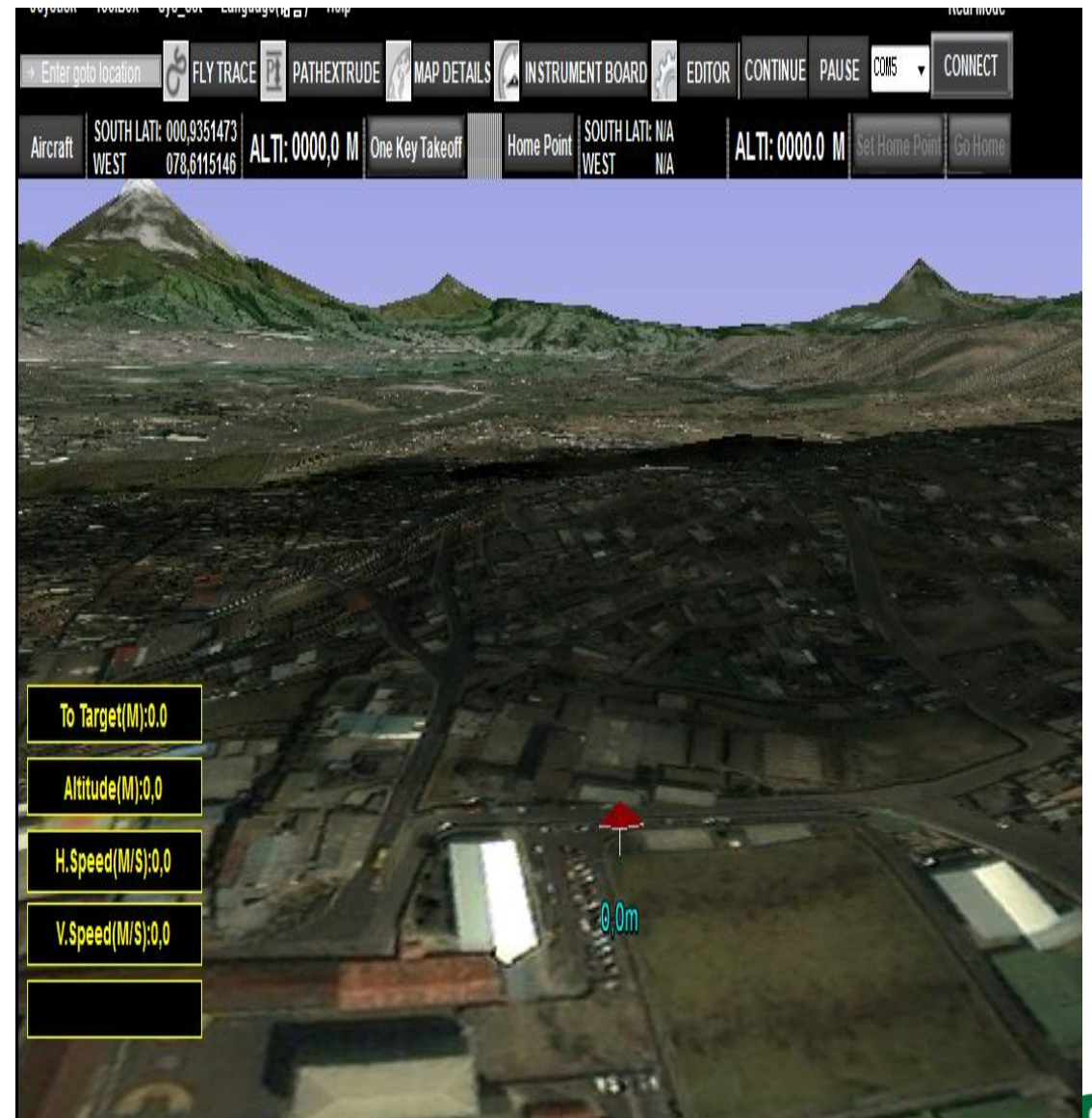
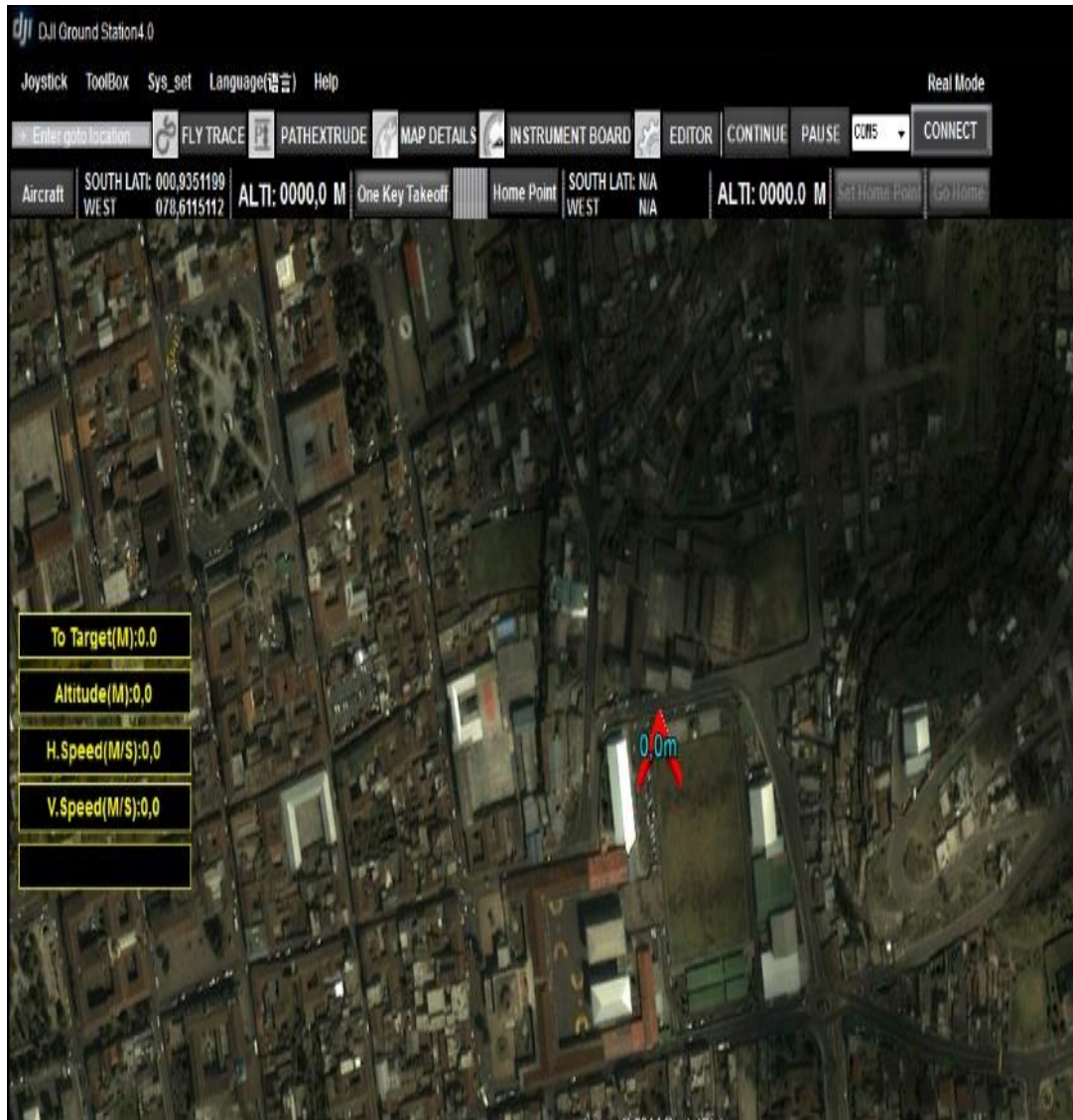
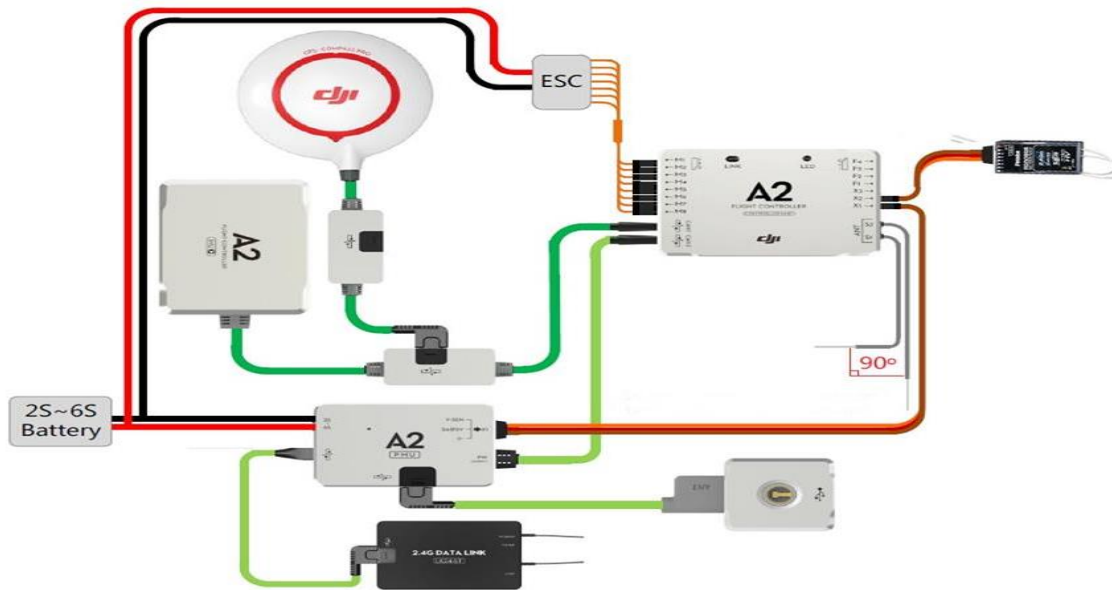
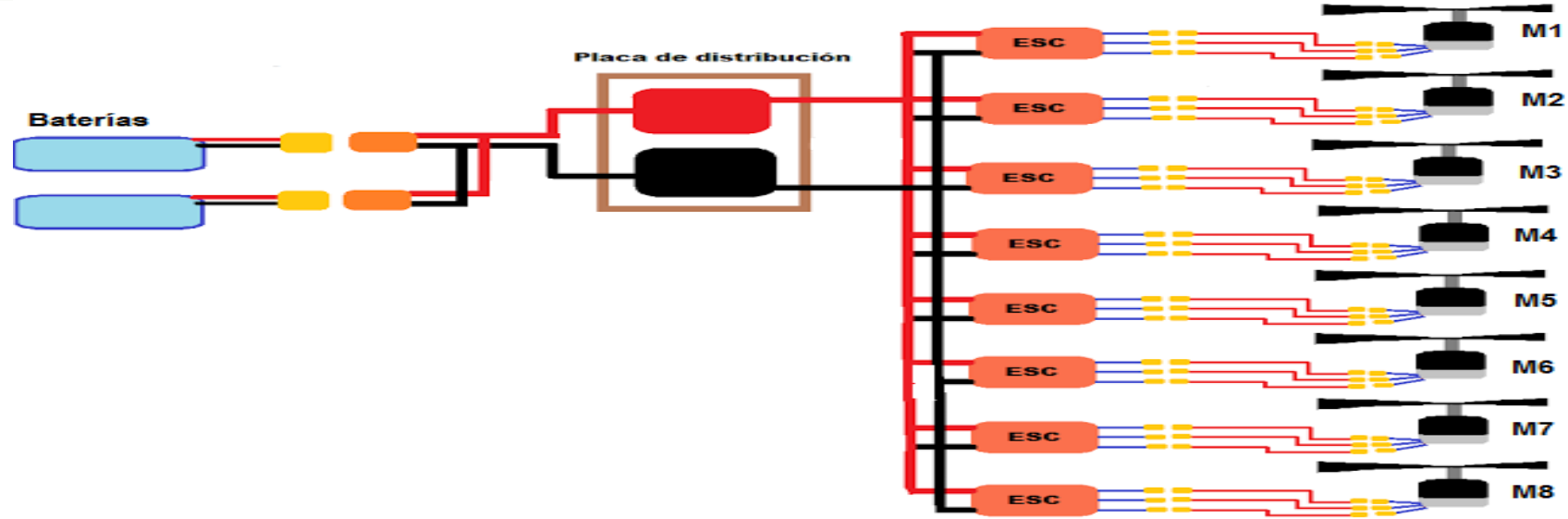


DIAGRAMA DE CONEXIONES.



RADIO CONTROL



Características Técnicas:

- Frecuencia: 2.4 GHz. S-FHSS
- Receptor: R2008SB de 8CHs
- Tipo de funcionamiento:
 - S-FHSS
 - S.BUS
- Alimentación: 5 V.



SELECCIÓN DE LA CÁMARA FOTOGRÁFICA.



Características Técnicas:

- Resolución sensor: 24,2 MP.
- Resoluciones (en píxeles): 6 016 x 4 000, 4 512 x 3 000, 3 008 x 2 000.
- Monitor: 3 in.
- Almacenamiento: SD Card, SD HC.
- Conexiones Inalámbricas: Wi-fi y GPS.

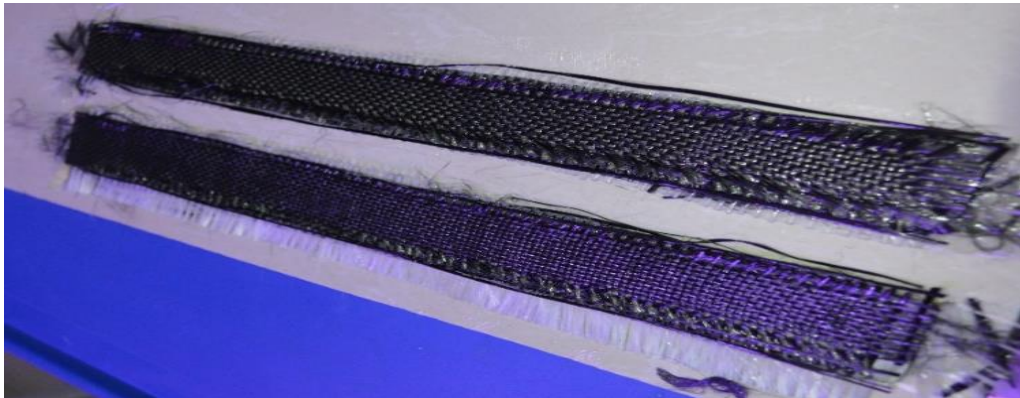
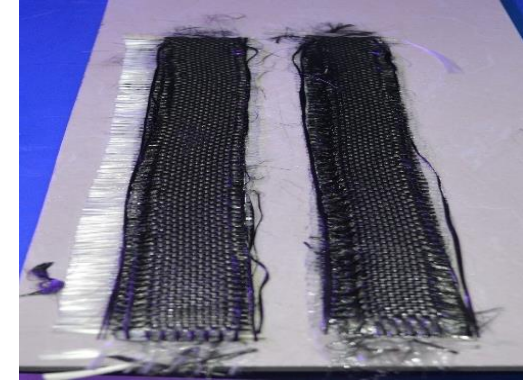
Características Técnicas:

- Seguridad Wi-Fi: Static WEP 64/128, WPA-PSK , WPA2-PSK
- Capacidad de almacenamiento: 8 GB
- Clase: 6 Speed
- Velocidad máxima de transferencia: 6MB/s
- Conexión: 802.11n Wi-Fi
- Rango: 90 ft (27.4m).



CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS



PRUEBAS DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN



Tabla.- Resultados de Tracción

Probeta	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Máximo (MPa)
4 Capas	9,62	191
6 Capas	10,58	210

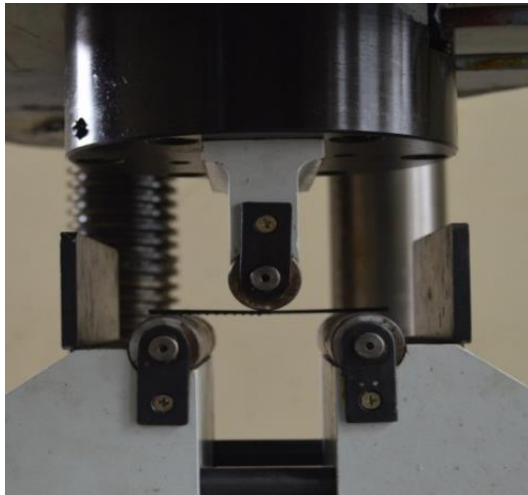
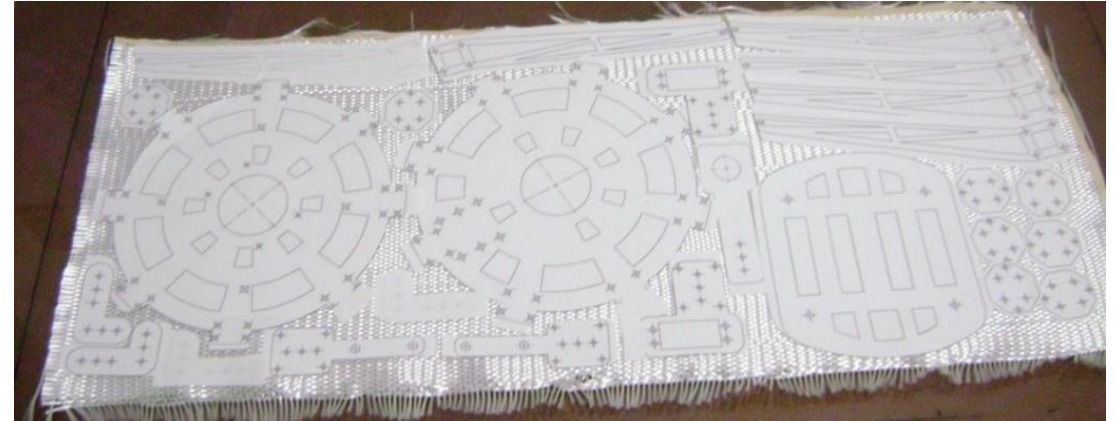


Tabla.- Resultados de Flexión.

Probeta	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Máximo (MPa)
4 Capas	1,86	69
6 Capas	1,87	72



CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LAS PIEZAS DEL OCTOCÓPTERO

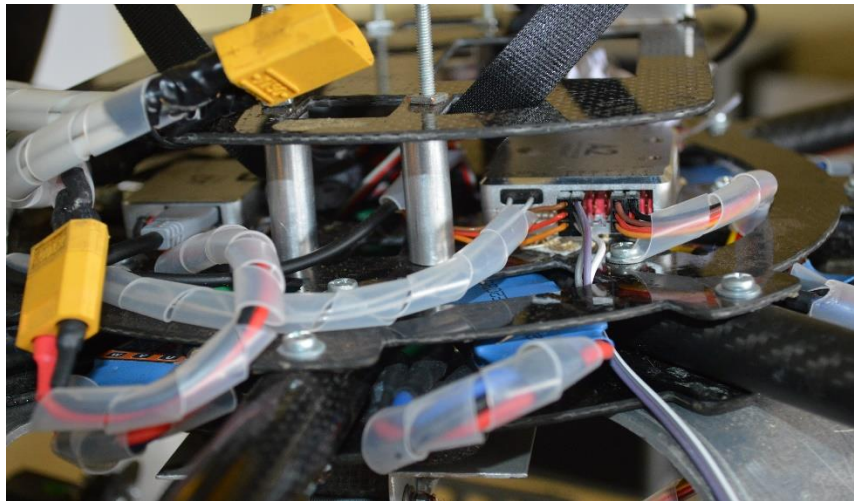


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

- **MONTAJE ESTRUCTURA**



- **MONTAJE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS**



PRUEBAS DE EMPUJE DE MOTORES



Peso (gr.)	Corriente ESC (A)	Corriente Baterías (A)	Velocidad (RPM)
0	0	0	0
50	0,009	0,5	3 849
100	0,029	0,8	5 186
150	0,035	1,3	6 635
200	0,3	2	7 040
250	0,033	2,8	7 760
300	0,078	3,5	8 460
350	0,34	4,7	9 130
400	0,029	5,3	9 660

Peso (gr.)	Corriente ESC (A)	Corriente Baterías (A)	Velocidad (RPM)
0	0	0	0
50	0,013	0,5	3 500
100	0,035	0,6	5 100
150	0,062	0,7	6 200
200	0,07	0,8	7 400
250	0,08	0,92	7 900
300	0,152	1,02	9 000
350	0,14	1,5	9 600
400	0,101	1,85	10 400
450	0,115	2,03	10 800
500	0,26	2,45	11 000
550	0,33	2,94	12 000
600	0,51	3,02	12 300
650	0,62	3,5	12 800
700	0,76	3,9	13 200
750	0,85	4,03	13 600
800	0,9	4,5	14 000
850	1,01	4,9	14 100



CARGA MÁXIMA.

PRUEBAS DE VUELO EN FORMA MANUAL

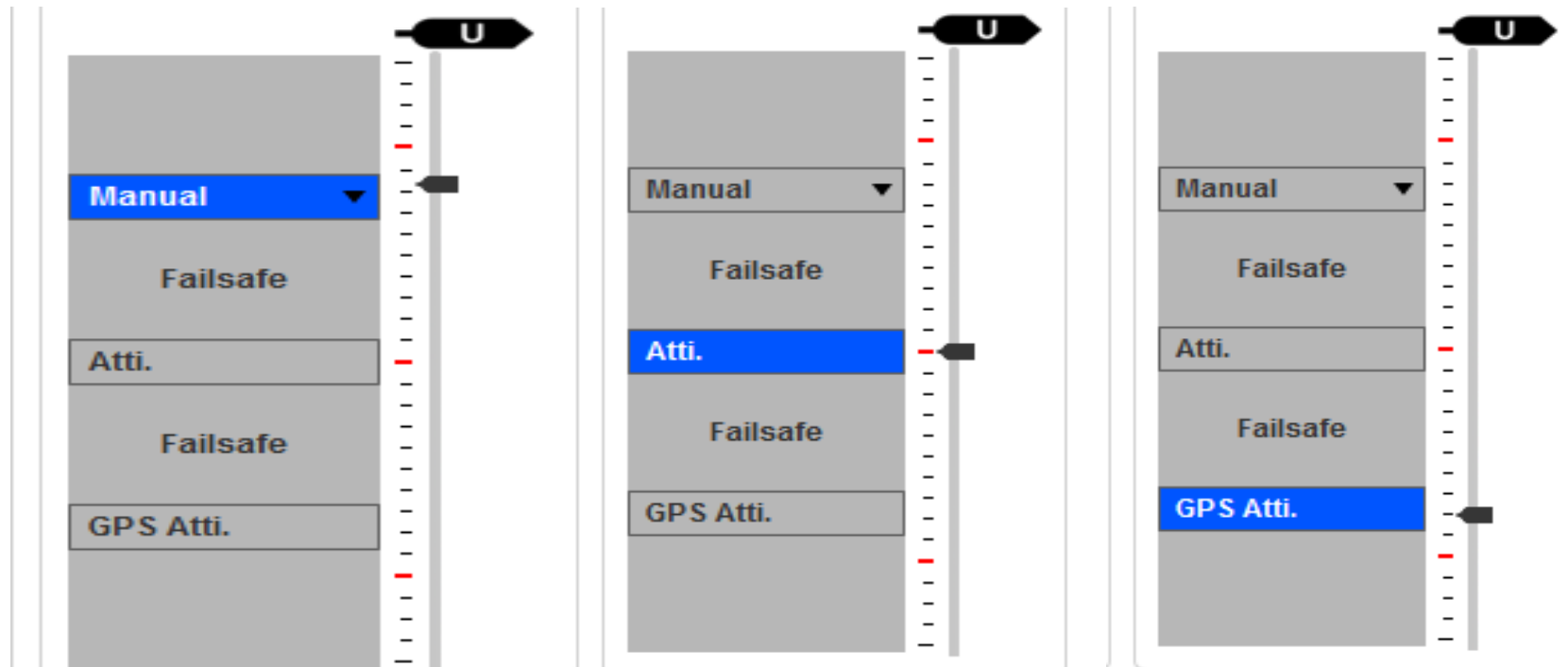
Componente	Cantidad	Peso Unitario (gr.)	Total (gr.)
Motores	8	90	720
Hélices	8	5,2	41,6
ESC	8	47	376
Baterías	1	600	600
Cámara	1	800	800
Tarjeta DJI A2	1	280	280
Accesorios +Estructura		2 062,4	2 062,4
Total			4 880



TIEMPO DE VUELO

En promedio del tiempo de vuelo es de 6 minutos sin levantar la cámara seleccionada y de 4 minutos con la cámara sujeta al soporte Este tiempo de vuelo es mayor al calculado en

MODOS DE VUELO



PRUEBAS DE VUELO AUTOMÁTICO

- UBICACIÓN EN EL MAPA
- UBICACIÓN DEL HOME
- UBICACIÓN PUNTOS RUTA
- DESPEGUE AUTOMÁTICO
- TIEMPOS DE ESPERA

dji DJI Ground Station 4.0

Joystick ToolBox Sys_set Language(语言) Help

Enter goto location FLY TRACE PATHEXTRUDE MAP DETAILS INSTRUMENT BOARD EDITOR CONTINUE PAUSE COM13 CONNECTED

Aircraft SOUTH LATI: 000,9351442 WEST 078,6115291 ALTI: 0003,2 M One Key Takeoff Home Point LATI: 000,9351443 WEST 078,6115289 ALTI: 0020,0 M Set Home Point

dji EDITOR

Editing Mission

- 0
- 1
- 2

Longitude	-78,6113357543945
Altitude	15
TurnMode	Adaptive_Bank_Turn
Forward_Flight_Speed	6
HeadingDegree	360
HoldTime	3
2.Way point action properties	
Period	0
RepeatTime	0
Period (Unit: second.) Setting the period of the action.	

+ - CLEAR SAVE OPEN

+1 +10 -1 -10

CANCEL UPLOAD GO

Current point flight time: 00:00:00
Total flight time: 00:00:00
Total estimated time of round trip: 00:01:39
Total distance of round trip: 133,265m

To Target(M):0,0
Altitude(M):3,2
H.Speed(M/S):0,1
V.Speed(M/S):0,1
MotorVoltage:15,2 V

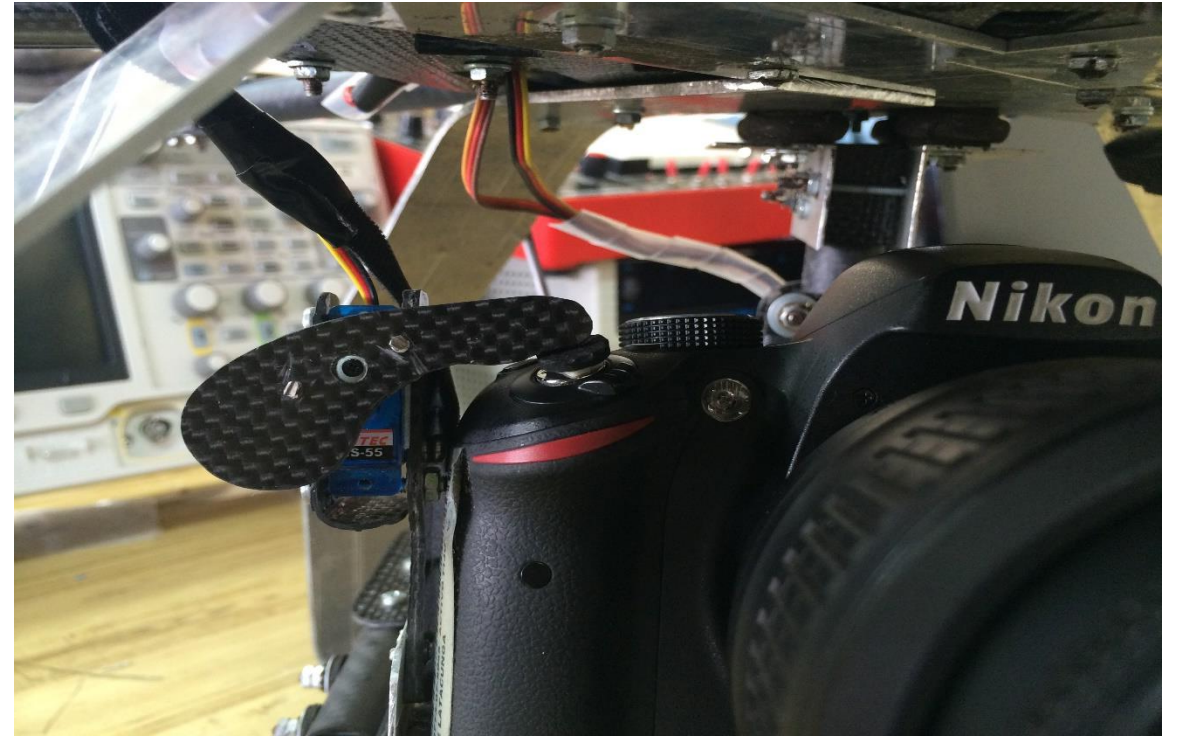
84 m Image © 2014 DigitalGlobe

Fechas de imágenes: 1/31/2007 1970 0°56'08.58" S 78°36'44.16" O elevación 2775 m Alt. ojo 3.13 km

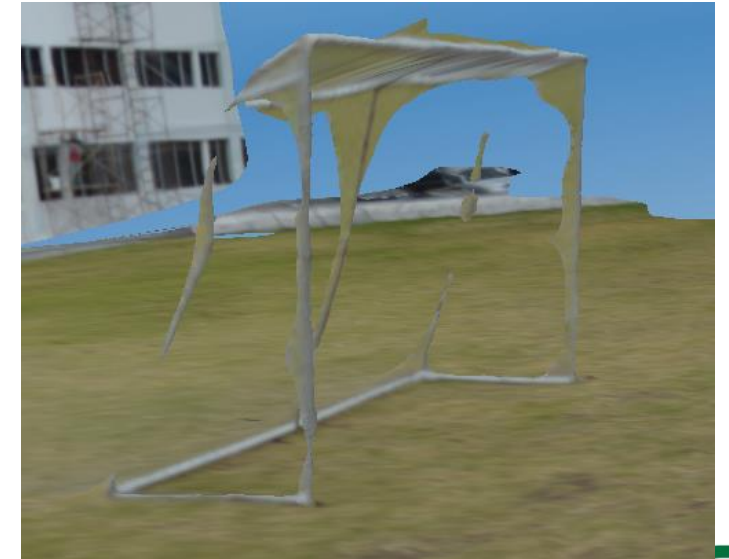
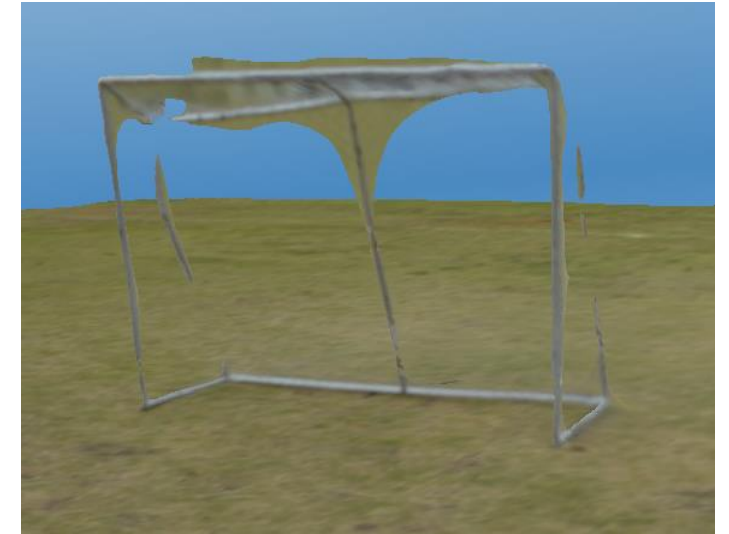
GPS: good | ATTI: good | MODE: gps atti | MotorVoltage: 15,2 V | 0 Cancel



FOTOGRAFÍA AÉREA







RECONSTRUCCIÓN A PARTIR DE IMÁGENES ADQUIRIDAS.



ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

Nombre Genérico	Cantidad	Valor total (\$)
Cámara Fotográfica Nikon D3200, de 24Mpx	1	1 100
Control Remoto para cámaras Nikon	1	19,4
Eye-Fi	1	82,4
Cargador de Baterías tipo LiPo	1	37,25
ESC Controlador de Corriente para motores	8	179
Distribuidor de potencia para motores	1	24,65
Motores HP2217	8	210,35
Controladora DJ A2	1	1 650
Batería LiPo 14.8v 6600mah	2	179
Hélices CW/CWW de Fibra de carbono, 1 Par	4 pares	103,4
Tubos de fibra de carbono 16x14x1000mm	4	61,4
Fibra de carbono	1	500
TOTAL		3 936,50



Nombre	Precio	Vista en Miniatura
OCTOMECH	\$ 3 936,50	
S1000 Premium Solution RTF	\$ 7 505,37	
Turbo Ace X88-J2	\$ 6 995,95	
Infinity-9 Octocopter	\$ 13 297,95	

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- El material compuesto, fibra de carbono, permite a la estructura reducir su peso y aumentar su resistencia a los impactos provocados durante las pruebas de vuelo.
- En las pruebas de empuje de los motores hubo una variación entre los datos del fabricante y los resultados obtenidos, esto se debe a que los fabricantes realizan sus pruebas de funcionamiento en vacío.
- La frecuencia de funcionamiento entre el control remoto y el datalink es la misma, pero estas dos señales no tuvieron inconveniente de funcionar juntas, esto se debe a la protección interna del control remoto que evita la interferencia o el ingreso de otro sistema en la misma banda causando errores de control en el octocóptero

RECOMENDACIONES:

- Se debe evitar vuelos durante días nublados y con lluvia para mejorar la señal que recibe el GPS desde los satélites y evitar daños al sistema electrónico del octocóptero.
- Una vez cumplidas la marca de recargas de las baterías se deben sustituir, porque seguir usándolas es un riesgo permanente debido a que pueden fallar en cualquier momento.



GRACIAS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA