

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ

REPORTE DEL PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PROYECTO: ROBOT MÓVIL AÉREO TIPO ``QUADROTOR``

EMPRESA: CENTRO DE INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL (CIDESI)

NOMBRE DEL ALUMNO: EVERARDO ARCOS SANCHEZ

NUM. DE CONTROL: 10270196

ASESOR INTERNO: DR. ROBERTO CARLOS GARCÍA GÓMEZ

ASESOR EXTERNO: M. SC. ROBERTO SOSA CRUZ

PERIODO: FEBRERO – JUNIO 2014



CAPÍTULO 1

1.1 Introducción.....	1
------------------------------	----------

CAPÍTULO 2.....2

2.1 Justificación.....	2
-------------------------------	----------

2.2 Objetivos.....	3
---------------------------	----------

2.2.1 Objetivo general.....	3
------------------------------------	----------

2.2.2 Objetivos específicos.....	3
---	----------

2.3 Caracterización del área que participo	4
---	----------

2.3.1 Datos generales.....	4
-----------------------------------	----------

2.3.2 Breve reseña histórica de la empresa	4
---	----------

2.3.3 Organigrama de la empresa.....	6
---	----------

2.3.4 Misión, visión y política.....	7
---	----------

2.3.4.1 Misión.....	7
----------------------------	----------

2.3.4.2 Visión.....	7
----------------------------	----------

2.3.4.3 Política de Calidad.....	7
---	----------

2.3.5 Principales productos y clientes.....	8
--	----------

2.3.5.1 Productos.....	8
-------------------------------	----------

2.3.5.2 Clientes.....	8
------------------------------	----------

2.3.6 Premios y certificaciones.....	9
---	----------

2.3.6.1 Premios.....	9
-----------------------------	----------

2.3.6.2 Certificaciones.....	9
-------------------------------------	----------

2.3.7 Acreditaciones.....	11
----------------------------------	-----------

2.3.8 Caracterización del área en que se participó	11
2.3.9 Descripción del área.....	11
2.3.10 Actividades del área.....	11
2.3.11 Funciones y ubicación del residente.....	12
CAPITULO 3.....	12
3.1. Planteamiento de problema.....	12
3.1.1 Antecedentes y definición del problema.....	12
3.2 Alcances y limitaciones.....	13
3.2.1 Alcances.....	13
3.2.2 limitaciones.....	13
CAPÍTULO 4.....	14
4.1. Estudio del campo del arte	14
4.1.1 Los tipos de multi-rotor.....	14
4.1.1.1 Tipocopter.....	14
4.1.1.2 Quadcopter.....	15
4.1.1.3 Hexacopter.....	15
4.1.1.4 Y6copter.....	16
4.1.1.5 Octocopter.....	16
4.2 Componentes eléctricos de un quadrotor.....	17
4.3 Componentes del quadrotor.....	18
4.3.1 Motor.....	18

4.3.2 Motor brushless.....	19
4.3.3 Controlador ESC HW30A.....	20
4.3.4 Placa Hoverfly pro.....	21
4.3.5 Raspberry pi.....	22
4.3.6 Definición de teensy.....	23
4.3.7 Turnigy program card.....	24
4.3.8 Las helices.....	24
4.3.9 Tren de aterrizaje.....	25
4.3.10 Cuerpo del quadrotor.....	25
4.3.11 Batería.....	26
4.3.11.1 Consejos de seguridad.....	27
4.3.12 Cargador de la batería.....	27
4.3.13 Wi-pi.....	28
4.3.14 Sustitución de la estructura de polímero a fibra de carbono.....	28
4.3.15 Fibra de carbono.....	29
4.4 Lenguajes de programación.....	30
4.4.1 Python.....	30
4.4.2 Arduino.....	31
CAPÍTULO 5.....	31
5.1 Marco teórico.....	31
5.1.1 Definición del multirotor.....	31
5.2 Aplicaciones del multirotor.....	33

5.2.1 Aplicación militar.....	34
5.2.2 Aplicación civil.....	34
5.2.3 Aplicación fotográficas.....	34
5.2.4 Aplicación para seguimientos de incendios forestales.....	35
5.2.5 Vigilancia.....	35
5.2.6 Topografía.....	36
5.2.7 seguridad.....	36
5.2.8 Búsqueda.....	37
5.3 Control de multirodor.....	37
5.3.1 Control PID.....	37
5.3.2 Autopilot.....	39
5.3.2.1 Partes del piloto automático.....	40
5.3.2.2 Cómo utilizar una función de piloto automático.....	40
CAPÍTULO 6.....	41
6.1 Desarrollo del proyecto	41
6.1.1 Ensamble del quadrotor	41
6.1.1.2 Especificaciones.....	41
6.1.2.2 Artículos adicionales necesarios.....	42
6.2 desarrollo del ensamble.....	42
6.2.1 Fijación de los tornillos.....	42
6.2.2 Soldar los cables de extensión para los motores.....	42
6.2.3 Colocación de los brazos.....	43

6.2.4 Soldar los ESC controladores de velocidades.....	44
6.2.5 Colocar los controladores de velocidades de cada motor... ..	45
6.2.6 Programar el controlador de velocidades.....	46
6.2.7 Colocar la placa hoverfly del quadrotor.	46
6.2.8 Radio control.....	48
6.2.9 Configurar los giros de los motores.....	48
6.3 Diseño de la estructura para sostener el quadrotor.... ..	49
6.3.1 Diseño en solidworks.....	49
6.3.2 Armandó la estructura.....	53
6.4 Reductores de voltaje.....	53
6.5 Cambiar la Raspberry pi a teensy..... ..	54
6.6 Activar los motores con el teensy..... ..	54
6.7 Límites de velocidades.....	55
6.8 Comunicaciones pc – quadrotor.....	56
6.8.1 Comunicación cliente servidor de una misma pc..... ..	56
6.8.2 XStream – PKG.....	56
6.8.3 Ethernet.....	57
6.8.4 Wi-Fi..... ..	57
6.8.5 Comunicación de Xbee a Xbee.....	57
6.9 Activación de los motores con el Xbee..... ..	58
6.10 Sensor MENSIC 2125..... ..	59

CAPITULO 7.....	60
7.1 Primera prueba.....	60
7.2 Segunda prueba del vuelo del quadrotor.....	62
7.3 Tercera prueba del quadrotor.....	64
7.4 Cuarta prueba del quadrotor.....	65
7.5 Quinta pruebas con el Xbee.....	68
7.6 Sexta prueba del quadrotor.....	70
CAPITULO 8	
8.1 Resultados.....	72
CAPITULO 9	
9.1 Conclusión.....	74
CAPITULO 10	
10.1 Anexos.....	75
CAPITULO 11	
11.1 Referencias.....	76

ÍNDICE DE LAS FIGURAS

Figura [2.1]: Conexión pc-serial-Xbee.....	3
Figura [2.2]: Organigrama de la empresa.....	6
Figura [2.3]: Certificación 1.....	9
Figura [2.4]: Certificación 2.....	9
Figura [2.5]: Certificación 3.....	10
Figura [2.6]: Certificación 4.....	10
Figura [3.1]: Breguet-Richet Gyroplano N°1.....	13
Figura [4.1]: Tricopter.....	15
Figura [4.2]: Quadcopter.....	15
Figura [4.3]: Hexacopter.....	16
Figura [4.4]: Y6copter.....	16
Figura [4.5]: Octocopter.....	17
Figura [4.6]: Componentes eléctricos.....	17
Figura [4.7]: Motor.....	19
Figura [4.8]: Motor lateral.....	19
Figura [4.9]: Controladores de velocidades ESC.....	20
Figura [4.10]: Hoverfly.....	22
Figura [4.11]: Raspberry pi.....	22
Figura [4.12]: Turnigy program card.....	24
Figura [4.13]: Hélices.....	24
Figura [4.14]: Tren de aterrizaje.....	25
Figura [4.15]: Cuerpo del quadrotor.....	25

Figura [4.16]: Montaje superior.....	26
Figura [4.17]: Montaje inferior.....	26
Figura [4.18]: Baterías lipo.....	26
Figura [4.19] Cargador.....	28
Figura [4.20] Wi-pi.....	28
Figuras [4.21]: Piezas rotas por presión.....	29
Figura [4.21]: a) Pieza rota.....	29
Figura [4.21]: b) Pieza rota.....	29
Figura [4.21]: c) Pieza rota.....	29
Figura [4.21]: d) Pieza rota.....	29
Figura [4.22]: a) Montaje superior e inferior.....	30
Figura [4.22]: b) Cuerpo del quadrotor.....	30
Figuras [4.22]: Piezas en fibra de carbono.....	30
Figura [5.1]: Helicóptero Oechmichen No2.....	32
Figura [5.2]: Multirotor convertawing.....	33
Figura [5.3]: Quadcopter.....	34
Figura [5.4]: Quadrotor fotográfica.....	35
Figura [5.5]: Quadrotor de vigilancia.....	35
Figura [5.6]: Quadrotor aplicación agrícola.....	36
Figura [5.7]: Quadrotor seguridad.....	36
Figura [5.8]: Quadrotor de búsqueda.....	37
Figura [5.9]: Partes del Autopilot.....	40
Figura [6.1]: Fijación de motor.....	42
Figura [6.2]: Parte inferior del motor.....	43

Figura [6.3]: Colocación del motor.....	43
Figura [6.4]: Colocación del primer brazo.....	43
Figura [6.5]: Colocado cuatro los brazos.....	44
Figura [6.6]: Controladores de velocidades.....	44
Figura [6.7] Soldado los cuatro ESC.....	45
Figura [6.7] Colocar los ESC en su posición	45
Figura [6.9] Programando ESC.....	46
Figura [6.10]: Hoverfly.....	46
Figura [6.11]: Volts.....	47
Figura [6.13]: Configuración del receptor.....	47
Figura [6.14]: Spektrum receptor.....	47
Figura [6.15]: Conectado el ESC y el receptor en el hoverfly.....	48
Figura[6.16]: DX7s.....	48
Figura [6.17]: Configuración del giro de los motores.....	49
Figura [6.17]: Configuración de los giros.....	49
Figura [6.17]: Configuración de los giros.....	49
Figura [6.18]: a) Dimensiones de la estructura.....	51
Figura [6.18]: b) Estructura de prueba.....	52
Figura [6.19]: Estructura hecha de madera.....	53
Figura [6.20]: Reductor de voltaje variable.....	53
Figura [6.21]: Reductor de voltaje 3.3v.....	54
Figura [6.22]: Circuitos conectados en el teensy.....	54
Figura [6.23]: Comunicación mediante Xbee.....	58
Figura [6.24]: Conexión de los motores.....	58

Figura [6.25]: Mensic MX2125.....	59
Figura [7.1]: Quadrotor.....	60
Figura [7.2]: Giro del primer motor.....	60
Figura [7.3]: Sentido del giro de los motores.....	61
Figuras [7.4]: Configuración y desbalance.....	62
Figura [7.4]: a) Configuracion.....	62
Figura [7.4]: b) Configuracion.....	62
Figura [7.4]: c) Desbalance.....	63
Figura [7.4]: d) Desbalance.....	63
Figura [7.4]: e) Desbalance.....	63
Figura [7.5]: Velocidades máximas.....	64
Figura [7.6]: Quadrotor colocado en la estructura.....	65
Figura [7.7] Circuito de 5volts.....	66
Figura [7.8] Energizar los motores.....	66
Figura [7.9]: Giro de las cuatro hélices.....	66
Figura [7.10]: Despegue del quadrotor.....	67
Figura [7.11]: Elevación.....	67
Figura [7.12]: Desbalance del quadrotor.....	68
Figura [7.12]: a) Desbalance.....	68
Figura [7.12]: a) Desbalance.....	68
Figuras [7.13]: Desaceleración.....	68
Figura [7.13]: a) Desaceleración.....	68
Figura [7.13]: a) Desaceleración.....	68
Figura [7.14]: xbee.....	69

Figura [7.15]: Circuito en protoboard.....	69
Figura [7.16]: Colocación en la estructura.....	69
Figura [7.17]: Comportamiento en el desbalance.....	71
Figura [7.17]: a) Desbalance.....	71
Figura [7.17]: b) Desbalance.....	71
Figura [7.17]: c) Desbalance.....	71
Figura [7.17]: d) Desbalance.....	71
Figura [7.17]: e) Desbalance.....	71
Figura [7.17]: f) Desbalance.....	71
Figura [8.1]: Ensamble.....	72
Figura [8.2]: Comunicación pc – quadrotor.....	72
Figura [8.3]: Desbalance.....	73

INDICE DE TABLAS

Tabla [6.1]: Configuración ESC.....	46
Tabla [6.2]: velocidades dos los motores	55
Tabla [7.1]: Velocidad del motor.....	64
Tabla [7.2]: Velocidades utilizadas.....	67
Tabla [7.3]: Resultados de las velocidades	70
Tabla [8.1]: Velocidades variables	73

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

En los últimos años, el desarrollo de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) ha aumentado de forma espectacular, en gran parte impulsada por las aplicaciones civiles y militares, en los vehículos aéreos no tripulados han crecido de juguetes poco prácticos a herramientas altamente sofisticadas [1]. Los vehículos aéreos no tripulados pueden ser controlados por humanos, en otros vehículos o en estaciones, teniendo una amplia aplicación se pueden utilizar en misiones en que los aviones tripulados no son aplicables debido por su tamaño o porque son misiones muy peligrosos para la vida del piloto [2]. La ventaja de los vehículos no tripulados (UAV) es por su tamaño ya que son pequeñas, utilizan las miniaturas de los sensores, actuadores, controladores de velocidades, etc. Y son controladas mediante un radio control o desde una estación a una cierta distancia.

Los helicópteros tradicionales nos presentan problema con la complicación de su manejo por lo mismo que solo tiene dos rotores, ante el problema de los helicóptero tradicionales están los multirotores y uno de ellos los robots aéreo de cuatro rotores que se puede conseguir la precisión de vuelo balanceado deseado.

Los multirotores presentan unas características que los hacen ser muy útiles para muchas aplicaciones que son; el despegue, vuelo estacionario y aterrizaje conocido como hover lo cual los convierte en dispositivos aptos para ejecutar maniobras en espacio reducidos. Se les puede implementar piezas para las tareas deseadas así como GPS, cámaras de video, sensores, etc. Que se están empleando en tareas de búsquedas, rescates, detección de incendios, vigilancia comercial, exploración de edificios entre otros [3].

En Aerospace Controls Laboratorio del Massachusetts Institute of Technology se está trabajando con el proyecto UAV, en esta investigación sé que quiere lograr que el vehículo este en el aire en ejecución continua durante 24 horas y 7 días de múltiples vehículos [4].

CAPÍTULO 2

2.1 Justificación

Debido al gran avance de la tecnología, se tiene la necesidad de implementar el robot móvil aéreo tipo quadrotor es una de las tecnologías que tiene un campo de aplicación muy extensa puede ser utilizado en: civil, militar, seguimientos forestales, catástrofes naturales, trabajos peligrosos donde equipos grandes no pueden maniobrar libremente, etc. ya que es una nave no tripulada y puede ser controlado en una estación dependiendo de una cierta distancia. Esto se hace para evitar accidentes, en naves tripuladas y en áreas muy pequeñas donde es muy difícil de maniobrar.

A fin de llevarnos a trabajar con el quadrotor para poder hacer un buen despegue y de aterrizaje para ellos es necesario un algoritmo de control, también requiere de exploraciones de las actividades potenciales, realizar la comunicación de interface de la comunicación optima, para poder llevar acabo el vuelo del quadrotor la herramienta básica para lograrlo es la teoría de control moderna. [5]

El ensamble del quadrotor nos lleva a conocer las partes, y otros componentes para poder familiarizarse con el quadrotor, se desarrolla una aplicación para Pc-Serial-Xbee [6] que utiliza una conexión serial en la figura [2.1], con el mando de radio control, siendo el encargado de mandar la información al Raspberry pi.

Raspberry Pi se ha convertido, junto con Arduino, en uno de los máximos exponentes del desarrollo casero y profesional basado en herramientas libres, pudiendo ser una plataforma hardware de desarrollo, un pequeño ordenador personal sobre el que programar, navegar o editar un documento de texto, un reproductor de música, películas o imágenes, o la base sobre la que construir un sistema de almacenamiento en red para compartir archivos entre los equipos que tengamos en nuestra red.

El Raspberry Pi se puede convertir fácilmente, por tanto, en un ordenador versátil utilizando cualquier teclado y ratón convencional USB. Además tiene un conector Ethernet para enchufarse a la red local y a Internet y una salida HDMI de vídeo.

Por sus características y bajo precio, se ha convertido en una plataforma con muchísimo potencial que contribuye a desarrollar habilidades tecnológicas, promoviendo el aprendizaje de lenguajes de programación como Python, C o Perl, llevando el mundo de la programación a todo aquel que tenga interés en aprender, experimentar y realizar sus propios proyectos.[]

Para realizar la comunicación se programa en lenguaje Python, ya que es uno de los lenguajes amigables.

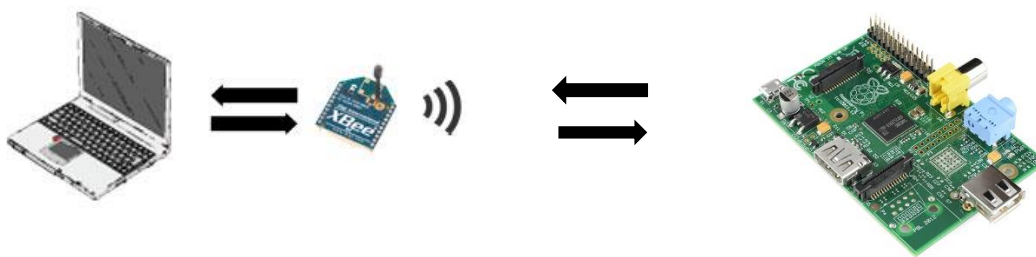


Figura [2.1]: Conexión PC-Serial-Xbee

Una de las mayores ventajas del uso de los robots es que puede realizar ciertas tareas en las que un ser humano correría riesgos debido a entornos hostiles o peligrosidad en la tarea en sí, o incluso también en aquellas en las que las capacidades humanas están limitadas por la fisonomía y factores como la fuerza o precisión. En la mayor parte de estos casos el robot no tiene por qué desarrollar su trabajo en un entorno especialmente adaptado a sus características, de hecho podría ser totalmente desconocido, continuamente cambiante y con una importante interacción con las personas. [7]

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo general

Poner en marcha un quadrotor para comenzar a realizar investigación en el control de estos sistemas. El proyecto requiere de exploración de las actividades potenciales que puedan realizar y de realizar una interface de comunicación óptima.

2.2.2 Objetivos específicos

- Realizar el ensamble mecánico y electrónico del quadrotor (comercial)
- Empezar una exploración de las aplicaciones potenciales que los quadrotors pueden tener, búsqueda de información en revistas de divulgación y científicas.
- Realizar una exploración del estado del arte de los robots móviles de multirrotor
- Programar el quadrotor para poder realizar los vuelos con una Raspberry Pi y los componentes necesarios para poder hacer una correcta comunicación. Se hará una interfaz gráfica sencilla.
- Ejecutar las pruebas de comunicación y señales de sensores del quadrotor
- Proceder las pruebas de vuelo del quadrotor

2.3 Caracterización del área que participo

2.3.1 Datos generales

Centro de ingeniería y desarrollo industrial (CIDESI) se encuentra ubicado, playa pie de la cuesta No.702, desarrollo San pablo, 76130 Santiago de Querétaro, Querétaro, con número telefónico: 014422119800, el giro de la empresa es de prestación de servicios científicos y tecnológicos, es una pequeña empresa con rama de prestación de servicios, desarrollo tecnología calibración de equipos y caracterización de materiales.

2.3.2 Breve reseña histórica de la empresa

Desarrollo de proyectos de investigación aplicada e innovación tecnológica, orientados a la solución de problemas específicos.

El Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, CIDESI, se fundó el 9 de marzo de 1984. Pertenece al Sistema de Centros del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT.

CIDESI contribuye al desarrollo del sector productivo del país, a través de proyectos de Investigación e Innovación, así como servicios tecnológicos especializados de alto nivel,

en sus sedes ubicadas en los Estados de Querétaro, Nuevo León, dentro del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica, en el Estado de México y en Tijuana dentro del Consorcio Tecnológico de Baja California.

Ofrece programas de posgrado incorporados en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad, PNPC. CIDESI mantiene alianzas estratégicas efectivas en investigación y desarrollo, así como en formación de capital humano, con instituciones nacionales como: el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma de Querétaro y el Centro Nacional de Metrología y alianzas estratégicas con instituciones internacionales como: la Agencia de Cooperación Internacional de Japón, la Universidad de Ciencias Aplicadas de Aachen de Alemania, las Universidades de Lehigh, Texas A&M, Team Technologies y la Anderson School of Management de la Universidad de Nuevo México de Estados Unidos, la Universidad de Sheffield de Inglaterra, el Centro de Tecnologías Aeronáuticas y Tecnalía de España.

CIDESI está certificado bajo la norma ISO-9001:2008 y bajo estándares específicos de importantes empresas, es el primer Centro CONACYT que se certifica bajo la norma aeroespacial AS-9100 B.

Ha sido distinguido con el Premio Nacional de Tecnología y con el Premio Estatal de Exportación del Estado de Querétaro. Proveedor de la industria automotriz, autopartes, aeroespacial, energía, petroquímica, electrónica, electrodomésticos y alimenticia, entre otros sectores. CIDESI es Miembro de Alianza de National Instruments, Casa de Diseño de Texas Instruments y Freescale.

Incluso funge como proveedor de la industria automotriz, autopartes, aeroespacial, energía, petroquímica, electrónica, electrodomésticos y alimenticia y más. Y por si fuera poco el Centro es Miembro de Alianza de National Instruments, Casa de Diseño de Texas instrumentos y Freescale. Dentro de los servicios tecnológicos que ofrece y se pueden encontrar detalladamente en su página son:

Metrología:

Desarrollo de sistemas, equipo de medición, patrones de medida y aseguramiento metrológico para garantizar la calidad de los productos y procesos de producción de nuestros clientes.

Tecnología de materiales:

Análisis confiables y oportunos de materiales e inspección no destructiva.

2.3.3 Organigrama de la empresa

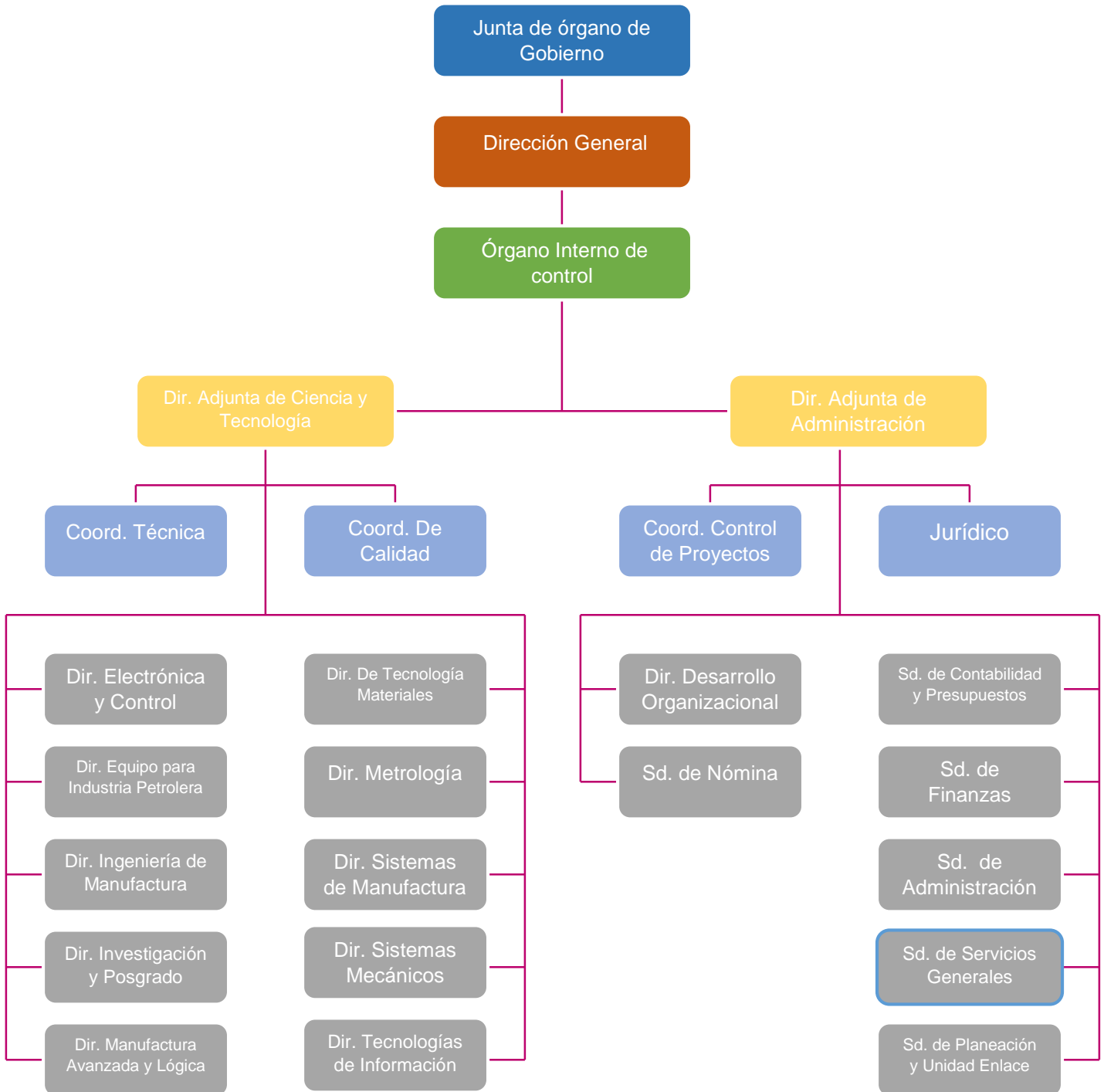


Figura [2.2]: Organigrama de la empresa

2.3.4 Misión, visión y política

2.3.4.1 Misión

Generar valor en las empresas orientadas a la transformación, contribuyendo al incremento de su competitividad mediante el desarrollo y aplicación de conocimiento relevante y pertinente, con personal altamente calificado y estándares de clase mundial.

2.3.4.2 Visión

CIDESI es una institución de clase mundial, autosuficiente, con amplia cobertura nacional e internacional que cuenta con personal altamente capacitado, comprometido, con vocación de servicio al cliente, ofreciendo productos de alto impacto. La operación se lleva a cabo en instalaciones en el estado del arte con los sistemas más avanzados tanto de diseño como de control de la operación, participando en redes de innovación tecnológica nacionales e internacionales y con alianzas estratégicas efectivas, tanto en investigación y desarrollo como en formación de recursos humanos, lo que le permite mantener la temática de su operación especializada con estándares de alta calidad.

2.3.4.3 Política de Calidad

En CIDESI nos comprometemos a incrementar la confiabilidad de los proyectos de investigación, desarrollo, innovación y servicios tecnológicos de alto nivel para nuestros clientes, cumpliendo con los estándares aplicables, en un clima organizacional apropiado, con personal altamente calificado, a través de la mejora continua y la autosuficiencia financiera.

2.3.5 Principales productos y clientes

2.3.5.1 Productos

Los productos más importantes son:

- Diseño de Líneas de Producción.
- Calibración de Equipos Industriales.
- Caracterización de Materiales.
- Pruebas Mecánicas.
- Ensamble de Maquinaria.
- Diseño de Maquinaria.
- Servicios de Capacitación.
- Investigación Tecnológica y Científica.
- Programas de Posgrado.
- Vinculación Académica con Instituciones de Nivel Superior.

2.3.5.2 Clientes

El centro tiene una vasta lista de clientes, dentro de los cuales encontramos a lo más relevantes que son:

- PEMEX (Petróleos Mexicanos).
- Bombardier Inc.
- CEA (Comisión Estatal de Aguas Querétaro).
- TenarisTamsa.
- Tremec.
- Industria Automotriz (Mitsubishi Motors, Yorozu Automotive Guanajuato de México, S.A. DE C.V., TRW, entre otras).
- ITR.
- Messier Services Americas.
- COREY.
- CHEMISA.

2.3.6 Premios y certificaciones

2.3.6.1 Premios

El CIDESI ha sido distinguido con el Premio Nacional de Tecnología 2003 y con el Premio estatal de Exportación 2004 del Estado de Querétaro.

2.3.6.2 Certificaciones



Figura [2.3]: Certificación 1



Certificación AS9100 C

Figura [2.4]: Certificación 2



Certificación: Norma ISO 9001:2008

Figura [2.5]: Certificación 3



Figura [2.6]: Certificación 4

2.3.7 Acreditaciones

Laboratorios de Calibración.

- Acreditación Metrología - Eléctrica.
- Acreditación Metrología - Humedad.
- Acreditación Metrología - Masa.
- Acreditación Metrología - Presión.
- Acreditación Metrología - Temperatura.
- Acreditación Metrología - Volumen.

Laboratorios de Ensayos.

- Acreditación No-Destructivos (Metal-Mecánica).
- Acreditación Químico - Metalúrgico (Metal-Mecánica).
- Acreditación Metalografía y Análisis de Falla (Metal-Mecánica).
- Acreditación Pruebas Mecánicas (Metal-Mecánica).
- Acreditación Ensayos (Química).

2.3.8 Caracterización del área en que se participo

Control automático

2.3.9 Descripción del área

Control automático, desarrollo de aplicación en diversos tipos de industria

2.3.10 Actividades del área

Programación para líneas de producción, desarrollo para proyecto de robótica, desarrollo de proyectos macarrónicos como máquinas de rueda y de cualquier tipo de industria.

2.3.11. Funciones y ubicación del residente

Participar en el área de control automático donde se trabaja con el proyecto asignado, con la ayuda de mi asesor interno de la institución, quien tiene como función de orientar al residente para concluir con el proyecto, ubicación en el edificio B3.

CAPITULO 3

3.1. Planteamiento de problema

3.1.1 Antecedentes y definición del problema

El primer cuadricóptero de la historia fue creado a comienzos del siglo xx por un científico francés llamado Charles Richet, el cuál creó un pequeño cuadricóptero no pilotado que no tuvo éxito en volar. Este hecho inspiró a un alumno de Richet, Louis Bregét, a experimentar con aeronaves con rotores, llegando a crear el primer cuadricóptero pilotado de la historia, el cuadricóptero Bregét-Richet

Tenía un motor Antoinette de 8 cilindros de 40 HP que controlaba cuatro rotores, que a su vez tenían hélices de cuatro palas. Para mover las hélices se usaba un simple sistema de poleas. La estructura estaba hecha de tubos de acero para soportar el peso del conjunto motor, rotores y sistema de poleas.

El primer vuelo fue hecho en Douai, Francia, el año 1907 y se elevó una altura de un metro y medio figura [3.1].



Fuente: <http://alasvirtuales.blogspot.mx/2011/02/fechas-para-el-recuerdo-las-alas-en-la.html> visitado: 17/02/14

Figura [3.1]: Breguet-Richet Gyroplano N°1

El quadrotor es una forma económica para visualizar una zona de riesgo o de difícil acceso como en accidentes, catástrofes de la madre naturaleza, tomas de fotografías en lugares difíciles.

Uno de los desafíos es que no hay un control de despegue por el cual nos lleva a programar un algoritmo de control, para tener una buena estabilidad que lo ayude al usuario, para no ser peligroso tanto para el usuario ni para el quadrotor, y llevar la comunicación de pc - quadrotor.

3.2 Alcances y limitaciones

3.2.1 Alcances

- El ensamble del quadrotor
- Cambio de la manufactura del quadrotor a fibra de carbón
- Estructura para pruebas de vuelo
- Comunicación interface
- Pruebas de vuelo
- Comportamiento del control

3.2.2 limitaciones

- El tiempo del vuelo
- Peso de carga
- Climas
- Obstáculos

CAPITULO 4

4.1 Estudio del campo del arte

En el estudio de los vehículos no tripulados, el campo de estudio es muy amplio donde abarca los aviones, helicópteros, los robots móviles terrestres, los helicópteros de multirotores de uno, dos, tres, cuatro o más rotores, etc.

Los helicópteros de multirotores sus aplicaciones es muy amplio, ya que son muy estables, tiene una precisión para las tomas de fotografías y videos, al igual que lo quieren involucrar en la agricultura, en construcción de edificios, de vigilancias, eventos deportivos, incendios forestales, etc. [8]

4.1.1. Los tipos de multirotor

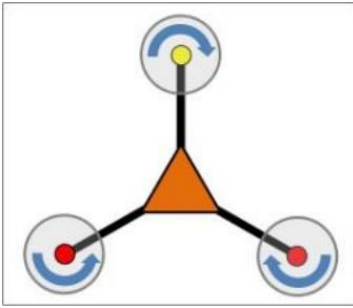
4.1.1.1. Tricopter

Número de motores: 3

Numero de rotores: 3

Angulo de separación: 120

Configuración: triangular



Fuente: <http://www.suasnews.com/wp-content/uploads/2011/02/scorpion-complete-1.jpg>

Figura [4.1]: Tricopter **visitado:** 17/02/14

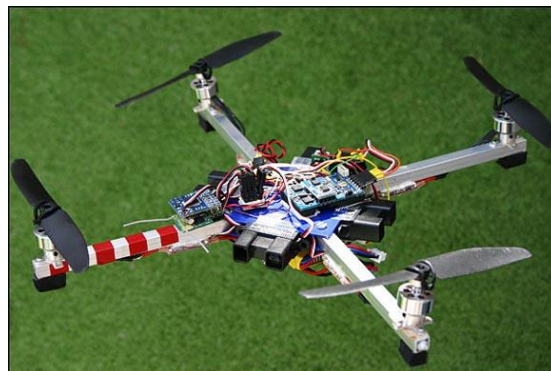
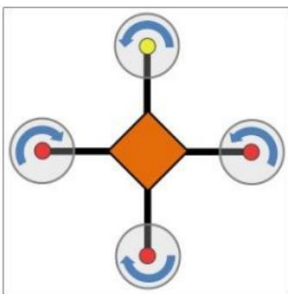
4.1.1.2 Quadcopter

Número de motores: 4

Numero de rotores: 4

Angulo de separación: 90

Configuración: cruz, Equis



Fuente: http://www.rpkessler.com/CS206/Alejandro_Sanchez/images/QuadCopter.jpg

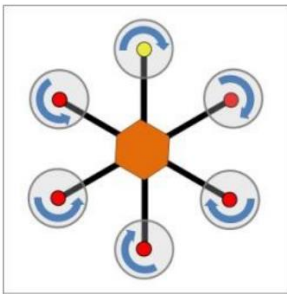
Figura [4.2]: Quadcopter **visitado:** 17/02/14

4.1.1.3 Hexacopter

Número de motores: 6

Numero de rotores: 6

Angulo de separación: 60



Fuente: <http://www.jamcopters.cz/images/products/normal/mk-hexacopter-xl-43.jpg>

Figura [4.3]: Hexacopter **visitado:** 17/02/14

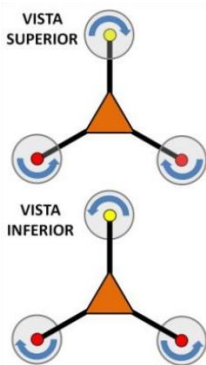
4.1.1.4 Y6copter

Número de motores: 3

Numero de rotores: 3

Angulo de separación: 120

Configuración: triangular



Fuente: <http://aeroquad.com/attachment.php?attachmentid=8407&d=1362600881>

Figura [4.4]: Y6copter **visitado:** 17/02/14

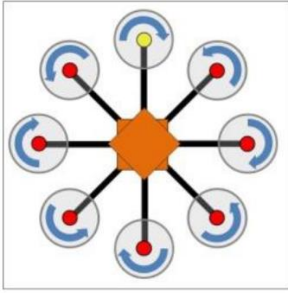
4.1.1.5 Octocopter

Número de motores: 8

Numero de rotores: 8

Angulo de separación: 45°

Configuración: octogonal



Fuente: http://www.underwaterinspections.com.au/uploads/1/6/8/5/16857772/9946051_ori_g.jpg Figura [4.5]: Octocopter visitado: 17/02/14

4.2 Componentes eléctricos de un quadrotor

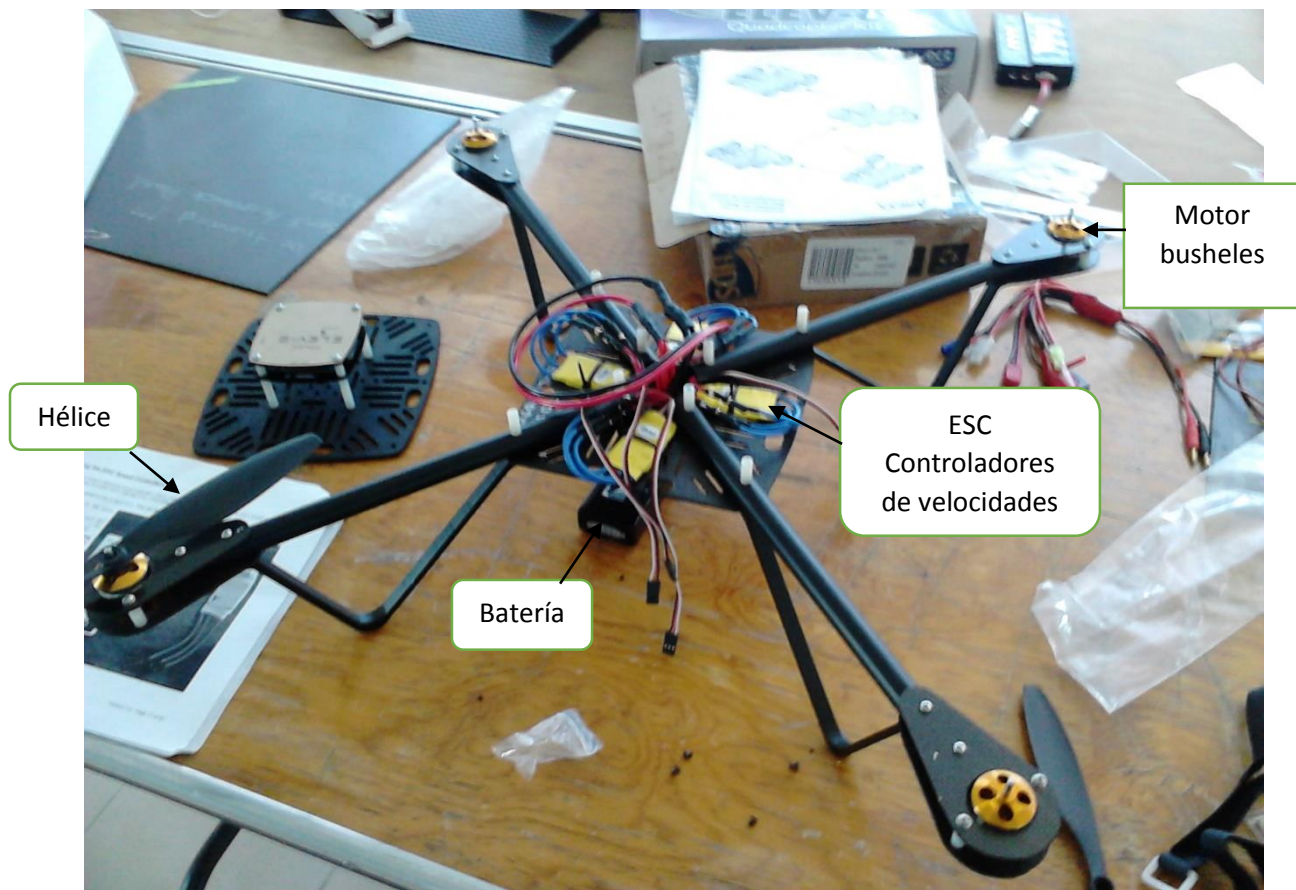


Figura [4.6]: Componentes eléctricos

La gran mayoría de los modelos de quadrotor provienen de origen europeo y son empleados en alta proporción por organizaciones relacionadas con el sector defensa y seguridad, aunque algunos operadores los utilizan en aplicaciones que incluyen el video y fotografías comercial, publicitaria, así como la transmisión de eventos deportivos [9].

4.3 Componentes del quadrotor

Conoceremos las componentes del quadrotor, definiendo y una breve explicación de cada uno de las partes.

Los siguientes componentes son:

- Motores
- ESC controladores de velocidades
- Raspberry pi
- Placa hoverfly
- Wi-pi
- Turnigy program card
- Hélices
- Baterías
- Brazo del quadrotor (tubos)
- Montaje superior e inferior
- Tren de aterrizaje

4.3.1 Motor

Se utiliza motores del tipo brushless es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor.

Los motores brushless tienen la característica de que no emplean escobillas en la conmutación para la transferencia de energía; en este caso, la conmutación se realiza electrónicamente. Esta propiedad elimina el gran problema que poseen los motores eléctricos convencionales con escobillas, los cuales producen rozamiento, disminuyen el

rendimiento, desprenden calor, son ruidosos y requieren una sustitución periódica, por tanto, un mayor mantenimiento.

Los motores brushless tienen muchas ventajas frente a los motores DC con escobillas y frente a los motores de inducción.

Algunas de estas ventajas son:

- Mejor relación velocidad-par motor
- Mayor respuesta dinámica
- Mayor eficiencia
- Mayor vida útil
- Menor ruido
- Mayor rango de velocidad.

4.3.2 Motor brushless

El motor brushless se utiliza en el proyecto, como se observa en la figura [4.7] este tipo de motor no gira solo el eje, sino que también la carcasa ya que están juntas.

En la parte de abajo traes los tres cables que es negro, amarillo, y el rojo es la fuente de alimentación del motor. Es alimentado con los controladores de velocidades ESC, con 5 volts para poder girar el motor y tener la suficiente fuerza para poder levantar el peso del quadrotor.



Figura [4.7]: Motor quadrotor.

En la siguiente figura [4.8] se observa en la parte de abajo que tiene cuatro orificios que es donde son sujetados con cuatro tornillos en los brazos del quadrotor.

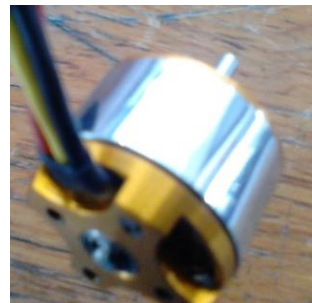


Figura [4.8]: Motor lateral

4.3.3 Controlador ESC HW30A

El ESC HW30A es el controlador que utiliza para el quadrotor en el control de la velocidad del motor, se presenta la figura [4.9], donde se observa como son los ESC controladores de velocidades, cada uno de los ESC controladores de velocidades está conformado con los tres cables azul en las puntas tienen soldado un ES hembra para poder conectar el motor, y del otro extremo tenemos dos cables que es el rojo, negro es donde se alimenta el driver con una batería de 330 mA lipo con 11.1 volts. Aparte hay otro cable que trae tres cables juntas, es la que va conectado al hoverfly para mandar la señal con el cable blanco, el cable rojo alimenta a la tarjeta hoverfly y aterriza con el cable negro.

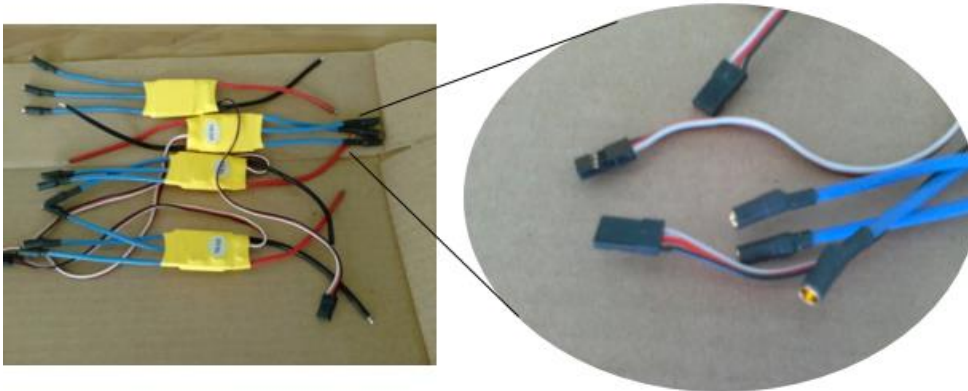


Figura [4.9]: Controladores de velocidades ESC

Características

- Modelo: HW30A
- Material: Fibra de vidrio
- Color: amarillo + rojo + negro + azul
- Corriente constante: 30A
- Corriente máxima: 40A (> 10 s)
- Entrada: 5.6V - 16.8V
- BEC de salida: 2A (modo lineal)
- Programable por el usuario
- Ajuste automático de bajo voltaje basado en pila
- Acelerador rango de ajuste automático
- Arranque suave rampa hasta

4.3.4 Placa Hoverfly pro

Hoverfly pro es un sistema de control de vuelo profesional, ampliable y Plug-N-Fly para multicopteros. Diseñado para proporcionar un vuelo estable para fotografía, Hoverfly pro es una revolución en sistemas aéreos no tripulados. Donde se vuelan UAV hay placas de estabilización, y Hoverfly pro proporciona un coste bajo, un diseño brillante, y unas prestaciones consistentes y fiables.

Proporciona la estabilización que necesitan muchos usuarios para realizar fotografía y video desde multicopteros diseñada para vuelo estable y fotografía aérea.

Las placas de Hoverfly pro se pueden adaptar a multi-rotors de cualquier tamaño, incluyendo modelos de alta capacidad de carga en múltiples configuraciones.

Las configuraciones actuales incluyen Quad (+ ó x), Hexa, Octo, X3 y X4.

El hoverfly pro está diseñada como un sistema modular: puede ser ampliada según evolucione la tecnología.

Características principales:

- Escalable a cualquier tamaño de multi-rotor, incluyendo equipos "heavy lift"
- Estabilidad probada para fotografía aérea y video
- Sistema ampliable con módulos futuros (GPS)
- Mantenimiento de altitud con control integrado para alabeo y profundidad
- Compensación automática de alabeo y profundidad para cámaras de foto y video
- Captura y grabación de datos de vuelo
- Totalmente ensamblada, sin necesidad de soldar componentes
- Actualizaciones de software gratuitas, sin necesidad de programación
- Incluye soportes anti-vibración y cable USB para actualizar el software

En la siguiente figura [4.10] se observa el Hoverfly que se utilizó en el proyecto. Se observa que trae para varios pines como se observa en la imagen de un lado trae ESC Motor Port, es donde van conectado los pines que salen del ESC controlador de velocidades, de otro lado se observa Receiver Port, es donde van conectado los pines del receptor del radio control.

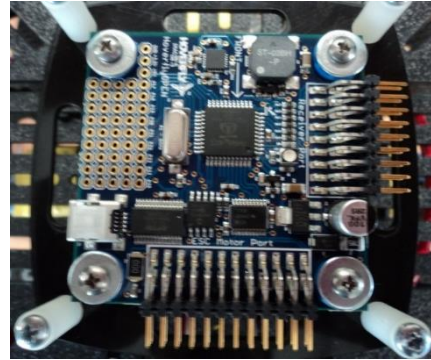


Figura [4.10]: Hoverfly

4.3.5 Raspberry pi

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida o (placa única) (SBC) de bajo costo, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas.

El diseño no incluye un disco duro ni unidad de estado sólido, ya que usa una tarjeta SD para el almacenamiento permanente; como se



Figura [4.11]: Raspberry pi

Observa en la figura [4.11]. Tampoco incluye fuente de alimentación ni carcasa.

Se puede conectar a una red usando un adaptador USB-Ethernet suministrado por el usuario. Por otro lado, se puede conectar un adaptador Wi-Fi por USB, para tener acceso a redes inalámbricas o internet.

Raspberry Pi, es una placa que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común. Es un pequeño ordenador capaz, que puede ser utilizado por muchas de las cosas que su PC de escritorio hace, como hojas de cálculo, procesadores de texto y juegos.

También posee un System on Chip que contiene un procesador ARM que corre a 700 MHz, un procesador gráfico VideoCore IV y hasta 512 MG de memoria RAM. Es posible instalar sistema operativo libre a través de una tarjeta SD.

Como es típico en los ordenadores modernos, tiene las funciones de una computadora se le puede asignar memoria que deseamos, como pantalla se puedes utilizar una televisión o una computadora, así para poder escribir el código o para ejecutar en la Raspberry pi para trabajar cómodo podemos conectarle teclados y ratones con conexión USB para poder trabajar a gusto con la Raspberry pi.

4.3.6 Definición de Teensy

El teensy es un sistema completo basado en USB de desarrollo del microcontrolador, en un tamaño muy pequeño capaz de implementar muchos tipos de proyectos. Toda la programación se realiza a través del puerto USB. No se necesita una programación especial, sólo una "Mini-B" cable USB estándar y un PC o laptop con un puerto USB.

Características del teensy:

- Tiene un procesador AT90USB1286 8 bit AVR 16 MHz
- Memoria flash 130048
- Memoria ram 8192
- EEPROM 4096
- E/S 46, 5 voltios
- Analógica 8
- PWM 9
- UART, 12C, SPI 1, 1, 1

Características principales:

- USB puede ser cualquier tipo de dispositivo
- Procesador AVR, 16 MHz
- Programación con un solo botón
- Fácil de usar Teensy cargadora
- Herramientas de desarrollo de software libre
- Funciona con Mac OS X, Linux y Windows
- Pequeño tamaño, perfecta para muchos proyectos

- Disponible con clavijas para protoboard sin soldadura
- Muy bajo costo y las opciones de envío de bajo costo

4.3.7 Turnigy program card

Turnigy program card es un dispositivos para programar los ESC controladores de velocidad, se conecta al ESC controlador de velocidad que le permite al usuario poder programar de acuerdo con una serie de indicadores de led o de acuerdo al manual que viene para el quadrotor, tiene botones en la parte inferior que sirve para navegar en el menú, para seleccionar las funciones que desea, al igual para cambiar el programa del ESC.

Este artículo es una excelente adición para el equipo de vuelo, especialmente con el nuevo estuche de plástico duro como se observa en la figura [4.12] y le permite cambiar rápidamente el ESC ajustes en el campo en un tiempo mucho más corto y con mayor seguridad de que lo que ha cambiado es correcta y se guarda en el ESC controlador de velocidades.



Figura [4.12]: Turnigy program card

4.3.8 Las hélices

Las hélices de los motores son los componentes necesarios que van colocados en los motores, porque son los que impulsan al quadrotor para poder elevarse, dependiendo de las revoluciones de los motores al igual que las hélices tendrán las misma revolución llegando a un cierto impulso necesario para elevar el quadrotor. En la siguiente figura [4.13] se presenta los dos tipos de hélices que están enumeradas para que se puedan colocar bien en cada motor que son: 1045R y 1045 estos número son importantes considerar, a la hora de colocar las hélices en el quadrotor por que no es de colocar para que tengan hélices los motores, hay que checar bien que es el indicado que se le colocan al motor, el quadrotor tendría problemas para el despegue.



Figura [4.13]: Hélices

Otro punto importante es el diseño de las hélices, que no sea grande para el peso que cargara ni muy pequeño, para poder llevar acabo buenas maniobras.

Tiene que estar considerado el tipo del material que este hecho las hélices, para soportar impactos, el tipo de material utilizado en el proyecto del quadrotor es de polímero, pero no son resistentes al impacto, pero si da el impulso necesario para que se puede elevarse el quadrotor.

4.3.9 Tren de aterrizaje

El tren de aterrizaje de un quadrotor, es el apoyo para que el quadrotor no se vaya a golpear las partes del brazo y otras partes delicadas del quadrotor, es el que lo tiene levantado a una cierta altura, son los que tocan el suelo, en este proyecto se utiliza cuatro para tener equilibrado el quadrotor, en la siguiente figura [4:14]: se observa uno de los trenes de aterrizaje que se utiliza en el proyecto.



Figura [4.14]: Tren de aterrizaje

4.3.10 Cuerpo del quadrotor

El cuerpo del quadrotor es la placa principal donde otros componentes del quadrotor estarán conectado, son dos placas una de ellas se observa en la figura [4:15] la primera placa es la que estará puesto en la parte de arriba y el segundo estará puesta en la parte de abajo para que el quadrotor este rígido que no haya pandeo en el centro del cuerpo.

En el cuerpo del quadrotor es donde estarán conectado los brazos del quadrotor, los trenes de aterrizaje, el hoverfly o la Raspberry pi, teensy, la batería y los circuitos del quadrotor.

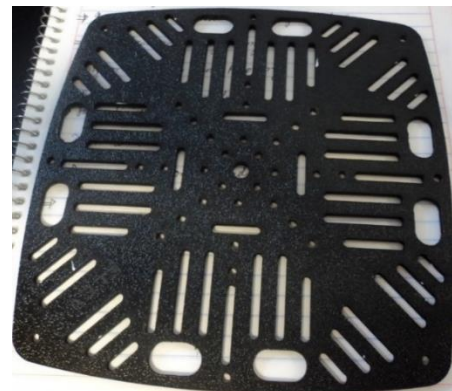


Figura [4.15]: Cuerpo del quadrotor

En las siguientes figuras [4.16] y [4.17] son las piezas que estarán conectados en uno de los extremos de cada brazo del quadrotor donde estará colocado el motor, la figura [4.17] es donde estará sujeto el motor con los cuatro tornillos, la otra placa que se observa en la figura [4.16] es colocado al igual que la otra pero como trae un orificio con mayor diámetro, es donde el motor deberá estar centrado, entre estas dos placas estarán sujetos en el brazo del quadrotor.



Figura [4.16]: Montaje superior



Figura [4.17]: Montaje inferior

4.3.11 Batería

La batería es uno de los elementos necesarios externos que debe de tener el quadrotor, la batería utilizada en este proyecto es de 11.1v la que se observa en la figura [4.18] para poder alimentar los circuitos del quadrotor, la batería es recargable que se necesitaría un cargador externo.



Figura [4.18]: Baterías lipo

Características de la batería:

- batería lipo, 3300 mAh 3 celdas velocidad de descarga de 20 C
- Lipo Cargador de batería

4.3.11.1 Consejos de seguridad

Las células de polímero de litio son un tremendo avance en la tecnología de baterías para su uso RC. Sin embargo, debido a la química de las células de litio, existe la posibilidad de incendio si la carga no se realiza correctamente. Es inevitable debido a la naturaleza de litio. Son inherentemente peligrosos, pero que se puede utilizar de manera segura mediante la adhesión a las reglas y precauciones sencillas.

- Las baterías nunca deben ser desatendidos mientras se está cargando.
- Siempre deje que las baterías de li-po enfríen a temperatura ambiente antes de la carga.
- Asegúrese de que el cargador está diseñado específicamente para los paquetes de baterías de li-po.
- Estar absolutamente seguro de que la configuración del cargador de polímero de litio son correctos para la batería que está siendo cargada - la tensión y la configuración actual.
- No cargue las baterías cerca de objetos o líquidos inflamables.
- Mantenga un extintor seco cercano o un gran cubo de arena seca, que es un extintor barato y eficaz.
- Nunca cargue dentro de un automóvil, incluso cuando está estacionado.
- Mantenga las pilas alejadas de niños y mascotas en todo momento.

Si el electrolito en las celdas debe recibir en su piel, lavar con abundante agua y jabón. Si en los ojos, enjuague bien con agua fría, busque inmediatamente atención médica para esto, o para las quemaduras.

4.3.12 Cargador de la batería

El cargador que se utilizara para cargar las baterías del quadrotor es el Tenergy, que se observa en la siguiente figura [4.19] para poder cargar la batería hay que ajusta las configuraciones de la batería, dependiendo que tipo de batería que se va a cargar. Para configurarla dependiendo de las características de la batería.

Se observa una barra de menú para mover, subir y bajar los indicadores una vez ya bien configurado lo que se tiene que hacer es dar clic en ok o Start para que empiece a cargar la batería.

Una vez ya cargado el cargado empezar a sonar haciendo pitidos como señal de que la batería ya está cargada, hay que desconectar la batería para no sobre cargarla y evitar dañar el cargador.



Figura [4.19] Cargador

4.3.13 Wi-pi

Wi-pi es un adaptador inalámbrico para la Raspberry pi, dado que no viene con un built-in tarjeta de interfaz de red inalámbrica, es ideal para los usuarios comprar un adaptador inalámbrico por lo general al comprar cualquier adaptador inalámbrico que funciona con Windows, no funciona con la Raspberry pi.

Para evitar problemas para conexión de Wi-fi, el Wi-pi funciona ya que es especial para la Raspberry pi, solo hay que configurar a la red inalámbrica que se utiliza. En la siguiente figura [4.20] se observa el Wi-pi que se utiliza en el proyecto.



Figura [4.20]: Wi-pi

4.3.14 Sustitución de la estructura de polímero a fibra de carbón

Sustituir las piezas del quadrotor es uno de los puntos no considerados, al tener que las piezas del quadrotor es de polímeros que no tiene las características para soportar presiones o impactos que puede pasar en un accidente del quadrotor.

Para llevar a cabo el proyecto no teníamos considerado que el material no era el indicado, con la presión de las tuercas se rompieron tanto el cuerpo del quadrotor y en los brazos también por lo visto no tienen las características adecuadas del material para soportar presiones no muy altas, impactos, etc.

El tipo de material que traía el Quadrotor es de polímero, una vez empezando hacer el ensamble al apretar los tornillos el polímero no soporto la presión se rompieron como observamos en las siguientes figuras [4.21], en las partes que están rotos es donde fueron colocados los tornillos pero no soporto la presión que se le puso, debido a estos daños se sustituye todas las partes de quadrotor a fibra de carbón.



Figura [4.21]: a) Pieza rota



Figura [4.21]: b) Pieza rota



Figura [4.21]: c) Pieza rota



Figura [4.21]: d) Pieza rota

Figuras [4.21]: Piezas rotas por presión

Se decidió cambiar el material a fibra de carbono como lo antes mencionado, tiene propiedades mecánicas similares al acero y es tan ligera como la madera o el plástico. Por su dureza tiene mayor resistencia al impacto que el acero.

4.3.15 Fibra de carbón

Las propiedades principales de este material compuesto son:

- Muy elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Baja densidad, en comparación con otros elementos como por ejemplo el acero.

En las siguientes figuras [4.22] se presentan las piezas ya en fibra de carbón.



Figura [4.22]: a) Montaje superior e inferiores



Figura [4.22]: b) Cuerpo del quadrotor

Figuras [4.22]: Piezas en fibra de carbono

4.4 Lenguajes de programación

4.4.1 Python

Python se usa en programación de sistemas, cálculo numérico, desarrollo web, software para dispositivos móviles, desarrollo de aplicaciones de escritorio, educación, simulación, etc.

Python es un lenguaje multiplataforma (Windows, Mac, Linux, etc.), multiparadigma. Es un lenguaje de programación de propósito general, de muy alto nivel (un alto nivel de abstracción, con el uso de listas, tuplas, diccionarios).

Es un lenguaje interpretado o de script es aquel que se ejecuta utilizando un programa intermedio llamado intérprete, en lugar de compilar el código a lenguaje máquina que pueda comprender y ejecutar directamente una computadora (lenguajes compilados).

La orientación a objetos es un paradigma de programación en el que los conceptos del mundo real relevantes para nuestro problema se trasladan a clases y objetos en nuestro programa. La ejecución del programa consiste en una serie de la interacción entre los objetos. También permite la programación imperativa, programación funcional y programación a aspectos.

4.4.2 Arduino

Los programas hechos con Arduino se dividen en tres partes principales: estructura, valores (variables y constantes), y funciones. El Lenguaje de programación Arduino se basa en C/C++.

Se puede usar Arduino para crear objetos interactivos, leyendo datos de una gran variedad de interruptores, sensores y controlar multitud de tipos de luces, motores y otros actuadores físicos. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o comunicarse con un programa (software) que se ejecute en tu ordenador (ej. Flash, Processing, MaxMSP). La placa puedes montarla tú mismo o comprarla ya lista para usar, y el software de desarrollo es abierto y lo puedes descargar gratis.

El lenguaje de programación de Arduino es una implementación de Wiring, una plataforma de computación física parecida, que a su vez se basa en Processing, un entorno de programación multimedia.

Los programas que se llevaron a cabo con el arduino, lo primero es para activar los motores, ver el ángulo de inclinación con el sensor MENSIC 2124, la comunicación del arduino al teensy que se utilizan los códigos que se encuentran en los anexos.

CAPÍTULO 5

5.1 Marco teórico

5.1.1 Definición del multirrotor

Un vehículo aéreo no tripulado que presenta la configuración de multi-rotor se puede definir fundamentalmente como un “helicóptero” que posee varios ejes de rotación sobre los cuales se montan rotores independientes, los cuales giran en sentidos opuestos con el fin de contrarrestar el efecto de torsión producido; evitando así que la aeronave gire descontroladamente sobre su eje vertical de rotación.

El concepto de crear un vehículo aéreo multi-rotor se remonta a los inicios de la aviación el siglo XX, cuando el 11 de noviembre de 1922 el ingeniero francés Etienne Oehmichen

(1884 - 1955) voló con éxito su modelo de helicóptero "Oehmichen No.2", primera aeronave de su tipo con la suficiente potencia para transportar a un hombre. Tenía cuatro grandes rotores de dos palas cada uno, montados horizontalmente sobre una estructura tubular en forma de X y accionados por un motor de 120 caballos de potencia.

Ante la posibilidad de controlar la actitud y orientación del helicóptero, le fueron añadidos ocho pequeñas hélices, instaladas de forma vertical en las puntas del marco estructural. Este particular diseño de ala rotatoria figura [5.1].

Helicóptero Oechmichen No2



Fuente:

<http://ingaeronautica.files.wordpress.com/2010/11/helicoptero2.jpg?w=590&h=272>

Visitado: 18/02/14

Figura [5.1]: Helicóptero Oechmichen No2

En un trabajo paralelo , el ingeniero ruso George de Bothezat diseño y construyo entre 1921 y 1922 un helicóptero multi-rotor para el ejercito de los estados unidos, dotado de un motor Le-Ohone de 180hp. La estructura del helicóptero estaba constituida por cuatro marcos de 20 metros de largo, sobre los que se montaban cuatro rotores de 7.8 metros de diámetro con seis aspas aerodinámicas recubiertas de tela cada uno.

Hacia los años 50´sfue diseñado un modelo de helicóptero de cuatro rotores, denominado “Convertawing”. Su sistema de control en vuelo se basaba en la variación de potencia de los motores, lo cuales ejercían cambios en la velocidad de los rotores, lo que aumentaba o reducía la fuerza de sustentación en cada uno de ellos. La realización exitosa de muchos vuelos de prueba, demostró la viabilidad de este concepto y abrió el camino para el desarrollo de nuevos diseños, los cuales se han materializado en modernas aeronaves multi-rotores que actualmente vuela en la forma de vehículos aéreos no tripulados.



Fuente:<http://3.bp.blogspot.com/2rUTI36A1vo/TvCHFBL7Ubl/AAAAAAAAA4/nLc3E43IZws/s1600/untitled.JPG> Visitado: 18/02/14

Figura [5.2]: Multirotor convertawing

Los recientes avances den la electrónica, miniaturización de componentes, así como en lenguajes de programación más sencillos y flexibles han posibilitado la realización de un gran número de Micro vehículos Aéreos ((Micro Air Vehicles, MAV) fundamentados en el concepto multi-rotor.

Los tamaños y configuraciones de los MAV multirotor varían dependiendo de la aplicación y equipos, pero todos coinciden en la energía eléctrica como tipo de fuente de poder, ya que permite por medio de microcontroladores ejercer control del vehículos, en la figura [5.2] se muestran diferentes clases de sensores y dispositivos electrónicos instalados en la estructura de un MAV tipo quadrotor.

5.2 Aplicaciones del multirotor

Las aplicaciones para los multirotores aunque habitualmente esta clase de sistemas se suele relacionas con sistemas para aplicación militares, en la actualidad este tipo de robots se han podido introducir en campos civiles. Aplicando el uso de estos robots a la búsqueda en edificios parcialmente derrumbados, detección de incendios.

Una de las posibles aplicaciones de los robots aéreos es de detectar incendios. Para llevar a cabo esta tarea, se crea una aplicación basada en una cámara de bajo coste que se encuentra a bordo del Quadrotor. El principal problema de este tipo de cámaras es, además de su peso y tamaño, el precio que hace que sea imposible su uso para detectar incendios mediante un robot aéreo de este tipo. [9]

La capacidad de maniobrar le permite realizar un papel importante en muchas áreas. Las aplicaciones peligrosas, como en una guerra, donde otros tipos de vehículos son inaccesibles, aplicación comercial, como la realización de películas, aplicaciones agrícolas, granja, el seguimiento y la difusión de los productos químicos. [10]

5.4.1 Aplicación militar

El quadrotor tiene ventaja sobre los pequeños aviones no tripulados también pueden ser armados para tipos de operaciones ya que puede flotar y son más precisos en los tiros un proyecto emprendido por la infantería de marina el mayor Derek Snyder es la escuela naval de posgrado en monterrey



<http://www.popularmechanics.com/technology/military/planes-uavs/armed-quadrotors-are-coming-10720086> visitado: 19/02/14

Figura [5.3]: Quadcopter

5.2.2 Aplicación civil

Seguridad aérea grandes superficies.

Transporte de mercancías.

Investigación de la ciencia: la teledetección.

Búsqueda y rescate en catástrofes naturales [5].

5.4.3 Aplicación fotográficas

Para la aplicación de fotografías el quadrotor nos proporciona la estabilidad gracias a los cuatro rotores para poder hacer tomas de buena calidad ya que podemos maniobrar a nuestra manera y en espacio reducidos donde puede ser muy peligroso para las personas.



Visitado: 18/02/14

<http://spectrum.ieee.org/image/1847221>

Figura [5.4]: Quadrotor fotográfica

5.2.4 Aplicación para seguimientos de incendios forestales

Quadrotors para monitorización de incendios forestales estar en vuelo y detectar a largas distancias el incendio, mandar la señal a donde está siendo monitoreado para prevenir que agrande más el incendio para el cuidado de la madre naturaleza.

5.2.5 Vigilancia

La tecnología UAV ha demostrado ser un elemento especialmente valioso en misiones de observación y vigilancia. Esta tecnología, junto con el uso de cámaras visuales y térmicas, proporciona toda la información necesaria para operaciones en entornos peligrosos, como operaciones nocturnas o puntos de alto riesgo.

Los sistemas de Airelectronics han sido diseñados para desenvolverse en este tipo de misiones y manejar los elementos asociados. La nueva U-Station, desarrollada a tal fin, se encarga de gestionar tanto el enlace de vídeo como la telemetría, mientras que su diseño encapsulado con batería integrada hace que todo el sistema sea fácilmente transportable y de rápido despliegue.



Visitado: 18/02/14

<http://hacedores.com/category/drones/page/2/>

Figura [5.5]: Quadrotor de vigilancia

5.2.6 Topografía

Mediante el uso de datos de posición y actitud proporcionados por los sistemas de control de vuelo de Airelectronics, fotografías convencionales pueden ser usadas para generar orto mosaicos 2D y modelos 3D de grandes extensiones de terreno.

U-Pilot gestiona el disparador de la cámara, mientras U-Ground y U-See recopilan la telemetría. Una vez completado el vuelo, el software U-See genera un archivo de datos con la información posicional de las fotografías tomadas, permitiendo el uso de dicho archivos en el software encargado de generar el mapa o el modelo 3D de la zona sobrevolada.

El software U-See cuenta con características especialmente diseñadas para este tipo de aplicaciones como el generador de planes de vuelo, que simplifica el diseño de planes de vuelo para grandes extensiones de terreno, o el configurador de intervalo de disparo, que permite adaptar dicho tiempo a las necesidades de velocidad y altura del vuelo. Estos mapas proporcionan información vital para numerosas aplicaciones como minería, topografía o agricultura.



<http://www.masquemaquina.com/2014/04/drones-en-agricultura-aplicacion.html>

Visitado: 19/02/14

Figura [5.6]: Quadrotor aplicación agrícola

5.2.7 Seguridad

La seguridad es muy importante por eso el quadrotor es uno de los dispositivos adecuados para la tarea debido a que lo pueden monitorear desde una estación, y conducirlos en lugares peligrosos porque son helicópteros no tripulados.



Visitado: 19/02/14

<http://multicopterfpvnews.blogspot.mx/>

Figura [5.7]: Quadrotor seguridad

5.2.8 Búsqueda

La aplicación en búsqueda en el campo el quadrotor entra ya que se pueden utilizar para búsquedas el lugares con los aviones tripulados no pueden llegar o porque está muy difícil de maniobrar y arriesgar la vida.



<http://www.madrimasd.org/informacionidi/noticias/noticia.asp?id=50763>

Visitado: 19/02/14

Figura [5.8]: Quadrotor de búsqueda

5.3 Control de multirotor

5.3.1 Control PID

El controlador PID es el mecanismo de control más común. Basados en realimentación, calcula el error entre el valor medido y el valor que se quiere obtener. El algoritmo está fundamentado en tres parámetros: el proporcional, el integral y el derivativo. [13]

La ecuación general:

$$u(t) = Kp e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int e(t) dt + Kp Td \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ecu: 5.1}$$

Ecuación 1

Donde Kp es la ganancia proporcional, Ti es el tiempo integral y Td es el tiempo derivativo. La función de transferencia de un control proporcional integral derivativo (PID) es:

$$\frac{u(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Ti s} + Td s \right) \quad \text{Ecu: 5.2}$$

Ziegler y Nichols sugirieron más reglas para sintonizar los controladores PID lo cual significa establecer los valores Kp, Ti y Td con base en las respuestas escalón

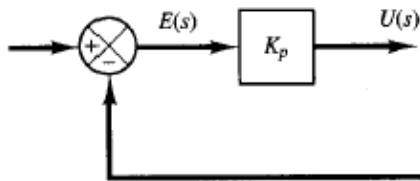
experimentales o basadas en el valor de K_p que se produce en la estabilidad marginal cuando solo se usa la acción de proporcional [12]

El algoritmo PID (Proporcional, Integral, Derivativo), es un conocido algoritmo de control para sistemas lineales. A su vez constara de tres constantes (K_p , T_i , T_d) que se deberá definir según el comportamiento deseado.

El algoritmo cuenta con una entrada y una salida. La entrada es el error obtenido, la salida será la potencia que necesitaremos aplicar al motor para corregir la desviación del error que hayamos obtenido. La salida se genera atreves de las tres partes que componen el algoritmo, la parte proporcional, la integral y la derivativa.

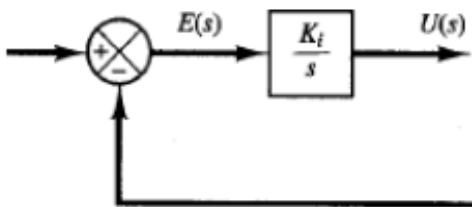
La parte proporcional se obtiene de multiplicar el error de entrar por la constante (K_p)

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad \text{Ecu: 5.3}$$



La segunda parte es la integral. Se obtiene de multiplicar la integral del error por la constante K_i , se calcula sumando los errores que hemos ido obteniendo, con la finalidad de compensar el error hasta cancelarlo.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad \text{Ecu: 5.4}$$



La derivativa se obtiene al multiplicar la derivada del error por la constante K_d . La finalidad de este es corregir la sobreactuación que hayamos aplicado para no tener oscilaciones, ya que se anticipa a la salida para disminuir la salida que hayamos obtenido con los dos anteriores. [12]

5.3.2 Autopilot

El Autopilot es un sistema utilizado para controlar la trayectoria de un vehículo sin "hands-on" de control por un operador humano que se requiera constantes. Los Autopilot no sustituyen a un operador humano, sino de ayudarles a controlar el vehículo, lo que les permite centrarse en los aspectos más amplios de la operación, tales como el seguimiento de la trayectoria, el clima y los sistemas [15].

El uso de Autopilot ayuda a automatizar el proceso de guiar y controlar la aeronave. Pilotos puede automatizar tareas, como el mantenimiento de altitud, subir o bajar a una altitud asignada, dirigiéndose a y el mantenimiento de un encabezamiento asignado, la interceptación de un curso, guiar la aeronave entre puntos de interés que componen una ruta programada en un FMS, y volando una precisión o aproximación de no precisión.

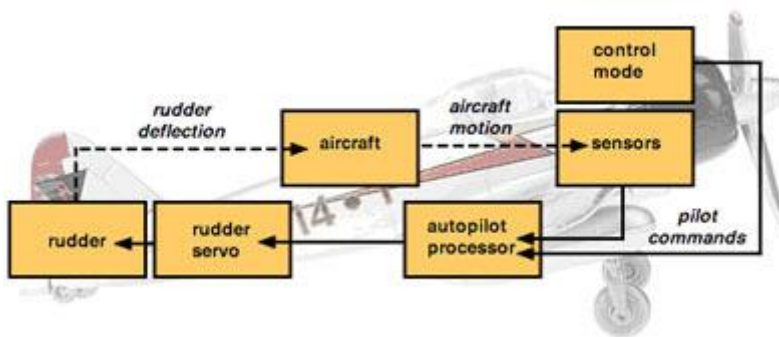
La mayoría de los Autopilot pueden volar recto y nivelado. Cuando hay tareas adicionales de encontrar un curso seleccionado (interceptar), el cambio de alturas, y el seguimiento de las fuentes de navegación con viento lateral, superior Se requieren cálculos de nivel. El FD está diseñado con la potencia de cálculo a realizar estas tareas y por lo general muestra las indicaciones para el piloto de orientación también. [17]

Los Autopilot son los tableros de control basados en microcontroladores que se leen en la información de los sensores y comandos de salida para motores, servos, u otros actuadores.

Medición Inercial Unidades (IMU) son grupos de sensores tales como acelerómetros, giroscopios, magnetómetros, y barómetros que se pueden utilizar para estimar la posición, velocidad y aceleración del vehículo en el que están instalados. [16]

5.3.2.1 Partes del Autopilot

El corazón de un moderno automático de vuelo del sistema de control es un equipo con varios procesadores de alta velocidad. Para recoger la información necesaria para controlar el avión, los procesadores se comunican con sensores situados en las superficies principales de control. También pueden recopilar datos de otros sistemas y equipos del avión, incluyendo giroscopios, acelerómetros, altímetros, brújulas y los indicadores de velocidad aerodinámica.



<http://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/autopilot2.htm>

Figura [5.9]: Partes del Autopilot **visitado:** 20/02/14

5.3.2.2 Cómo utilizar una función de piloto automático

Se requieren los siguientes pasos para utilizar la función de piloto automático:

1. Especifique la pista deseada como se define por secciones, por supuesto, serie de puntos de referencia, la altitud, la velocidad aérea y / o verticales velocidad.
2. Involucrar a la función de piloto automático deseada (s) y verificar que, de hecho, los modos seleccionados son enganchados por monitorear el panel anunciador.
3. Compruebe que la pista deseada está siendo seguido por la aeronave.
4. Compruebe que está seleccionada la fuente correcta navegación para guiar la pista del piloto automático.
5. Esté listo para volar el avión manualmente para garantizar la adecuada seguimiento de curso / despacho en caso de fallo del piloto automático o programado incorrectamente.

6. Permita que la FD / piloto automático para lograr los modos seleccionada y programada sin interferencia o desacoplar la unidad. No trate de "ayudar" a la Autopilot para realizar una tarea. En algunos casos, esto tiene causado que el Autopilot de sentido falsamente condiciones adversas y el asiento hasta el límite para el cumplimiento de su tarea. En más de unos pocos eventos, esto ha resultado en una pérdida total de control y un accidente.

CAPÍTULO 6

6.1 Desarrollo del proyecto

6.1.1 Ensamble del quadrotor

El ensamble del quadrotor se desarrolla con tranquilidad, como se sabe que tienen piezas delicadas, al igual si se llegara a conectar mal puede ser una tragedia para el quadrotor, además es una forma de poder conocer las partes del quadrotor ya que tienen características importantes, especificaciones y otros artículos, que son necesarios para poder llevar acabo el vuelo del quadrotor.

Características:

- sistema Cuatro-rotor con palas de paso fijo
- tablero de control de vuelo del propulsor P8X32A microcontrolador.
- Pre-programado con un software de control de vuelo.
- placas personalizadas protegen los motores y la electrónica.
- Diseñado para conectar fácilmente una cámara de montaje.

6.1.1 Especificaciones

- Peso sin batería: (1,13 kg) completamente montado
- Capacidad de carga útil, excepto la batería: (0,9 kg)
- Altura (montado): (19 cm)
- ancho-Rotor-al rotor (centros, diagonal): (66 cm)

6.1.2 Artículos adicionales necesarios

- RC regulador de radio y el receptor, mínimo de 5 canales para el vuelo
- batería lipo, 3000-4400 mAh 3 celdas velocidad de descarga de 30 C
- Lipo Cargador de batería

6.2 Desarrollo del ensamble

6.2.1 Fijación de los tornillos

Fijación de los tornillos en los motores

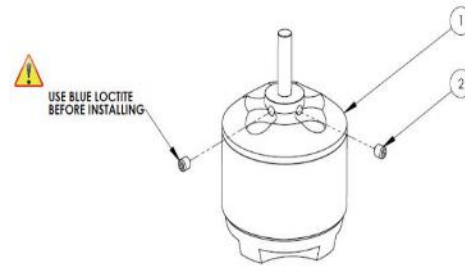


Figura [6.1]: Fijación de motor

6.2.2 Soldar los cables de extensión para los motores

Soldar los cables de los motores, los tres cables de los motores hay que soldarles una extensión de 30.5 cm con cables de 16 AWG los tres cables de los motores sirven para poder definir el sentido del par de los motores teniendo tres colores que están conectados en los motores que es el negro, amarillo y rojo como se observa en la siguiente figura [6.2]. Son los que van conectado al ESC driver controlador de velocidades ya que tiene tres cables de color azul, pero el amarillo deberá ir conectado con el cable azul pero el de en medio, el negro y el rojo son los que definen el sentido del giro de los motores, si se conectan negro, amarillo y rojo el sentido del giro será anti horario, pero si se conectan rojo, amarillo y negro será horario el giro del motor, pero como en la extensión se utiliza un cable rojo.

Entonces se enumeraran los cables de la siguiente manera; el negro es el número 1, el amarillo es el número 2, y el rojo es el número 3, pero al conectar se tiene que tomar en cuenta la parte frontal del ESC HW30A.

En la punta del cable es soldado los conectores EC3 macho para poder conectar en la hembra de los conectores del ESC controlador de velocidades del motor.



Figura [6.2]: Parte inferior del motor

6.2.3 Colocación de los brazos

Una vez ya soldado los cables de los motores son introducidos en el tubo que es el brazo del quadrotor como vemos en la figura [6.3], atornillar y colocarles el tren de aterrizaje del quadrotor.



Figura [6.3]: Colocación del motor

En el primer brazo, para sujetar el motor hay que colocarle el montaje superior e inferior atornillarlos adecuadamente, después colocarle el tren de aterrizaje que van conectado a la placa que es el cuerpo principal del quadrotor como se observa en la figura [6.4].



Figura [6.4]: Colocación del primer brazo

El segundo brazo se introduce dentro del tubo y se atornillan los montajes superiores e inferiores. Y colocarlo en el cuerpo del quadrotor

El tercer brazo se lleva acabo el mismo proceso que los otros dos brazos, y todos los cables están quedando en el centro del quadrotor para no tener dificultades al conectar la batería.

El cuarto brazo del quadrotor es colocada de la misma forma que los tres brazos anteriores pero ahora el quadrotor ya queda levantado, sujetado por los cuatro trenes de aterrizaje como se observa en la siguiente figura [6.5].



Figura [6.5]: Colocado cuatro los brazos

6.2.4 Soldar los ESC controladores de velocidades

Cada motor debe tener su ESC controlador de velocidades, así como vemos en la figura [6.6] que hay cuatro ESC y en un extremo tiene tres cables azules y en cada una de las puntas tiene soldado un EC3 hembra donde se conectaran los tres cables de los motores y se les pone el termofit que sirven para aislar, tiene la misma función que una cinta de aislar los tubitos de termofit para reducir de tamaño hay que ponerle un cierto calor o con el secador de pelo para que tome la medida del cable,



Figura [6.6]: Controladores de velocidades

en el otro extremo tiene dos cables que es el rojo y el negro es donde se alimenta los driver, cada uno deben de ser alimentados con la batería del quadrotor.

Para eso es necesario soldar los cuatro ESC para sacar solo dos cables que es el rojo y negro, soldar los cuatro cables de rojo para sacar solo un rojo, al igual que el cable negro. Como se observa en la figura [6.7] y en la punta de los cables es soldado los conectores EC3 macho para poder conectar en la batería del quadrotor ya que en la batería esta soldado el EC3 hembra, que al mismo tiempo tienen la función de evitar cualquier corto del circuito.



Figura [6.7] Soldado los cuatro ESC

6.2.5 Colocar los controladores de velocidades de cada motor.

Al tener soldados los ESC controladores de velocidades y colocados los motores ahora hay que conectarlos, pero como sabe que los cables están enumerados al conectar con el ESC controlador de velocidades, lo más importante es conectar el cable número 2 del motor al cable de en medio del driver ya los otros dos son para definir el giro del motor pero por ahora no nos importa todavía eso así que los cables 1 y 2 lo conectaremos en cualquiera de los dos.

Ahora el cable que no está conectado es el de la señal que son las que se conectarán en la placa hoverfly pero como se observa en la figura [6.8] que trae tres cables que es; blanco, rojo y negro.

El cable blanco es donde serán enviando la señal.

El cable rojo es la alimentación.

El cable negro es para tierra.



Figura [6.8] Colocados los ESC a sus lugares

6.2.6 Programar el controlador de velocidades

El turnigy program card sirve para programar los ESC controladores de velocidades de los motores. Para poder programar hay que llevar acabo los siguientes pasos a considerar:

- Tener el turnigy program card físico
- Conectar el ESC controlador de velocidades al turnigy program card
- Alimentar los drivers con la batería del quadrotor
- Enciende las luces del turnigy program card, ordenarlos como se observa en la figura....
Una vez que estén colocados confirmar si están bien ubicados y darle click en el botón ok.
- El significado de cada luz lo podemos observar en la figura....

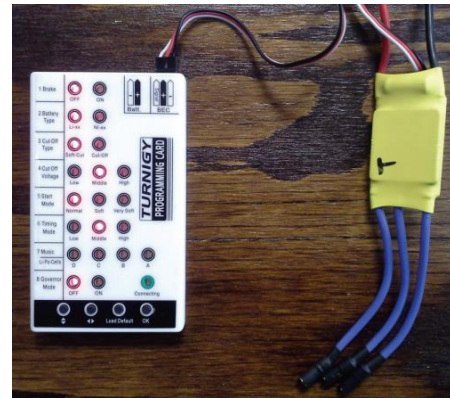


Figura [6.9] Programando ESC

Una vez ya listo entonces el driver ya está activado con el programa de prueba, para los otros tres controladores de velocidad se lleva acabo el mismo proceso.

1	Brake	Off
2	Battery Type	Li-xx
3	Cut Off Type	Soft-cut*
4	Cut Off Voltage	Middle
5	Start Mode	Normal
6	Timing Mode	Middle
7	Music/Li-Po Cells	(none)
8	Governor Mode	Off

Tabla [6.1]: Configuración ESC

6.2.7 Colocar la placa hoverfly del quadrotor.

Al conectar todos los driver el siguiente paso es de colocar el hoverfly como se observa en la figura..., es la placa con el que controla el quadrotor es donde se conecta los ESC controladores de velocidades pero el hoverfly es alimentado con 5v.

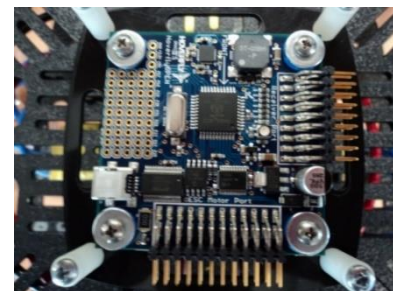


Figura [6.10]: Hoverfly

Como se observa que son tres cables como la figura [6.11] el negro que es tierra, el rojo son para los 5 volts y el blanco es para la señal, pero al estar conectado los cuatro driver solo es necesario tener conectado de un 5volts los otros tres lo podemos desconectarlos y tener conectados nomas el de tierra y el de las señales



Figura [6.11]: Volts

Pero al empezar a conectar los ESC controladores de velocidades tienen un orden como se observa en la figura [6.12]. Que trae dos tiras de pines en donde se alcanza a ver ESC motor Port es donde se conecta el ESC controlador de velocidades, los número que aparecen son los numero de los motores.



Figura [6.12]: Configuración ESC

El lado derecho donde dice receiver Port es donde se conecta el receptor del radio control, el orden como se conecta se observa en la siguiente figura [6.13] y el significado de las letras que están colocadas en los círculos el significado en la siguiente lista:



Figura [6.13]: Configuración del receptor

- A= Alleron ()
- T= Throttle ()
- R= Rudder ()
- E= Elevator ()
- G= Gear ()

En este orden es conectado también en el receptor, como se observa en la siguiente figura...



Figura [6.14]: Spektrum receptor

Una vez conectados todos los cables en el hoverfly se queda de la siguiente manera como se observa en la siguiente figura [6.15].

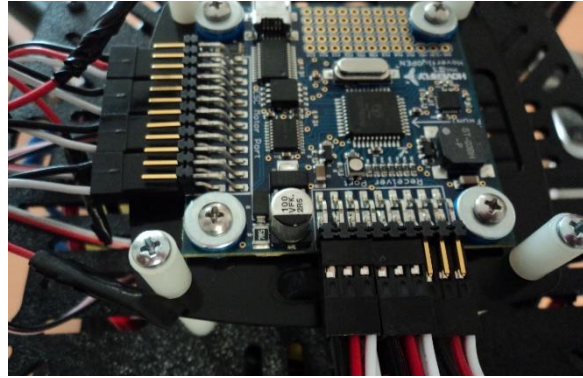


Figura [6.15]: Conectado el ESC y el receptor en el hoverfly

6.2.8 Radio control

El radio control Spektrum DX7S

Los DX7s está equipado con la programación Spektrum AirWare que fue desarrollado exclusivamente por Spektrum desde cero. Tiene todas las funciones de un avión o piloto de helicóptero que pueda desear, pero usted no tiene que ser un experto para utilizarlos. La interfaz intuitiva SimpleScroll™ hace que navegar por los menús y cambiar la configuración tan simple como "roll".



Figura[6.16]: DX7s

6.2.9 Configurar los giros de los motores

Para empezar a configurar los giros de los motores es necesario tener la configurado del radio control para poder empezar a probar los giros, para la prueba no hay que tener conectado la hélice o si ya están conectados lo recomendable es quitarlas y ponerles cinta aislante o algo que este pegado en ella, para poder distinguir el giro que se está llevando a cabo lo que se hizo fue enumerar los brazos de los quadrotor en el orden; M01, M02,

M03, M04 una vez teniendo los números, se configura el motor M01, M03, que el giro sea anti horario y el motor M02, M04 se configura que sea horario, como se observa en la figura [6.17]

Figura [6.17]: Configuración del giro de los motores

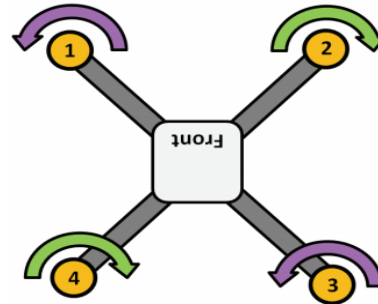


Figura [6.17]: a) Configuración de los giros

Figura [6.17]: b) Configuración de los giros

Una vez ya configurado el giro de los motores, ahora hay que poner las hélices para hacer las pruebas con el quadrotor.

6.3 Diseño de la estructura para sostener el quadrotor

6.3.1 Diseño en Solidworks

Después del accidente sucedido con el quadrotor nos lleva empezar un diseño, algo imprevisto que no fue tomado en cuenta en el cronograma de actividades la estructura se diseñó para sostener el quadrotor para no volver a tener el accidente, se pensó que el control del quadrotor no iba a estar difícil pero no lo fue así, y también sabiendo que no tenemos a un experto de manejo en quadrotor.

Para poder hacer bien el diseño de la estructura donde estará sujeto el quadrotor se tuvo que calcular las medidas para los espacios que debe tener para que no se golpearan las hélices, cuando el quadrotor se desestabilice de un lado a otro o cuando pierda el control del equilibrio.

La estructura está hecha de madera, con reglas de 3cmx2500cm, la altura es de 2.5 metros para poder hacer la prueba a una cierta altura y empezar a sacar el error en el tiempo que lo hace en subir a una cierta altura.

En la siguiente figura [6.18 b)] se observa la estructura, en el centro de la estructura se colocara el quadrotor, en medio de cada dos reglas se colocara el brazo del quadrotor para evitar que hay el giro de yaw, que solo lleve a cabo el pitch, roll pero a un cierto ángulo para evitar que se lleguen a golpear las hélices.

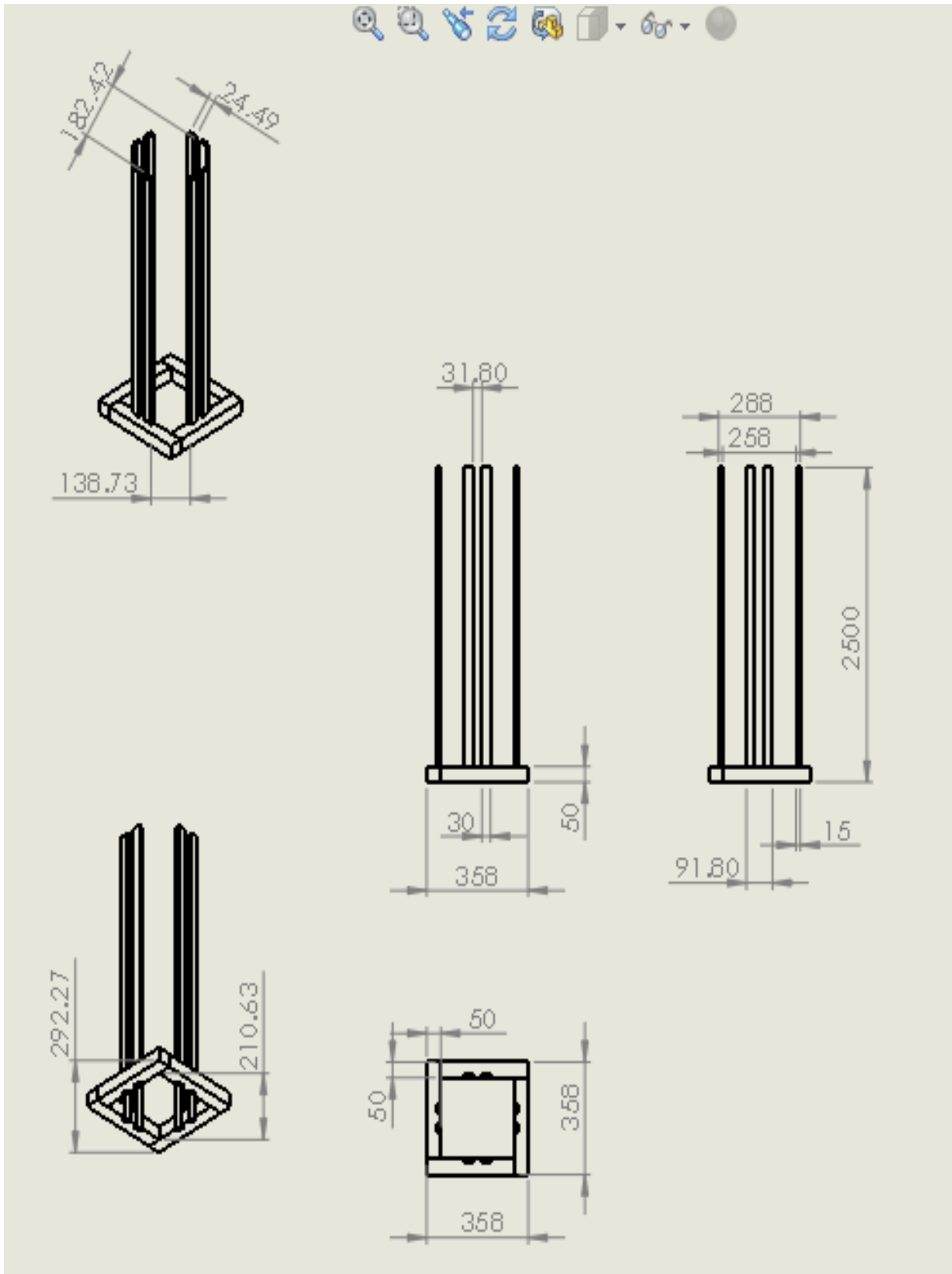


Figura [6.18]: a) Dimensiones de la estructura

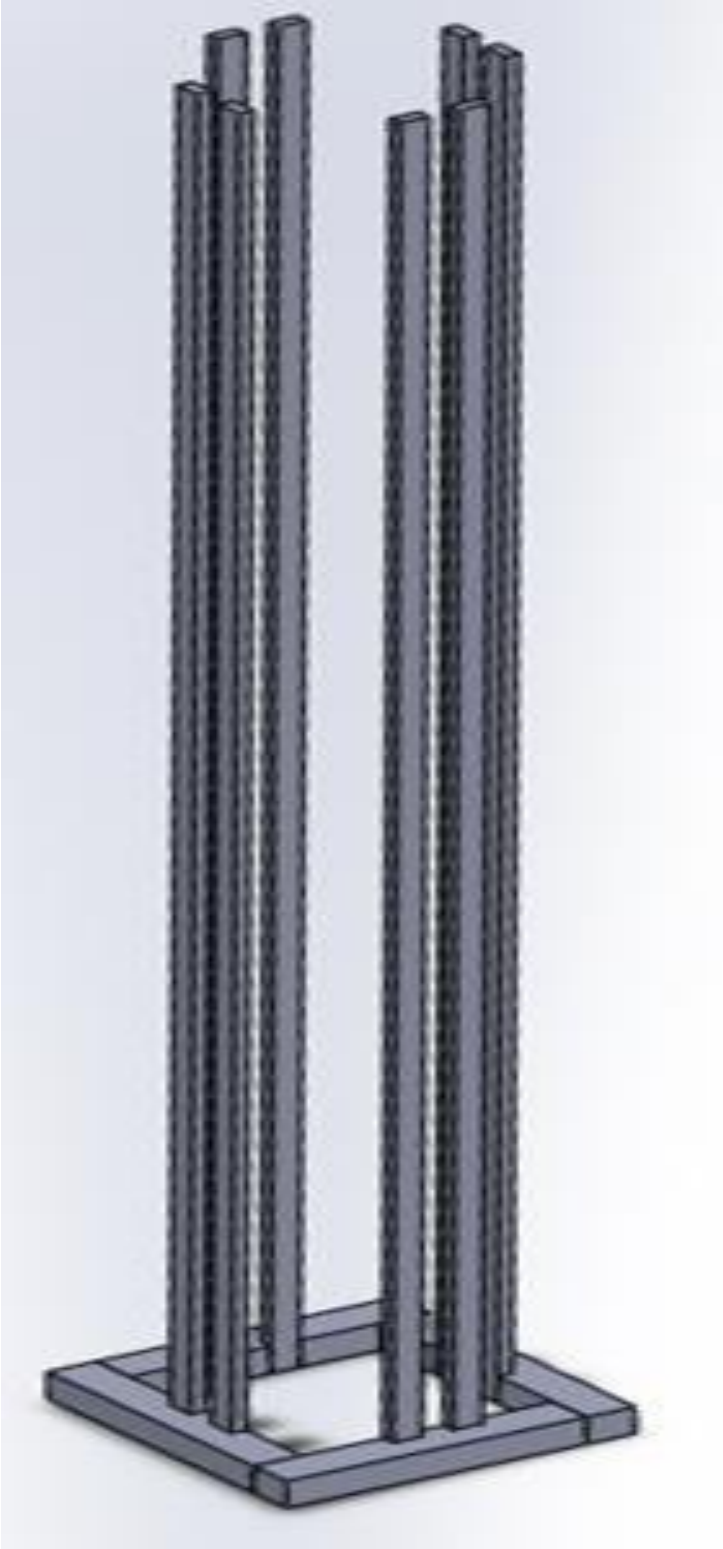


Figura [6.18]: b) Estructura de prueba

6.3.2 Armando la estructura

Una vez teniendo las medidas se empieza armar la estructura, en la siguiente figura [6.19] se observa la estructura ya lista y colocada el quadrotor, para probar si la estructura fue hecha a la medida deseada para no chocar las hélices durante el desequilibrio.

A media altura se observa que hay una cruz eso está hecho a la medida del quadrotor, para que las reglas de madera no se lleguen a abrir para perder la medida puesta, además nos sirve como un tope ajustable a la medida que deseada para que el quadrotor y definirle la altura que deseamos para la prueba. En la parte de arriba de la estructura tiene otra cruz a la medida del quadrotor para que no se abran las reglas, para que el quadrotor se mueva libremente y no tenga obstáculos en moverse ya que son 2.5 metros de altura.



Figura [6.19]: Estructura hecha de madera

6.4 Reductores de voltaje.

El reductor de voltaje, para el proyecto que se lleva a cabo un armado de un circuito para reducir los voltajes de la batería, es necesario tener un reductor de voltaje ya que el xbee se alimenta con un voltaje de 3.3volts, para evitar que haga corto circuito el sistema.

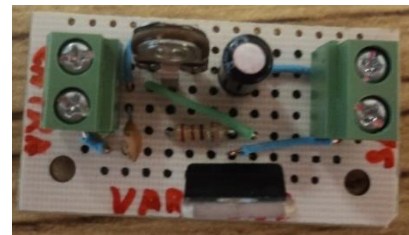


Figura [6.20]: Reductor de voltaje variable

El voltaje que se reduce se puede obtener en dos partes, directo de la batería que es el 11.1v y la otra es en el teensy con 5 volts pero este voltaje no le podemos mandar al teensy, por que se dañaría el circuito entonces no llevo a desarrollar dos circuitos que es un reductor de 11v, a uno que es variable como se observa en la siguiente figura [6.21] y el otro que es fijo de 11v o 5v para reducir a 3.3volts.

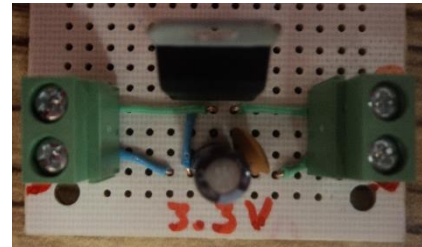


Figura [6.21]: Reductor de voltaje 3.3v

6.5 Cambiar la Raspberry pi a Teensy

Al tener problemas en programación para hacer las interrupciones, para empezar a llevar a cabo la comunicación, se cambia el sistema de programación de Python a arduino al igual se cambia la Raspberry pi al teensy, cuando se utiliza el Python se ejecuta en la Raspberry, y cuando se utiliza el arduino se utiliza el teensy.

Se programa en arduino pero utilizando el microcontrolador teensy para ejecutar el programa entonces se llevó acabo la activación de los motores como se sabe que el teensy trae pines especiales para el PWM, se utilizaron los pines 14, 15, 16 y 25 para activar los pines.

6.6 Activar los motores con el teensy

El código utilizado para activar los motores se encuentra en anexos, se conectaron los pines 14, 15, 16 y 25 del teensy al ESC controladores de velocidad y aterrizando todos los ESC para que no se ocurra ningún problema en el circuito en la siguiente figura [6.22] se observa las conexiones de los pines para cada motor, y los resultados observados en la prueba en la siguiente tabla...

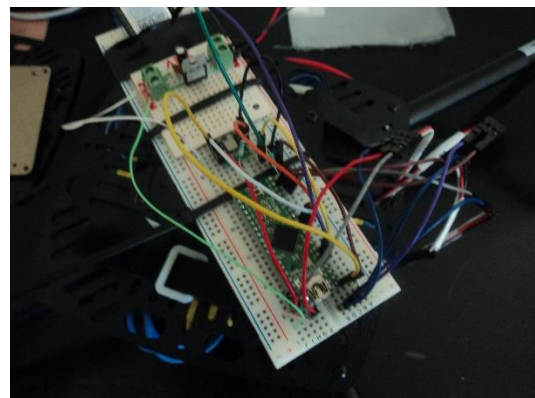


Figura [6.22]: Circuitos conectados en el teensy

Velocidades en ms	Observaciones
1100	Activar el motor
1120	Baja velocidad
1121	Incremento de 1ms

Tabla [6.2]: velocidades dos los motores

Ahora el motor arranca con la velocidad de 1120, el incremento de la velocidad con el teensy en de 1 en 1ms como se observa en la tabla, entonces se concluyó que teníamos problema con el Raspberry pi en el incremento de las velocidades como se sabe que el incremento es de cada 10 ms, la velocidad de arranque es 1140ms y la máxima de 1800ms.

6.7 Límites de velocidades

Los límites de velocidades de los motores hay que considerar para poder trabajar al 100% con el motor, es necesario conocer cuáles son sus rangos de trabajo, como en la hoja de datasheet del motor trabaja del 1000 al 2000, pero como se sabes que en las pruebas anteriores con el quadrotor utilizando el Raspberry pi, no empezaba con los 1000ms solo lo activaba los motores, empezaba con los 1140ms que es la baja velocidad de los motores. Primero lo que se hizo fue meterle los datos obtenidos con la Raspberry pi se observó que con los 1140ms ya empezaba a girar los motores ahora se le fue disminuyendo la velocidad para ver cuál es velocidad mínima, en eso se llega que con 1120ms los motores ya empezaron a girar con la velocidad baja.

Utilizando el teensy los límites de las velocidades obtenido con la prueba desarrollado es de 1120 y el máximo ya no se llegó a comprobar, porque en esta prueba se llevó acabo con las hélices puestas en el motor ya que se apretaron muy duro para evitar que se salgan, como el material es de aluminio por eso no se quiso quitar las hélices para no dañarlas, con 1000ms el motor se activa y el cambio de velocidades es de cada 1ms, y para el stop de la velocidad es de 1100ms.

6.8 Comunicaciones pc - quadrotor

Las comunicación son importantes para hacer las pruebas se llevaron a cabo las siguientes comunicaciones; de la misma pc, XStream – PKG, Ethernet y Xbee.

6.8.1 Comunicación cliente servidor de una misma pc.

La comunicación del pc al quadrotor lo primero nos lleva a familiarizarnos utilizando la comunicación de una misma computadora local host o poniéndole el IP: 127.0.0.1 para poder comunicación se utilizó un programa que está en Python la comunicación es de cliente - servidor, se utilizó con dos computadoras para hacer la comunicación utilizando CMD de la computadora. Por qué esta prueba nos sirve para saber cómo funciona ña comunicación, al igual será la comunicación de una computadora al Raspberry pi.

6.8.2 XStream – PKG

El módems XStream-PKG para producir de dos a ocho veces la gama de módems de la competencia, permitiendo a los usuarios para cubrir más terreno con menos dispositivos. Además, los módems XStream-PKG son fáciles de usar, reduciendo de ese modo la complejidad del desarrollo del sistema de datos.

Disponible en modelos de serie y USB RS-232/422/485, módems XStream-PKG pueden conectarse de forma inalámbrica una gran variedad de dispositivos a través de muchas aplicaciones, incluyendo el control remoto, automatización de edificios / seguridad, automatización industrial / SCADA, gestión de la flota de seguimiento / de activos y datos de sensores capturar en sistemas embebidos.

Pero esta prueba se llevó acabo para empezar a familiarizarse con las comunicaciones serial utilizando dos módems de XStream que uno va conectado a la laptop y el otro al quadrotor.

6.8.3 Ethernet

La comunicación por Ethernet, se utiliza la Raspberry pi y una laptop.

Para llevar a cabo la prueba utilizar el código que se encuentra en los anexos. Lo primero se conecta la Raspberry pi al quadrotor y el otro cable de Ethernet se conecta a la pc pero tienen que estar conectados en la misma red, porque si no es así la comunicación no se podrá llevar a cabo ya que no se podrá conectarse.

El programa se ejecuta en la Raspberry ya que la pc solo se utiliza la pantalla una vez ya ejecutado se abre el programa en xctu se conecta el dispositivo para poder mandar las señales y que ejecute la Raspberry pi.

Pero esta prueba no era el indicado para el quadrotor ya que se necesitaría tenerlo conectado el quadrotor con un cable de Ethernet.

6.8.4 Wi-fi

Para llevar a cabo la comunicación por Wi-fi se tiene que configurar el dispositivo a una red, pero la Raspberry pi no trae integrado el adaptador, para ese problema está el Wi-pi es un dispositivo que es especial para la Raspberry solo hay que configurar a la red que se quiere trabajar para poder hacer la comunicación desde una pc.

6.8.5 Comunicación de Xbee a Xbee

La comunicación se lleva a cabo mediante Xbee a Xbee, es necesario la comunicación para empezar a realizar las pruebas sin necesidad de tener conectado al USB del laptop, lo que se hace es cargar el programa mediante un cable de USB al teensy, ya que estará conectado con el Xbee.

Ahora conectar el otro Xbee en la laptop como se observa en la siguiente figura..., entonces abrir el Xctu, agregar el dispositivos y conectarlo para poder mandarle las señales ya sea para activar el motor, o mandarles las velocidades que deseamos imprimir algunos datos importantes que necesitamos monitorearlos.

Para la prueba lo primero que se hizo es activar y apagar el led 6 del teensy para ver cómo funciona la comunicación del teensy, esta prueba se desarrolla con el código que se encuentra en los anexos de la siguiente manera se activa con la letra “a” se activa y con la letra “b” de desactiva.

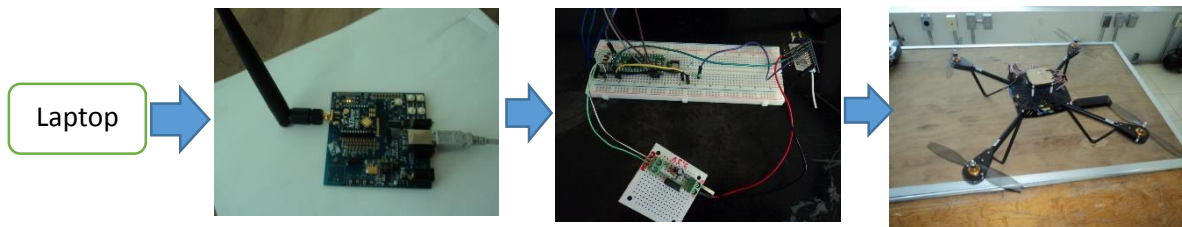


Figura [6.23]: Comunicación mediante Xbee

6.9 Activación de los motores con el Xbee

Para activar los cuatro motor mediante teensy se utiliza el cogido.... pero ahora en vez de utilizar serial se utiliza Serial1, porque con Serial es para llevar acabo conectado de la laptop a teensy y el Xbee, pero una vez utilizando el Serial1 será mediante dos Xbee.

Ahora abrir el programa Xctu para agregar el dispositivo del Xbee, lo primero es buscar con el xctu después agregarla, al último conectarla pero ahora necesitamos ejecutar el programa que tenemos en el arduino, una vez ejecutado ahora ya se puede mandar la señal en la xctu y la comunicación mediante UART ya que son dos dispositivos, uno es el

que toma bytes de datos y transmite los bites individuales de forma secuencial. En el destino un segundo UART reensambla los bits en bytes completos lo transmiten la información digital, y lo ejecuta en el teensy, como es la que estará conectado directo a los driver de los motores entonces la señal recibe los motores dependiendo las velocidades que le mandemos estarán activados.

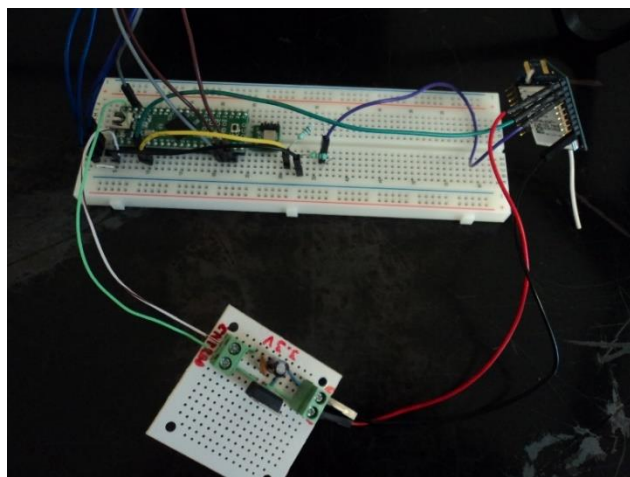


Figura [6.24]: Conexión de los motores

6.10 Sensor MENSIC 2125

El sensor MENSIC 2125 como se observa en la figura [6.25], es un sensor de dos ejes para controlar el roll y pitch, para lograr el equilibrio del quadrotor. El sensor nos sirve para calcular la inclinación del quadrotor, leyendo los datos que nos lo mando del sensor ya que nos da el ancho del pulso, pero el ancho del pulso lo convertimos a un ángulo de salida que es el ángulo de inclinación del Mnsic mx2125.



Figura [6.25]: Mnsic MX2125

El Mnsic mx2125 que se utiliza en el proyecto nos genera un error de entrada que cuando debería de estar en cero grados nos da un ángulo de 3 - 4 grados aproximadamente eso es un error que no debería de salir, pero esos grados se trataran de compensar y el otro problema que nos ocasión es que la máxima inclinación de un lado es de 70 grados que no llega a los 90 grados estos errores de entrada, nos ocasiona problemas al controlar el ángulo de inclinación, que no llegaríamos a cero. Aunque no tenga ninguna inclinación el sensor sigue marcando esos datos.

Pero como se utiliza el control PID lo que el sensor trata de restar el error para llevar a cero grados, el error se reducirá dependiendo de las contantes reacciona lo más rápido posible.

CAPITULO 7

7.1 Primera prueba

Una vez que el quadrotor está listo, configurado los motores y la comunicación del radio control con el receptor, entonces nos acudimos a probar los pares de los motores del quadrotor de cada uno de los motores con bajas velocidades y poniendo un peso 1kg aproximadamente para evitar que el quadrotor se levante de un lado, por si dado caso que el conductor lo acelere demasiado, para empezar con las pruebas es de ir probando cada uno de los motores.



Figura [7.1]: Quadrotor

Se lleva acabo los siguientes pasos;

Primer paso

Como ya sabemos el motor ya está conectado con el controlador de velocidades ESC, ahora es cuestión de conectar el ESC al receptor, pero en esta prueba solo se conectó uno de los cuatro motores, entonces se conecta en la parte de Throttle y después conectar la batería, el motor tiene que estar pitando como señal que ya está energizado para desbloquear se tiene que llevar acabo unas maniobras con el radio control en la parte del Throttle, la palanca es empujado hacia la izquierda debe de pitar dos veces después hacia la derecha tiene que pitar una vez, ahora el motor ya está desbloqueado esperándolas velocidades, se empieza a acelerar el motor M01 al igual confirmar que motor este girando en anti horario como se observa en la siguiente figura [7.2].



Figura [7.2]: Giro del primer motor

Segundo paso

Se conectó el siguiente motor M02, una vez conectado el motor se lleva a cabo los mismos procesos que se hizo con el motor M01, como se observa en la figura [7.3] que la hélice del motor M02, el giro que se está llevando lleva la dirección horario.

Tercer paso

El motor M03 es desarrollado los mismos procedimientos que se le llevo a cabo con los otros dos motores, pero el giro debe de ser anti horario como se observa en la siguiente figura [7.3]

Cuarto paso

El motor M04 es conectado de la misma forma que los otros tres motores, pero nomas que el giro de este motor debe de tener la dirección horario como se observa en la siguiente figura [7.3]

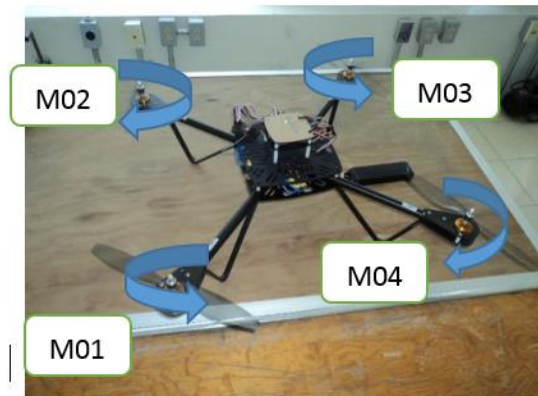


Figura [7.3]: Sentido del giro de los motores

Después de comprobar la configuración de los giros de cada motor, a una revolución baja, ahora se lleva a cabo la siguiente prueba conectando los cuatro motores entonces ya no se conecta directo al receptor, ahora los cuatro motores se conectan en la placa hoverfly pro y en la misma placa tiene una salida a la que se conectado con el receptor, ahora es energizado entonces los cuatro motores, empiezan pitar que es la señal de que ya está energizado ahora para desbloquearlos, la palanca Throttle es empujado hacia la izquierda pita dos veces y luego hacia la derecha que suena una vez entonces los motores ya quedan en silencio, listo para el giro que ya están en espera de la señal para empezar los giros como se observa en la siguiente figura [7.3]

Después de las pruebas ahora el quadrotor está listo para la primera prueba del vuelo.

7.2 Segunda prueba del vuelo del quadrotor

La primera prueba de vuelo del quadrotor se llevó a cabo en CIDESI en la cancha techada con la presencia del MC. Roberto Sosa Cruz, Ing. Rogelio Nava, Ing. Víctor y otro ingeniero y su servidor.

Una vez teniendo el quadrotor en la cancha se siguieron los siguientes pasos:

Primer paso

Figuras [7.4]: Configuración y desbalance

Conectar la batería de los motores entonces empiezan hacer pitidos que es una señal que los motores ya están energizados como se en la siguiente figura [7.4] se observa el quadrotor ya en la cancha.



Figura [7.4]: a) Configuración

Segundo paso

Alejarse del quadrotor ya que puede pasar cualquier accidentes o algo imprevisto entonces el radio control es encendido esperar para que se conecte con el receptor, primero el leds del receptor está en rojo después se pone en verde, entonces ya está listo para recibir la señal pero los motores aún no están listos para llevar a cabo los giros porque aún no están desactivados.



Figura [7.4]: b) Configuración

Ahora para el desbloqueo de los motores hay que hacer ciertas maniobras, en la palanca de Throttle empujar hacia la izquierda se escucha dos pitidos de los motores y luego se quedan todos en silencio después empujar hacia la derecha suena un pitido, después de estas maniobras los motores quedarán en silencio eso quiere decir que ya están activos los cuatro motores.

Ahora está en las manos del usuario del radio control, para empezar a acelerar el motor poco a poco. Para ver que es cuáles son los problemas al controlarlo el quadrotor.

En el primera aceleración se le empieza a subir los rpm de los motores el quadrotor no se empieza a elevar equilibrado como se observa en las figuras [7.4c)], entonces se suelta la palanca para que regrese a cero las velocidades.



Figura [7.4]: c) Desbalance

Después de ver lo que paso con el primer acelerón entonces decidimos hacer el segundo pero ahora se empieza a acelerar más que en la primera se levanta el quadrotor pero no fue equilibrado, entonces con la fuera del impulso de un lado fue mayor que los otros motores, lo que hace el quadrotor se desbalancea como se observa en la siguientes figuras [7.4 d)] y [7.4 e)].



Figura [7.4]: d) Desbalance



Figura [7.4]: e) Desbalance

Pero lo que no consideramos que iba estar difícil de controlarlo en la primera, como en la hoja de instrucciones decía que una vez listo el armado ya se podía pilotarlo, pero no fue así entonces le paso esta tragedia al quadrotor, además ya que el piloto no es un experto en conducir helicópteros, el quadrotor se fue hacia un lado, teníamos pensado que iba a empezar a flotas, pero no lo fue así, alcanzo a despegarse del suelo como 10 cm pero lo malo fue que se voltio de un lado y se cayó el quadrotor.

Con el accidente sucedido con el quadrotor se rompió una hélice y el eje del motor de doblo un poco entonces lo llevamos de nuevo al taller, para mandar a enderezar el eje del motor

y la hélice como no teníamos otro de repuesto se tuvo que pegar con mucho cuidado utilizando el loctite.

7.3 Tercera prueba del quadrotor

La segunda prueba del quadrotor una vez ya teniendo listo el programa desarrollado en Python y ejecutado en el Raspberry pi pero la comunicación se lleva a cabo mediante Ethernet conectado al Raspberry pi como se observa en la figura [7.5] y una que va conectado a la computadora del usuario para poder ejecutar el programa ya que la computadora será usado la pantalla y los teclado utilizando la ventana de remoto, entonces empezar a probar el programa.

Pero lo primero que se necesita saber es el rango de trabajo del motor para ello tuvimos que quitar las hélices de los motores como se observa en la siguiente figura [7.5] para empezar las pruebas hay que conocer los máximos y los mínimos del motor.

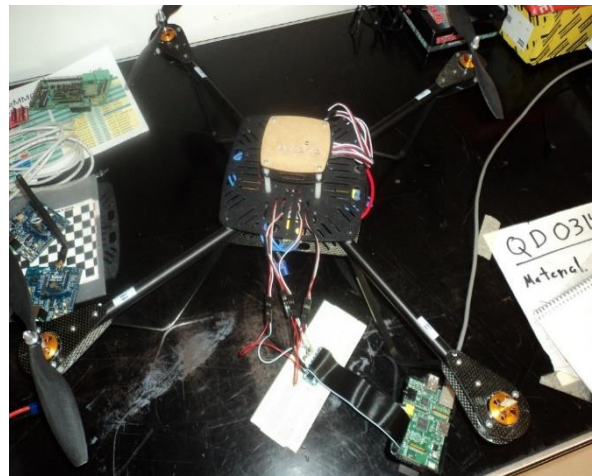


Figura [7.5]: Velocidades máximas

Conociendo los rangos de cambios de velocidades son de 10 ms en 10 ms se desarrolla las pruebas para obtener las velocidades de los mínimos y los máximos obtuvimos que empieza de:

Velocidades ms	Condiciones
1000	Stop
1135	Falla
1140	Mínima
1150	Incremento de 10
1700	Incrementos
1800	Máxima

Tabla [7.1]: Velocidad del motor

Una vez ejecutando el programa hay que mandar dos veces las velocidades, en la primera lo que hace es activar los motores para que queden esperando las velocidades que le mandemos el segundo es la velocidad deseada, al igual hay que definir una letra para emergencia, que se apague el motor o poner el pause, les presento el programa he ir explicando cada parte del programa:

Conociendo la dificultad para manejar el quadrotor, pues nos hace pensar en una diseño para que ya no se caiga, en eso desarrollamos una estructura para poder subir y bajar lo que queremos es empezar a controlar la altura del quadrotor empezar a ver en cuanto tiempo lo hace los dos metros de altura para empezar a sacar los errores.

7.4 Cuarta prueba del quadrotor

En la tercera prueba del quadrotor, en esta prueba ya estaba listo la estructura para que el quadrotor no sufra otro accidente, esta prueba se llevó acabo en CIDESI, en la otra práctica que se llevó acabo los circuitos estaba utilizando un protoboard para conectar todo, pero ahora ya no es el protoboard fue sustituido por una placa que se tuvo que soldar a la orden que queríamos y ahora la comunicación se llevara a cabo mediante Wi-fi utilizando el USB Wi -pi, pero ahora estará conectado en la laptop desde el remoto para ejecutar el programa en la Raspberry pi.

Pero al conectar directo con la batería el quadrotor no lo logra energizar los motores entonces lo que se hace que la Raspberry pi es energizado con el cargador entonces la batería ya logra energizar los motores.

Los pasos desarrollados en esta prueba fueron las siguientes:

Primer paso

Colocar el quadrotor dentro de la estructura para que no vuelva a sufrir el accidente como se observa en la siguiente figura [7.6]



Figura [7.6]: Quadrotor colocado en la estructura

Segundo paso

Conectas los pines adecuados de cada motor en la placa, aterrizar los cuatro ESC controladores de velocidades y también conectado a los 5 volts para que este energizado como se observa en la siguiente figura [7.7].

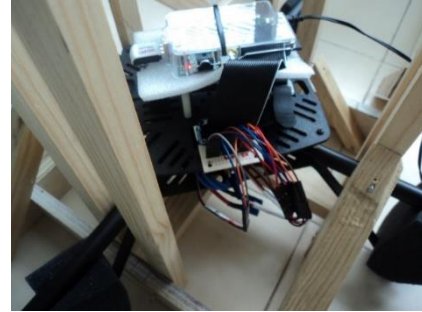


Figura [7.7]: Circuito de 5volts

Tercer paso

Conectar el cargado de la Raspberry pi, una vez encendida conectar la batería del quadrotor entonces se escuchara pitidos de los motores eso quiere decir que ya están siendo energizados los motores se observa en la figura [7.8] que los leds de la Raspberry pi ya están encendidas.

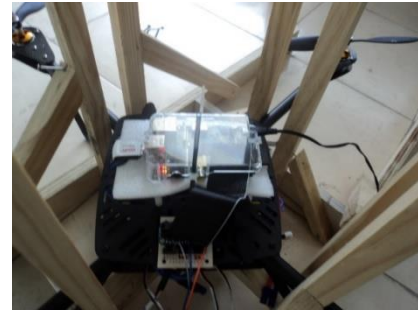


Figura [7.8]: Energizar los motores

Cuarto paso

Para activar los motores, ahora tenemos el programa se ejecuta en la Raspberry utilizando la laptop desde el remoto, una vez utilizando la Raspberry entonces abrir el código utilizando Python en el programa lo que tenemos es que mande dos veces la señal porque en la primera es de activar los motores ya el segundo es donde empieza a pedir las velocidades que le deseamos mandarle, como sabes que nuestro rango de velocidades es de 1140 hasta 1800 ms

En esta prueba empezamos con la velocidad mínima para evitar algo imprevisto, la velocidad mínima es de 1140 se observa el quadrotor en la siguiente figura [7.9] las hélices de los motores no se alcanza a ver en la foto, y el cambio de velocidades que le pusimos a los motores fue subiendo de 10 en 10 ms.

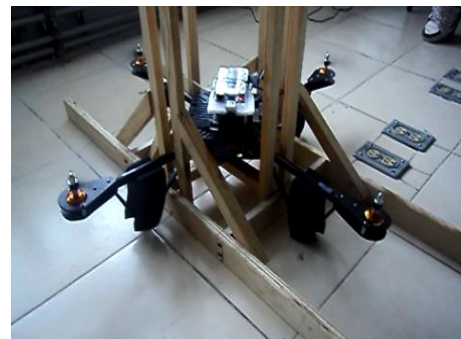


Figura [7.9]: Giro de las cuatro hélices

Una vez llegando a 1400 en quadrotor se alcanza a ver la el tren de aterrizaje ya está levantado como 1 cm del suelo, pero no es la velocidad suficiente todavía para empezar a elevarse más. Como se observa en la figura



Figura [7.10]: Despegue del quadrotor

Llegando a 1440 se observa que ya se empezó a elevarse más como se observa en la siguiente figura... pero el quadrotor no queda estable empieza a tambalear aunque se mantenga a la misma velocidad

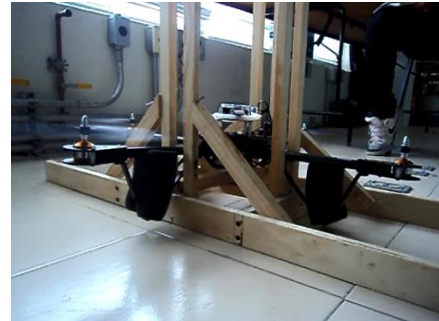


Figura [7.11]: Elevación

Motor01 (ms)	Motor02	Motor03	Motor 04	Observaciones
1140 ms	1140 ms	1140 ms	1140 ms	Arranque
1200 ms	1200 ms	1200 ms	1200 ms	Acelera las velocidades
1300 ms	1300 ms	1300 ms	1300	Acelera las velocidades, pero el quadrotor empieza a tambalear.
1450	1450	1450	1450	Acelera las velocidades, pero ya se empieza a elevar.
1540	1540	1540	1540	Acelera las velocidades, elevación de aproximadamente 50 cm.

Tabla [7.2]: Velocidades utilizadas

Se mantiene la velocidad a 1550 pero se observa que el quadrotor no se mantiene en equilibrio, se inclina de un lado luego regresa trata de equilibrarse, y luego se inclina al otro lado como se observa en las siguientes figuras [7.12].

Figura [7.12]: Desbalance del quadrotor

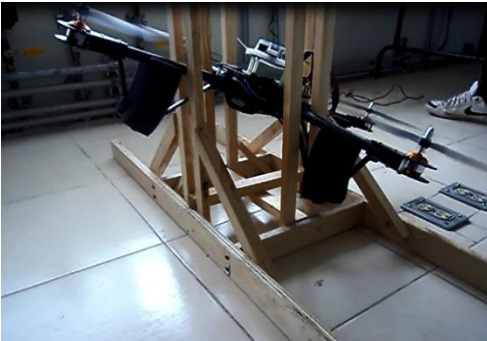


Figura [7.12]: a) Desbalance

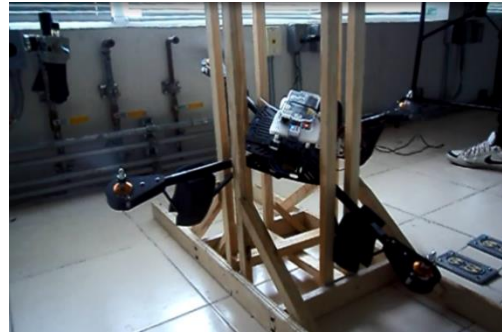


Figura [7.12]: a) Desbalance

Al ver que ya se empieza a inclinarse de un lado a otro entonces ya le bajamos las velocidades se le fue bajado poco a poco para poder aterrizar despacio hasta llegar en la velocidad baja que ya lo mantiene abajo como se observa en las siguientes figuras[7.13].

Figuras [7.13]: desaceleración



Figura [7.13]: a) Desaceleración

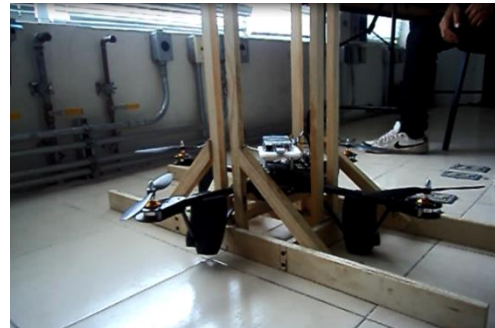


Figura [7.13]: a) Desaceleración

7.5 Quinta pruebas con el Xbee

En esta prueba la comunicación se llevó a cabo mediante el Xbee la que va ir conectado a la teensy, y el otro en la laptop para poder mandarle la señal que deseamos.

Es colocado el quadrotor en la estructura para evitar cualquier accidente que le pueda pasar, en la siguientes figura [7.14] se observa de qué forma fue desarrollada la comunicación pero una vez colocado el quadrotor se ejecuta el código para poder ver como es el comportamiento del quadrotor con la nueva micro controlador teensy.

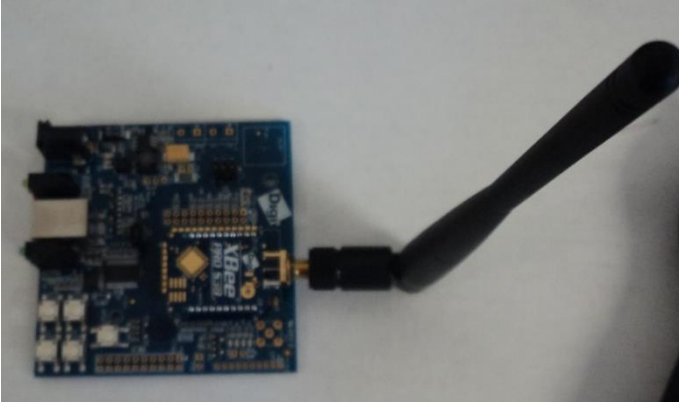


Figura [7.14]: Xbee

Como se puede observar el circuito ya hecho que esta puesta en el quadrotor, se alcanza a observa en la figura [7.15] que tiene un teensy, un reductor de voltaje de 5 a 3.3 y el Xbee que es donde se lleva a cabo la comunicación de quadrotor a la laptop, para poder ver que el teensy este energizado en la parte de código se deja encendida el led 6 que trae la placa.

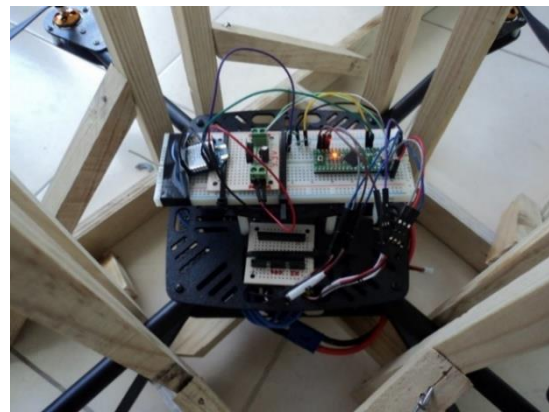


Figura [7.15]: Circuito en protoboard

Después de hacer las pruebas de la comunicación de Xbee a Xbee con el leds, se lleva acabo activación de los motores para ver el comportamiento de los motores con el nuevo microcontrolador ya colocado en la estructura.



Figura [7.16]: Colocación en la estructura

7.6 Sexta prueba del quadrotor

En esta prueba se conectan todos los circuitos y se coloca el quadrotor en la estructura, las pruebas se empiezan con los datos de la siguiente tabla [7.3]:

Motor01 (ms)	Motor02	Motor03	Motor 04	Observaciones
1140 ms	1140 ms	1140 ms	1140 ms	Arranque
1200 ms	1200 ms	1200 ms	1200 ms	Acelera las velocidades
1300 ms	1300 ms	1300 ms	1300	Acelera las velocidades, pero el quadrotor empieza a tambalear.
1450	1450	1450	1450	Acelera las velocidades, pero ya se empieza a elevar.
1500	1500	1500	1500	Acelera las velocidades, elevación de 50 cm.

Tabla [7.3]: Resultados de las velocidades

El comportamiento del quadrotor una vez mandándole las velocidades de 1140ms se observó que dos motores no se encendieron a esa velocidad a 1150 los otros dos motores se encienden.

Las dificultades fue que el quadrotor se empezó a desestabilizar llegando a las velocidades de 1300, 1450, 1500. Pero como ya estaba colocado en la estructura y a la vez tiene retener para que solo tenga libertad a un cierto ángulo para que no se llegue a golpear las hélices. Llegando a la velocidad de 1500 el quadrotor se empezó a desestabilizarse llegando a sus máximas inclinaciones que le dejamos libres se decide bajarle la velocidad y ponerlo en modo stop. En las siguientes figuras [7.17] se observa cómo se desestabiliza el quadrotor.

Figura [7.17]: Comportamiento en el desbalance



Figura [7.17]: a) Desbalance



Figura [7.17]: b) Desbalance



Figura [7.17]: c) Desbalance



Figura [7.17]: d) Desbalance



Figura [7.17]: e) Desbalance



Figura [7.17]: f) Desbalance

CAPITULO 8

8.1 Resultados

El resultado del presente proyecto se cumple con los objetivos planteados que son las exploración de las aplicaciones potenciales que pueda realizar, una interface de comunicación, manufactura de la estructura de fibra de carbono, diseño de una estructura para llevar acabo las pruebas de vuelo controladas y pruebas del comportamiento del control.

El resultado del ensamble fue unos éxitos debido a llevar acabo las intrusiones del manual del quadrotor, y aportando en la manufactura de la estructura.



Figura [8.1]: Ensamble

Para hacer las pruebas de vuelos se realizó la comunicación de interface mediante Xbee. Se ha observa en la siguiente figura de la comunicación del pc al quadrotor.

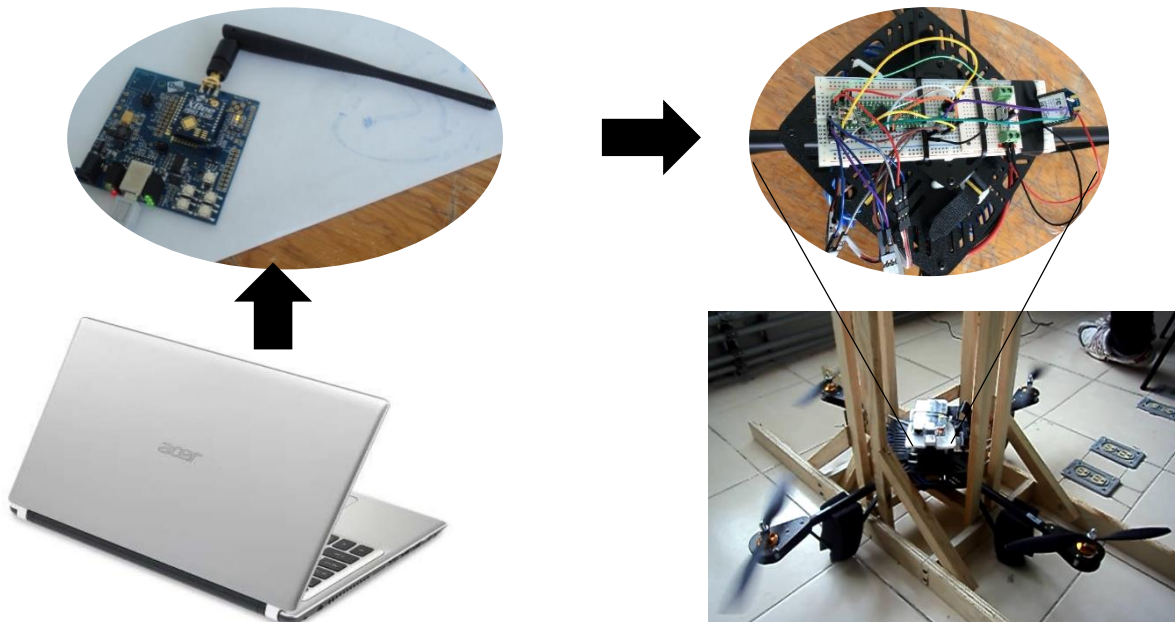


Figura [8.2]: Comunicación pc – quadrotor

Las pruebas de vuelo se implementó en Python ejecutándolo en la Raspberry pi, el incremento de las velocidades es de 10ms, donde se observó el desbalance del quadrotor de un lado a otro aunque tiene la misma velocidad y se elevó aproximadamente 50cm.

Las pruebas de vuelo implementado en arduino utilizando el microcontrolador teensy con este microcontrolador el incremento de las velocidades es de cada 1ms, se observa el comportamiento del desbalance y elevándolo aproximadamente 50cm.

Se trató de compensar las velocidades para que los motores tengan las mismas velocidades por que los motores no empezaban a girar con las mismas velocidades había una diferencia de 1 ms – 10ms.

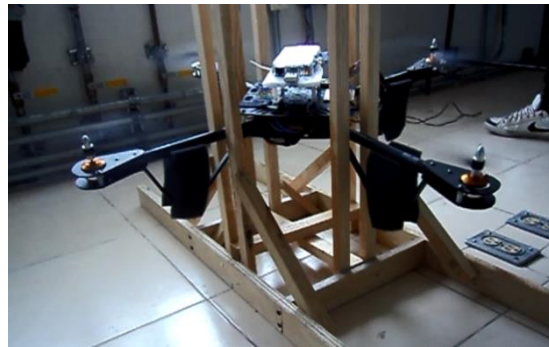


Figura [8.3]: Desbalance

Teniendo las siguientes velocidades:

Motor01 (ms)	Motor02	Motor03	Motor 04	Observaciones
1140 ms	1150 ms	1140 ms	1150 ms	Arranque
1200 ms	1210 ms	1200 ms	1210 ms	Acelera las velocidades
1300 ms	1310 ms	1300 ms	1310	El quadrotor empieza a tambalear.
1490	1500	1490	1500	Empieza a elevar.
1550	1560	1550	1560	Elevación aproximadamente 50cm.

Tabla [8.1]: Velocidades variables

Las pruebas del comportamiento del controlador fue implementado en el arduino el cual se comunica con el Xctu que utiliza la librería del Serial1 y `#include <Servo.h>`

El microcontrolador teensy donde se conectó el Xbee, llevo a cabo mediante uart.

Se observó el comportamiento del control pid para dos motores donde se dejó fijo dos motores y trabajar con dos motores en la siguiente figura se observa el equilibrio de los dos motores utilizando el código que está en el anexo.

CAPITULO 9

9.1 Conclusión

El quadrotor es un vehiculó aéreo no tripulado capaz de realizar tareas bastantes específicas y complejas solo haciendo variar las velocidades de los motores, que nos permiten vuelos muy suaves y controlados que ofrece una gran ventaja en vuelos estacionarios y vuelos en espacios reducidos.

La carga útil del quadrotor (ELEV – 8 Quadcopter kit # 80000) es de aproximadamente 1 kg el cual permitirá agregar en un futuro una unidad de procesamiento con mayor capacidad.

El presente proyecto se cumple con el objetivo del ensamble mecánico y eléctrico del quadrotor, durante el proceso de ensamble del quadrotor se tuvieron dificultades en la manufactura de la estructura, la cual era de polímero y consta de bajas propiedades; por lo tanto se sustituyó por fibra de carbono, que consta de las óptimas propiedades para el impacto y presión.

Se estudió las aplicaciones potenciales del quadrotor, el estudio del arte de los robots móviles de mutirotor, obteniendo información de artículos y revistas, para conocer la importancia en la actualidad considerando la buena estabilidad que puede llegar a tener el equipo. Se estudia el comportamiento del control PID del quadrotor para poder controlar la estabilidad.

Se desarrolla programas en Python para ejecutar en la Raspberry pi llevando acabo la comunicación por Wi-fi, debido algunas dificultades con la programación se utilizó el arduino ejecutando en un microcontrolador teensy utilizando los Xbee para la comunicación.

En el desarrollo del presente proyecto, se llevaron acabos las pruebas de vuelos pero no se pensó que el control del quadrotor se nos iba a dificultar, después de la primera prueba del quadrotor se concluye que se desestabiliza sin el controlador.

Se construyó una estructura para pruebas de vuelo para el estudio del comportamiento del quadrotor dentro de la estructura y para no dañar las hélices y evitar accidentes para el quadrotor, por lo mismo que se llegó a estudiar el control PID y hacer las pruebas en la estructura, la etapa de pruebas de vuelo de quadrotor es importante para ayudar a entender mejor su funcionamiento y corregir los errores.

En el comportamiento del control del PID se concluye que utilizando las constantes $K_p = 0.3$, $K_i = .001$, $K_d = 0.2$; el quadrotor se equilibra pero aun no reacción muy rápido pero si eliminan el error obtenido durante en su funcionamiento de dos motores.

CAPITULO 10

10.1 Anexos

- 1.- Conexiones de los circuitos con la Raspberry pi
- 2.- Conexiones de los circuitos con el Teensy
- 3.- Código
- 4.- Video
 - Las primeras pruebas del vuelo
 - Pruebas de vuelo en la estructura
 - Pruebas de vuelo para el comportamiento control PID
- 5.- Manual del quadrotor
- 6.- Manual del hoverfly
- 7.- Manual del Spektrum DX7s
- 8.- Diagrama del Teensy
- 9.- Manual del MENSIC 2125
- 10.- Diagrama de conexión del MENSIC 2125

CAPITULO 11

11.1 Referencias

- [1] Stark B., Chen Y., Mckee M., (2012), A Vertical Take Off and Landing Unmanned Aerial Vehicle Platform, 85(1/38), DOI: 10.4018/978-1-4666-0176-5.ch004
- [2] Eroglu O., Yilmaz G., (2013) ATerrain Referenced UVA Localization Algorithm Using Binary Search Método, DOI 10.1007/s10846-013-9922-7
- [3] Chamorro W., Medina J., Sotomayor N., (2013), Vol.32, No. 2, Control de quadricoptero para seguimiento de un móvil, facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional
- [4] Valenti M., Bethke B., Pucci D., Vian John (), Embedding Health Management into Mission Tasking for UAV Teams, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139.
- [5] Nadales C., (2009), control de un quadrotor mediante la plataforma Arduino, ingeniería técnica de telecomunicaciones, especialidad sistemas de telecomunicaciones, universidad politécnica de Catalunya.
- [6] Breñosa J., García P., (2010), Robots de seguridad civil, grupo de robótica y máquinas inteligentes, Universidad Politécnica de Madrid
- [1] MAYORGA R., (2009), (sistema de navegación para vehículos aéreos cuadricopteros), proyecto de titulación en ingeniería técnica aeronáutica, universidad politécnica superior de Catalunya. España.
- [3] Seguí P., al-Rihami Y., Sang H., Savvaris A., (2013), a novel Actuation Concept for a Multi Rotor UAV, 173 (1/19), DOI 10.1007/s10846-013-9987-3
- [4] Kobilarov M., (2013), Nonlinear Trajectory Control of Multi – doby Aerial Manipulators, 679(1 - 14), DOI 10.1007/s10846-013-9934-3
- [7] Alberto J. Rincon R. , (2012), diseño y construcción del prototipo experimental de la estructura para un vehículo aéreo no tripulado (UAV) tipo quadrotor, proyecto de titulación, universidad industrial de Santander facultad de ingenierías físicas y mecánicas escuela de ingeniería mecánica Bucaramanga 2012.

- [8] hernandez N., Ocaña M., Bergasa L. M., Barea R., López E. herranz F., interfaz de control de un robot aéreo quadrotor. Aplicación a un sistema de detección de incendios, universidad alcala, escuela politecnica, alcala de henares, Madrid (españa).
- [9] soo T., stol K., kecman V., (2007) control of 3 DOF Quadrotor Model, Departament of Mechanical Engineering, the University of Auckland, Auckland, New Zealand.
- [10] Katsuhiko O. (), ingeniería de control moderna, (3ra edi), Pearson Prentice hall.
- [11] Guerrero Noboa F.B., Menéndez Granizo O., (2013), modelación, simulación y control de sistemas aéreos no tripulados utilizando inteligencia artificial, facultad de ingeniería eléctrica y electrónico, escuela politécnica nacional.
- [12] campo lobato J.A., cebrian M., Mata F., (2012), modelado y control inteligente del cuatrirotor quanser QBALL-X4, proyectos de sistemas informáticos, facultad de informática universidad complutense de Madrid.
- [13] <http://aerogenix.com/hoverfly-pro.html>
- [14] siegwart R. noubakhsh illah R. scaramuzza D.
- [15] <http://fly.historicwings.com/2012/08/george-the-autopilot/>
- [16] <http://transition-robotics.com/collections/autopilots>
- [17] http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/advanced_avionics_handbook/media/aah_ch04.pdf
- [18] <http://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/autopilot2.htm>
- [19] <http://www.uavm.com/uavapplications.html>