



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FABRICACIÓN DEL MECANISMO DE TRANSFORMACIÓN DEL SISTEMA DE VUELO DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO DE DESPEGUE VERTICAL A CONTROL REMOTO PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE - L

***AUTOR: PAREDES DÍAZ, FRANCISCO JAVIER
DIRECTOR: ING. MUÑOZ GRANDES, MILTON STALIN
ENERO 2020***



OBJETIVO GENERAL

Elaborar un mecanismo electrónico de transformación de sistema de vuelo flotante a normal para una aeronave de ascenso vertical mediante el cambio de operación en los motores eléctricos para la enseñanza en la Unidad de Gestión de Tecnologías



DEFINICIONES

MECANISMO
ELECTRÓNICO

AERONAVE

AERONAVE DE
DESPEGUE Y
ATERRIZAJE
VERTICAL (VTOL)

AERONAVES A
CONTROL
REMOTO



COMPONENTES ELECTRÓNICOS



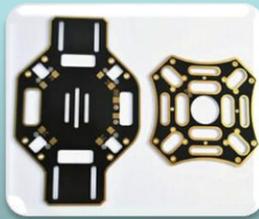
MOTOR SIN ESCOBILLAS

- Eléctrico
- Dji 2312e



CONTROLADOR DE VELOCIDAD ELECTRÓNICO (ESC)

- Dji 40 amp
- Octo



TARJETA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA

- Conexión ESC
- Dji

COMPONENTES ELECTRÓNICOS



COMPUTADOR DE VUELO

- Pixhawk 2.4.8
- Control de la aeronave



HÉLICES

- Dji 9050
- Balance



AERONAVE A ESCALA

- Foam Board
- Alojamiento de los equipos electrónicos



COMPONENTES ELECTRÓNICOS



RECEPTOR

- FlySky FS-iA6B
- Señal PPM



TRANSMISOR

- FS-i6S
- 10 Canales



BATERÍA

- 2200 Mah
- Ovonic Air



COMPONENTES ELECTRÓNICOS



SERVOS

- Metálicos
- 8 gramos



DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO

HÍBRIDO



TRICOPTERO VTOL



CONVERTIPLANO



CONSUMO ENERGÉTICO MOTORES

CONSUMO INDIVIDUAL (9.5 Ah)

Consumo del motor brushless mAh=amperaje consumido por hora 1 Ahx 1000 mAh

Consumo del motor brushless mAh=(9,5 Ah/ 1 Ah) x 1000 mAh

Consumo del motor brushless mAh=9500 mAh

CONSUMO VUELO VERTICAL

Consumo energético total motores de levante=consumo motor brushless x 3

Consumo energético total motores de levante=9500 mAh x 3

Consumo energético total motores en levante =28500 mAh

CONSUMO VUELO HORIZONTAL

Consumo energético total motores vuelo horizontal=consumo motor brushless x 2

Consumo energético total motores de vuelo horizontal=9500 mAh x 2

Consumo energético total motores de vuelo horizontal =19000 mAh



CONSUMO ENERGÉTICO SERVOS

$$\text{Intensidad} = 0,31 \text{ Ah}$$

$$\text{Consumo energético servos} = (\text{Amperaje (Ah)} / 1 \text{ Ah}) \times 1000 \text{ mAh} \times 4 \text{ servos}$$

$$\text{Consumo energético servos} = 1240 \text{ mAh}$$

CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL

- **Consumo energético total 3 motores brushless y servos.**

$$\text{Consumo Tricóptero} = \text{consumo motores de levante} + \text{consumo servos}$$

$$\text{Consumo} = 28500 \text{ mAh} + 1240 \text{ mAh}$$

$$\text{Consumo} = 29740 \text{ mA}$$

$$\text{Tiempo minutos} = (1980 \text{ mAh} \times 1 \text{ h}) / 29740 \text{ mAh} = 0,067 \text{ horas (3,995 minutos)}$$



CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL

- Consumo energético con 2 motores brushless y servos.

Consumo aeronave convencional = consumo motores + consumo servos

$$\text{Consumo} = 19000 \text{ mAh} + 1240 \text{ mAh}$$

$$\text{Consumo} = 20240 \text{ mAh}$$

$$\text{Tiempo minutos} = 1980 \text{ mAh} \times 1 \text{ h} / 20240 \text{ mAh} = 0,098 \text{ horas (5,870 minutos)}$$



CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL

- **Cálculo aproximado con 2 minutos modo tricóptero.**

Para cuantificar el promedio de tiempo que va a soportar la batería seleccionada se tomó como referencia 2 minutos en modo tricóptero, a continuación se presentará el cálculo de tiempo en modo avión a partir del dato referencial.

$$\text{Consumo modo tricóptero 2 minutos} = 2 \text{ min} \times 1980 \text{ mAh} / 3,995 \text{ min} = 991,239 \text{ mAh}$$

$$\text{Miliamperios restantes en batería} = 1980 \text{ mAh} - 991,239 \text{ mAh} = 988,761$$

$$\text{Consumo en minutos modo avión} = 988,761 \text{ mah} = 988,761 \text{ mAh} \times 5,87 \text{ min} / 1980 \text{ mAh} = 2,93 \text{ min}$$

$$\text{Suma tiempo consumo} = \text{tiempo modo tricóptero} + \text{tiempo modo avión}$$

$$\text{Suma tiempo consumo} = 2 \text{ min} + 2,93 \text{ minutos} = 4,93 \text{ min} = 4,558 \text{ min}$$

- **Equivalencia del decimal 0,93 en segundos**

$$x = 0,93100 \times 60$$

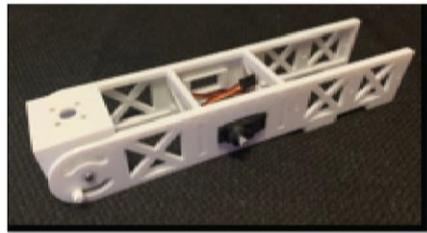
$$x = 0,558 \text{ seg}$$



MECANISMO TRANSFORMACIÓN DE VUELO

“Conjunto de las partes de una máquina en su disposición adecuada”

IMPRESIÓN 3D



IMPLEMENTACIÓN EN LA AERONAVE

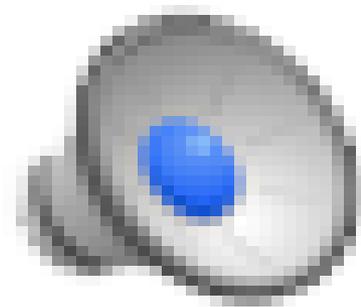


COMPONENTES MECANICOS Y ELECTRÓNICOS

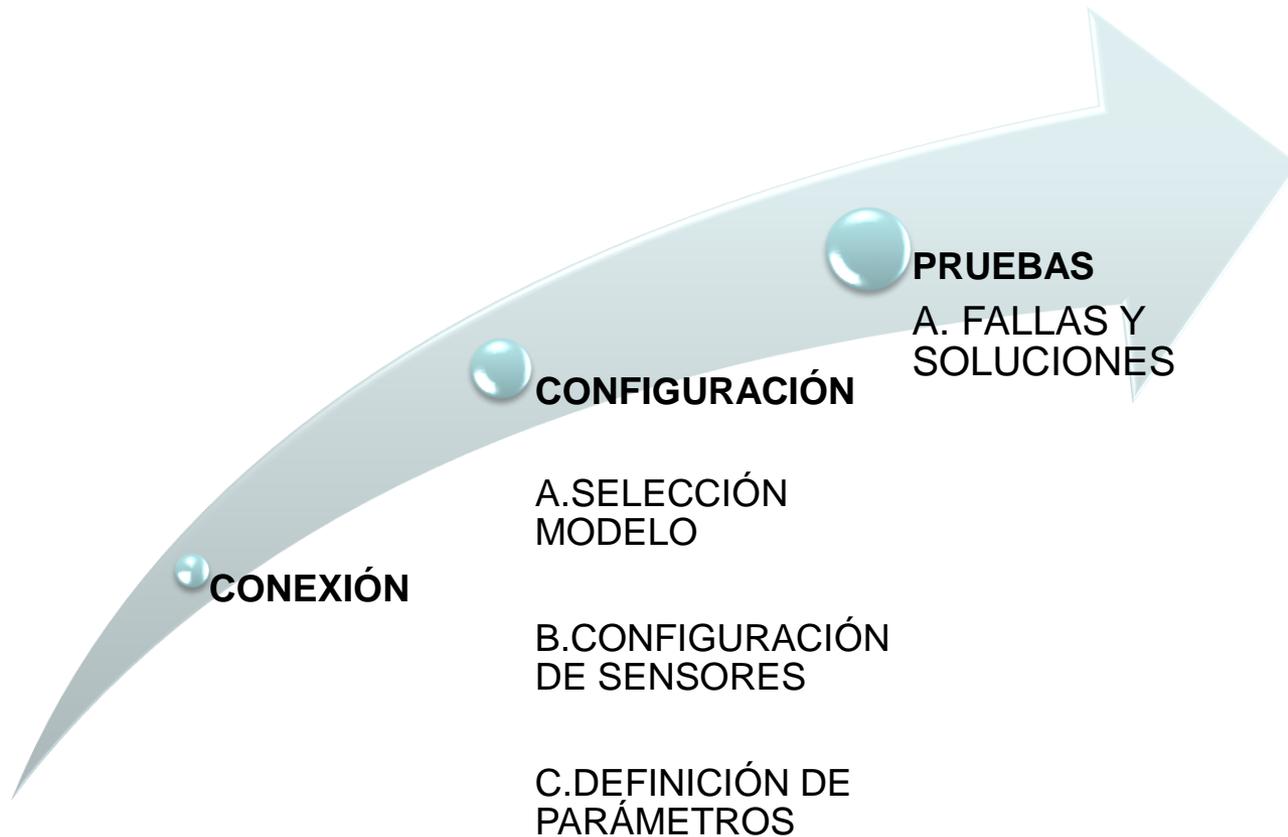


ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

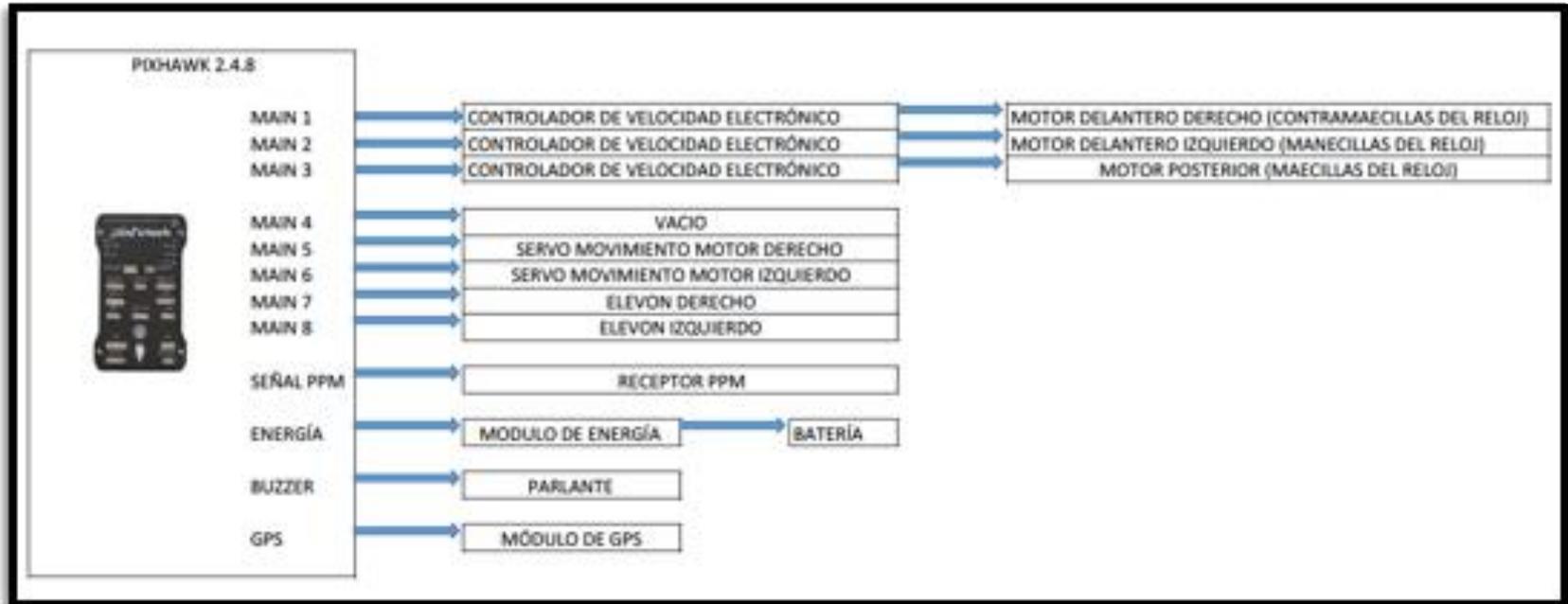
FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO



CONFIGURACIÓN EN QGROUNDCONTROL

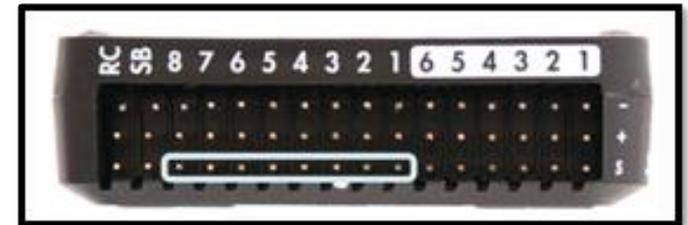


CONEXIÓN



CONEXIÓN

Puerto	Conexión	Sentido de rotación
Principal 1	Motor derecho delantero	Contra manecillas del reloj
Principal 2	Motor posterior	Manecillas del reloj
Principal 3	Motor izquierdo delantero	Manecillas del reloj
Principal 4	<u>Vacio</u>	Sin movimiento
Principal 5	Servo oscilante motor derecho	0 grados a 180 grados
Principal 6	Servo oscilante motor izquierdo	0 grados a 180 grados
Principal 7	<u>Elevon</u> derecho	0 grados a 180 grados
Principal 8	<u>Elevon</u> izquierdo	0 grados a 180 grados



CONFIGURACIÓN

MODELO

- TITLROTOR
VTOL

SENSORES

- Brújula
- Giróscopo
- Acelerómetro
- Nivelación
horizonte

PARÁMETROS

- EKF2
- Altitud
- Tiempo



RESUMEN

Vehicle Setup N/A Manual VTOL: Multi-Rotor Disarmed 

Below you will find a summary of the settings for your vehicle. To the left are the setup menus for each component.

Airframe	Sensors	Radio	Flight Modes
System ID: 1	Compass: Ready	Roll: 4	Mode switch: Channel 7
Airframe type: VTOL Tiltrotor	Gyro: Ready	Pitch: 2	Flight Mode 1: Stabilized
Vehicle: E-flite Convergence	Accelerometer: Ready	Yaw: 1	Flight Mode 2: Stabilized
Firmware Version: 1.10.0		Throttle: 3	Flight Mode 3: Stabilized
		Flaps: Disabled	Flight Mode 4: Stabilized
		Aux1: Disabled	Flight Mode 5: Stabilized
		Aux2: Disabled	Flight Mode 6: Stabilized

Power	Safety
Battery Full: 4.05 V	Low Battery Failsafe: Warning
Battery Empty: 3.50 V	RC Loss Failsafe: Return mode
Number of Cells: 3	RC Loss Timeout: 0.5 s
	Data Link Loss Failsafe: Disabled
	RTL Climb To: 60.0 m
	RTL, Then: Land immediately

Vehicle Setup menu items: Summary, Firmware, Airframe, Sensors, Radio, Flight Modes, Power, Safety, Tuning, Parameters



MODELO

Vehicle Setup

Summary

Firmware

Airframe

Sensors

Radio

Flight Modes

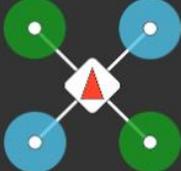
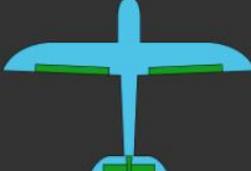
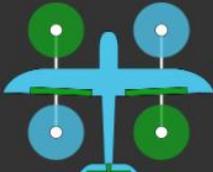
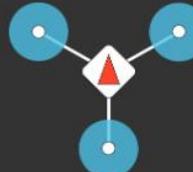
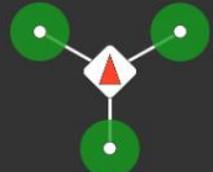
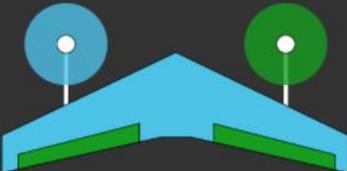
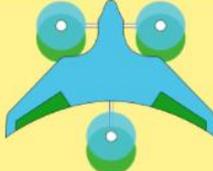
Power

Safety

Tuning

Parameters

0 100.0 N/A Manual VTOL: Multi-Rotor Disarmed PX4

 Generic Quadcopter	 HIL Quadcopter X	 HILStar (XPlane)	 Standard Plane
Standard VTOL	Tilt-Quad	Tricopter Y+	Tricopter Y-
 HIL Standard VTOL QuadPlane	 Tilt-Quadrotor	 Generic Tricopter Y+ Geometry	 Generic Tricopter Y- Geometry
VTOL Duo Tailsitter	VTOL Octoplane	VTOL Quad Tailsitter	VTOL Tiltrotor
 Caipiroshka Duo Tailsitter	 Generic Octoplane VTOL	 Quadrotor X Tailsitter	 E-flite Convergence



CONFIGURACIÓN SENSORES



PARÁMETROS

Parámetro	Valor	Descripción
FW_ARSP_MODE	Declarar inválido: 2	Se declara inválido ya que el modelo de aeronave no cuenta con sensor de aire
CBRK_AIRSPD_CHK	162128	Señal de mayor valor para que no afecte la ausencia de sensor de aire al momento de armar la aeronave
SYS_MC_EST_GROUP	EKF2	Estimador de posición
FW_THR_CRUISE	70% de empuje	El porcentaje de acelerador necesario para realizar el cambio de modo de vuelo, por seguridad se recomienda añadir 10% adicional de empuje.
VT_TRANS_MIN_TM	2 segundos	Configuración del tiempo de transición mínima en segundos, por seguridad se puede tomar un 30% adicional
VT_FW_MIN_ALT	8 metros	El riesgo de pérdida de sustentación es real, por tal razón se toma en cuenta una altura mínima de transición de modo de vuelo.
RC_MAP_TRANS_SW	Interruptor 3	Se asigna un canal que funciona como interruptor para el cambio de modo de vuelo.

VT_B_TRANS_DUR	4 segundos	Configuración del tiempo de transición a modo drone mínima en segundos, por seguridad se puede tomar un 30% adicional
COM_DISARM_LAND	-1	Tiempo de autodesarmado después del aterrizaje

?



PARÁMETROS

Vehicle Setup Search: Clear Tools

Summary	Standard	EKF2_ABIAS_INIT	0.20 m/s/s	1-sigma IMU accelerometer switch-on bias
Firmware	Battery Calibration	EKF2_ABL_ACCLIM	25.0 m/s/s	Maximum IMU accel magnitude that allows IMU bias learning. If the magnitude of the IMU accelerometer ve
Airframe	Commander	EKF2_ABL_GYRLIM	3.0 rad/s	Maximum IMU gyro angular rate magnitude that allows IMU bias learning. If the magnitude of the IMU angu
Sensors	Data Link Loss	EKF2_ABL_LIM	0.40 m/s/s	Accelerometer bias learning limit. The ekf delta velocity bias states will be limited to within a range equival
Radio	EKF2	EKF2_ABL_TAU	0.50 s	Time constant used by acceleration and angular rate magnitude checks used to inhibit delta velocity bias le
Flight Modes	Events	EKF2_ACC_B_NOISE	0.003000 m/s**3	Process noise for IMU accelerometer bias prediction
Power	FW Attitude Control	EKF2_ACC_NOISE	0.35 m/s/s	Accelerometer noise for covariance prediction
Safety	FW L1 Control	EKF2_AID_MASK	1	Integer bitmask controlling data fusion and aiding methods
Tuning	FW Launch detection	EKF2_ANGERR_INIT	0.100 rad	1-sigma tilt angle uncertainty after gravity vector alignment
Parameters	FW TECS	EKF2_ARSP_THR	0.0 m/s	Airspeed fusion threshold. A value of zero will deactivate airspeed fusion. Any other positive value will dete
	Failure Detector	EKF2_ASPD_MAX	20.0 m/s	Upper limit on airspeed along individual axes used to correct baro for position error effects
	Follow target	EKF2_ASP_DELAY	100.0 ms	Airspeed measurement delay relative to IMU measurements
	GPS	EKF2_AVEL_DELAY	5.0 ms	Auxillary Velocity Estimate (e.g from a landing target) delay relative to IMU measurements
	GPS Failure Navigation	EKF2_BARO_DELAY	0.0 ms	Barometer measurement delay relative to IMU measurements
	Geofence	EKF2_BARO_GATE	5.0 SD	Gate size for barometric and GPS height fusion
	Land Detector	EKF2_BARO_NOISE	2.00 m	Measurement noise for barometric altitude
	MAVLink	EKF2_BCOEF_X	25.0 kg/m**2	X-axis ballistic coefficient used by the multi-rotor specific drag force model. This should be adjusted to mi
	Mission	EKF2_BCOEF_Y	25.0 kg/m**2	Y-axis ballistic coefficient used by the multi-rotor specific drag force model. This should be adjusted to mi
		EKF2_BETA_GATE	5.0 SD	Gate size for synthetic sideslip fusion
		EKF2_BETA_NOISE	0.30 m/s	Noise for synthetic sideslip fusion



PARÁMETROS

Vehicle Setup | Summary | Firmware | Airframe | Sensors | Radio | **Flight Modes** | Power | Safety | Tuning | Parameters

0 100.0 N/A Manual VTOL: Multi-Rotor Disarmed 

Flight Modes Setup

Flight Modes Setup is used to configure the transmitter switches associated with Flight Modes.

Flight Mode Settings	Switch Settings
Mode channel: Channel 7	Acro switch channel: Unassigned
Flight Mode 1: Stabilized	Landing gear switch channel: Unassigned
Flight Mode 2: Stabilized	Loiter switch channel: Unassigned
Flight Mode 3: Stabilized	Position Control switch channel: Unassigned
Flight Mode 4: Stabilized	Return switch channel: Channel 5
Flight Mode 5: Stabilized	VTOL transition switch channel mapping: Channel 5
Flight Mode 6: Stabilized	Channel Monitor

Arm switch channel: Unassigned

Kill switch channel: Channel 8

Offboard switch channel: Unassigned

Rattitude switch channel: Unassigned

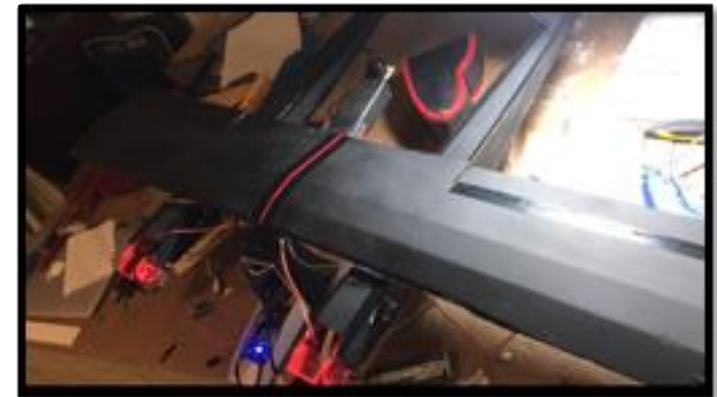
Stabilize switch channel mapping: Unassigned

Use Multi Channel Mode Selection



PRUEBAS , FALLAS Y SOLUCIONES MODO DRONE

FALLA	DESCRIPCION	SOLUCION
Aeronave no se eleva	La aeronave no se eleva a causa del sentido de rotación del motor o disposición inadecuada de la hélice	Revisión del sistema de empuje y colocación de hélices de acuerdo al sentido de rotación del motor
Falta de potencia en los motores	Los motores de levante de alcanzan la potencia requerida para elevar la aeronave	Carga de la batería
Pixhawk no permite armar el dispositivo	Emisión de luces color rojo en la computadora de vuelo Pixhawk, no permite armar el dispositivo a causa de descalibración de los sensores internos, datos inconsistentes	Calibración de los sensores de la aeronave en el programa Qgroundcontrol
Señal transmisor – receptor baja	Falta de señal, poca energía del sistema en general	Cambio de baterías en el transmisor



PRUEBAS , FALLAS Y SOLUCIONES MODO AVIÓN

FALLA	DESCRIPCION	SOLUCION
Respuesta errónea de los servos	Al mover los mandos del control no reflejaba el movimiento en la aeronave	Verificación de circuitos y conexión adecuada de polos positivo y negativo en la computadora de vuelo.
Posición de servos errónea	Al mover el controlador de las superficies de control no lo hacían de acuerdo al mando requerido	Cambio de posición en los canales directo del receptor
Sentido de rotación del motor posterior inadecuado	Empuje del motor posterior erróneo	Revisión de hélice y sentido de rotación del motor
Pixhawk no permite armar el dispositivo	Emisión de luces color rojo en la computadora de vuelo Pixhawk, no permite armar el dispositivo a causa de descalibración de los sensores internos, datos inconsistentes	Calibración de los sensores de la aeronave en el programa Qgroundcontrol
Señal transmisor – receptor baja	Falta de señal, poca energía del sistema en general	Cambio de baterías en el transmisor

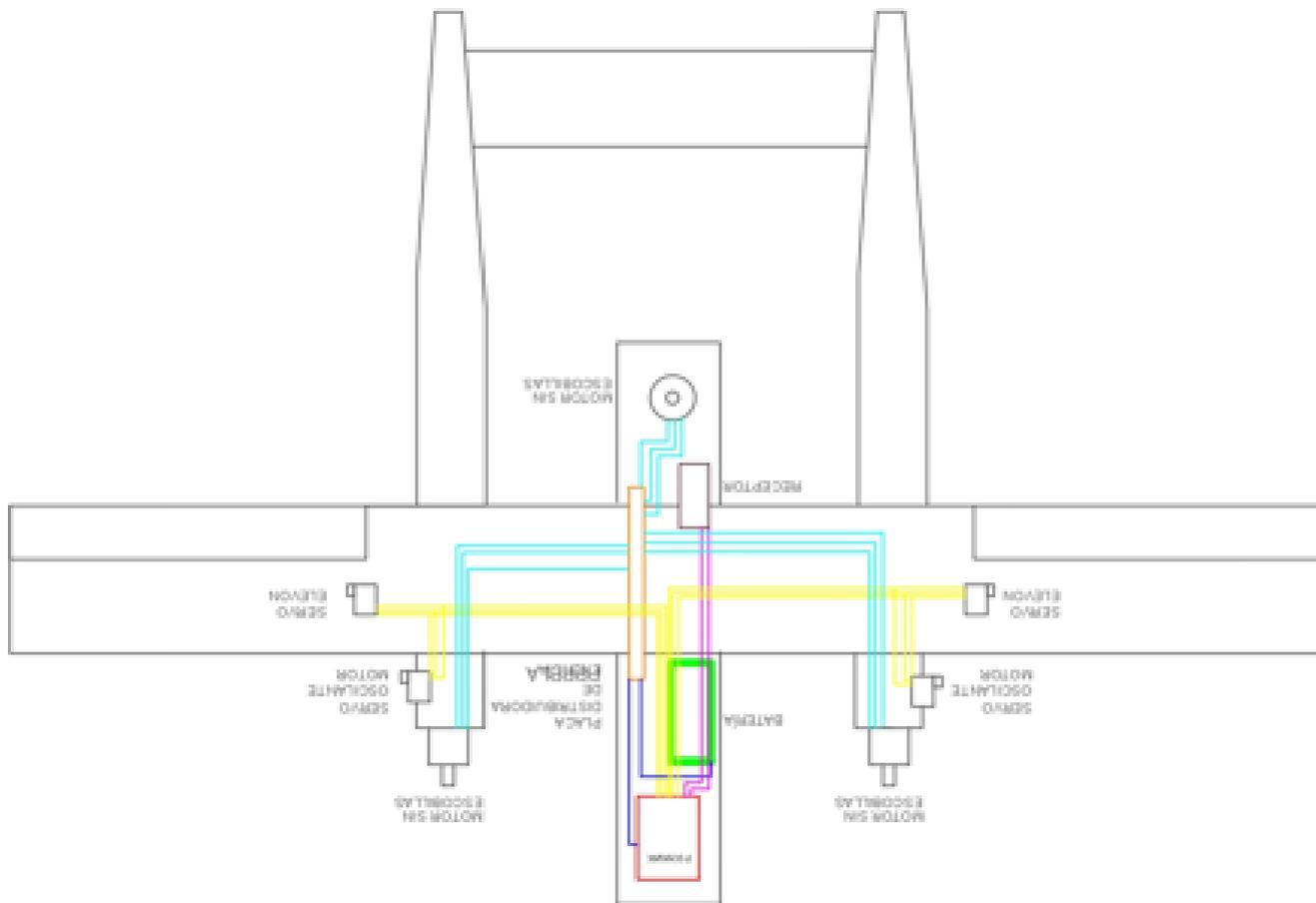


PRUEBAS , FALLAS Y SOLUCIONES TRANSICIÓN

FALLA	DESCRIPCIÓN	SOLUCIÓN
Tiempo de cambio de modo de vuelo insuficiente	Para mayor seguridad el cambio de modo de vuelo se debe realizar en un tiempo mayor a 5 segundos	Cambio de tiempo en los parámetros del programa Qgroundcontrol
Batería baja	Aviso de batería baja en vuelo, falta de respuesta de las superficies de control, riesgo de pérdida de sustentación	Aterrizaje de la aeronave y carga de la batería
Apagado motor inmediato al cambio de posición	Motores delanteros se apagan 5 segundos inmediatamente después de activar el interruptor de cambio	Verificar los valores del parámetro COM_DISARM_LAND
Funcionamiento erróneo del mecanismo de cambio de posición de los motores	Los motores delanteros no cambian su posición a gusto del usuario	Verificar los valores en los parámetros VT_B_TRANS_DUR y VT_FW_MIN_ALT



CABLEADO DE LA AERONAVE



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA