

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE PARACAÍDAS  
INTELIGENTE PARA DRONES CON LOCALIZACIÓN GPS.**

**AUTORES:**

**JUAN FRANCISCO NEGRETE MARROQUIN**

**ROBERTO DAVID PILLO SANTAMARIA**

**TUTOR:**

**WILLIAM MANUEL MONTALVO LÓPEZ**

**Quito, Marzo del 2017**

## CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR

Nosotros Juan Francisco Negrete Marroquin, Roberto David Pillo Santamaria, con documentos de identificación N° 1720098928 y N° 1716807266, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: Diseño y construcción de un prototipo de paracaídas inteligente para drones con localización GPS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autores reservamos los derechos morales de la obra antes citada.

En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....

Nombre: Juan Francisco Negrete Marroquin

Cédula: 1720098928

Fecha: Quito, Marzo 2017



.....

Nombre: Roberto David Pillo Santamaria

Cédula: 1716807266

Fecha: Quito, Marzo 2017

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación Diseño y construcción de un prototipo de paracaídas inteligente para drones con localización GPS realizado por Juan Francisco Negrete Marroquín y Roberto David Pillo Santamaría, obteniendo un producto que cumple con los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Marzo del 2017

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal dashed line.

William Manuel Montalvo López

Cédula de identidad: 1712789989

## **DEDICATORIA**

Dedico este Proyecto de Titulación a Dios por ser la fortaleza en cada paso que di para culminar la carrera y seguir adelante con nuevos retos. Dedico este logro a mis padres quienes me guiaron en toda mi vida estudiantil dándome sus consejos y guiándome para que siga adelante y no me dé por vencido frente a cada problema que se presentaba.

Juan Francisco Negrete Marroquin.

Dedico a Dios el presente proyecto y por permitirme seguir cumpliendo mis metas, el apoyo incondicional de mis padres Cesar y Carmen, cuyos valores han sido la base para formar la persona que soy hoy en día. A mis hermanos Fernando, Víctor y una mención especial a mi hermana Verónica y su cónyuge Marco quienes me motivaron a seguir avanzando, cuando lo daba todo por perdido

Roberto David Pillo Santamaria.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por darnos la sabiduría para finalizar los estudios, a la Universidad Politécnica Salesiana por una educación de calidad, a nuestros amados padres por ofrecernos la mejor formación académica, a los docentes universitarios que durante toda la carrera nos inculcaron sus conocimientos.

Un agradecimiento especial al Ing. William Montalvo López, cuyo apoyo prestado fue determinante para la culminación del proyecto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRAT.....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>ANTECEDENTES</b> .....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Tema .....	2
1.5 Beneficiarios de la propuesta de intervención .....	2
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	4
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	4
2.1 Introducción .....	4
2.2 Sistema de paracaídas Mars Mini V2 .....	5
2.3 Sistema de Paracaídas SKYCAT .....	6
2.4 Sistema de paracaídas Galaxy GRS .....	7
2.5 Sistema de paracaídas ECILOP.....	8
2.6 Ingeniería Concurrente .....	9
2.6.1 Diseño para la Calidad (QFD) .....	9
2.6.2 Proceso de la función de calidad QFD .....	9
2.6.3 Casa de la calidad.....	10

<b>CAPÍTULO 3</b> .....	12
<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b> .....	12
3.1 Desarrollo de la casa de la calidad .....	12
3.1.1. Tabulación de los resultados de la encuesta .....	12
3.2 Análisis de la Competencia.....	14
3.3 Observaciones de la casa de la calidad .....	16
3.3.1 Descripciones técnicas del sistema de paracaídas automático .....	17
3.3.2 Incidencia y correlaciones .....	18
3.4 Análisis funcional.....	18
3.4.1 Creación del módulo .....	19
3.5 Creación de alternativas de solución .....	19
3.5.1 Módulo 1 .....	19
3.5.2 Ventajas y desventajas de las opciones de solución .....	20
3.5.3 Selección de la opción módulo 1 .....	24
3.6 Creación de la primera solución.....	25
3.6.1 Estudio del módulo 1 .....	26
3.6.2 Estudio de la primera solución.....	28
3.7 Diseño del paracaídas .....	28
3.8 Diseño del software del prototipo de paracaídas inteligente.....	31
3.9 Diseño de la aplicación para localización del Dron.....	33
3.10 Montaje del módulo .....	39
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	41
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	41
4.1 Transmisión de datos longitud y latitud .....	41
4.2 Prueba de sensores .....	43
4.2.1 Sensor giroscopio .....	43
4.2.2 Sensor de distancia.....	49
4.3 Prueba perdida de cobertura del control de mando Drone .....	51
<b>CONCLUSIONES</b> .....	52
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	54
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Partes de un paracaídas .....	4
Figura 2.2 Sistema de paracaídas Mars Mini .....	5
Figura 2.3 Sistema de paracaídas SKYCAT .....	6
Figura 2.4 Sistema de paracaídas Galaxy GRS .....	7
Figura 2.5 Sistema de paracaídas Ecilop .....	8
Figura 2.6 Fases de la función de calidad .....	10
Figura 2.7 Pasos para la elaboración casa de la calidad .....	11
Figura 3.1 Casa de la calidad.....	16
Figura 3.2 Esquema modular .....	19
Figura 3.3 Opción 1 .....	20
Figura 3.4 Opción 2 .....	21
Figura 3.5 Opción 1 .....	22
Figura 3.6 Opción 2 .....	23
Figura 3.7 Polígono inscrito .....	29
Figura 3.8 Hilo en los vértices del polígono .....	30
Figura 3.9 Paracaídas poligonal.....	30
Figura 3.10 Diagrama de flujo.....	31
Figura 3.11 Diagrama de flujo.....	32
Figura 3.12 Diagrama de flujo.....	33
Figura 3.13 Interfaz App .....	34
Figura 3.14 Diagrama de flujo.....	35
Figura 3.15 Pantalla de aplicación GPS .....	35
Figura 3.16 Diagrama de flujo.....	37
Figura 3.17 Pantalla para envolver paracaídas .....	38
Figura 3.18 Diagrama de flujo.....	39
Figura 3.19 Montaje del módulo .....	40
Figura 4.1 Módulo Xbee y Bluetooth.....	41
Figura 4.2 Módulo Xbee y GPS.....	42
Figura 4.3 Adquisición de datos.....	42
Figura 4.4 Ubicación del Drone .....	43
Figura 4.5 Sensor giroscopio .....	44
Figura 4.6 Expulsión del paracaídas .....	44
Figura 4.7 Sensor giroscopio.....	46

Figura 4.8 Expulsión del paracaídas .....	47
Figura 4.9 Sensor de distancia.....	49
Figura 4.10 Expulsión del paracaídas .....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Resultados encuesta.....	12
Tabla 3.2 Voz del cliente y voz del ingeniero .....	14
Tabla 3.3 Estudio de la competencia 1 .....	14
Tabla 3.4 Estudio de la competencia 2 .....	15
Tabla 3.5 Estudio de la competencia 3 .....	15
Tabla 3.6 Descripción técnica del prototipo.....	17
Tabla 3.7 Correlaciones entre las descripciones técnicas .....	18
Tabla 3.8 Opciones de solución para el módulo 1 .....	20
Tabla 3.9 Ventajas y desventajas de la opción 1 .....	21
Tabla 3.10 Ventajas y desventajas de la opción 2 .....	22
Tabla 3.11 Ventajas y desventajas de la opción 1 .....	23
Tabla 3.12 Ventajas y desventajas de la opción 2 .....	24
Tabla 3.13 Soluciones para el módulo 1 .....	24
Tabla 3.14 Opción de solución 1 .....	25
Tabla 3.15 Opción de solución 2 .....	25
Tabla 3.16 Valoración del peso específico de cada aspecto relevante de la casa de la calidad .....	26
Tabla 3.17 Valoración del criterio exactitud GPS.....	26
Tabla 3.18 Valoración del criterio conexión a internet.....	27
Tabla 3.19 Valoración del criterio opciones de programación .....	27
Tabla 3.20 Valoración del criterio para los materiales .....	27
Tabla 3.21 Valoración de los diferentes criterios .....	28
Tabla 3.22 Descripción de los ítems de la interfaz gráfica de la aplicación .....	34
Tabla 3.23 Descripción de los ítems de la pantalla de aplicación GPS .....	36
Tabla 4.1 Datos obtenidos en las pruebas del sensor giroscopio eje X.....	45
Tabla 4.2 Datos obtenidos en las pruebas del sensor giroscopio eje Y .....	47
Tabla 4.3 Datos obtenidos de las pruebas del sensor ultrasónico.....	50

## **RESUMEN**

El presente proyecto técnico tiene como propósito construir y diseñar un prototipo de paracaídas inteligente para Drones para la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito - Campus Sur.

La construcción del paracaídas inteligente, se basa en el diseño concurrente el cual contara con distintos equipos como sensores, modulo GPS, actuadores, una tarjeta ARDUINO, los cuales realizaran la activación del paracaídas inteligente según se cumplan las condiciones establecidas para cada sensor. Se realizan las pruebas de localización y funcionamiento del módulo GPS mediante una aplicación desarrollada en App Inventor, permitiendo con este proyecto aspectos fundamentales de conocimiento relacionados con Sistemas Micro procesados, Teoría del Diseño, etc., tomadas en la carrera de Ingeniería Electrónica de la UPS Sede Quito-Campus Sur.

El diseño del prototipo de paracaídas se basó en un modelo comercial de la marca Mars 58, el cual es accionado por un sistema de muelle de alta compresión.

Se realizará las respectivas pruebas del funcionamiento del paracaídas inteligente para Drones, los cuales permitirán a los estudiantes y docentes de la Universidad Politécnica Salesiana manejar vehículos aéreos no tripulados con seguridad evitando colisiones y daños en el Dron, y mediante una aplicación en un Smart-Phone se podrá localizar el lugar de aterrizaje del Dron.

## **ABSTRACT**

The purpose of this technical project is to build and design a smart parachute prototype for drones for the Salesian Polytechnic University Sede Quito - Campus Sur.

The construction of the intelligent parachute, is based on the concurrent design which will have different equipment such as sensors, GPS module, actuators, an ARDUINO card, which will realize the activation of the intelligent parachute according to the conditions established for each sensor. The GPS module is located and operated by an application developed in App Inventor, allowing with this project fundamental aspects of knowledge related to Microprocessed Systems, Theory of Design, etc., taken in the Electronic Engineering career of the UPS Headquarters Quito-Campus Sur.

The parachute prototype design was based on a commercial model of the Mars 58 brand, which is powered by a high compression spring system.

The respective tests of the operation of the intelligent drone parachute will be carried out, which will allow the students and teachers of the Salesian Polytechnic University to handle unmanned aerial vehicles safely, avoiding collisions and damages in the Dron, and through an application in a Smart Phone The Dron landing site can be located.

## **INTRODUCCIÓN**

La construcción y diseño del prototipo de paracaídas pretende ayudar a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur a adquirir habilidades en el manejo de Drones.

El capítulo uno, detalla el tema del proyecto desarrollado, planteamiento del problema, justificación, objetivo general, objetivos específicos y los beneficiarios del proyecto.

El capítulo dos, describe los conceptos generales que componen el proyecto, características de los elementos y dispositivos a emplear en este proyecto; basados en el Diseño Concurrente para obtener un prototipo óptimo de paracaídas, referenciado con literatura especializada.

El capítulo tres, muestra en detalle el diseño y la construcción del prototipo de paracaídas inteligente para Drones mediante el manejo de software libre.

El capítulo cuatro, muestra las pruebas realizadas, además de la localización del Dron mediante el manejo de la aplicación en un Smart-Phone, y se detalla las conclusiones y recomendaciones del proyecto técnico realizado.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Planteamiento del problema**

Debido al avance tecnológico en el manejo de vehículos aéreos no tripulados “Drones” y la necesidad de que los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur-Sede Quito experimenten el manejo de los mismos, se presenta el diseño y la construcción del paracaídas inteligente para Drones que facilitara su manejo y evitara daños en la estructura del Dron.

El problema a solucionar esta centrado en la apertura automática para vehículos aéreos no tripulados “Drones”, en los casos de que se produzca inestabilidad al ocurrir choques con objetos presentes o pérdida de la línea de vista de mando. De ocurrir cualquier efecto presente en el vehículo aéreo no tripulado se activará un sistema de seguridad, mediante un sistema de localización donde se determina la ubicación de aterrizaje del Dron.

### **1.2 Justificación**

El sistema a implantar permitirá reducir daños en los Drones cuando estos tienden a caer precipitadamente, beneficiando los costos por repuestos y alargando la vida útil de los Drones.

En caso de pérdida el sistema enviará un mensaje con la ubicación donde se encuentra, de existir un obstáculo el sistema apagará los motores y activará el paracaídas evitando colisiones.

Los sensores a controlar son muy utilizados en los vehículos aéreos no tripulados para mantener la estabilidad durante el vuelo, y debido a que los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur no están familiarizados con este tipo de vehículos aéreos no tripulados, se ha presentado este proyecto para que pueden tener el conocimiento respectivo del funcionamiento del mismo y puedan tener la habilidad para haceros volar sin sufrir daños

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Diseñar y construir un prototipo de paracaídas inteligente, para evitar accidentes de caída libre de Drones y localizar su posición mediante un sistema GPS.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar las especificaciones técnicas del prototipo utilizando el Diseño Concurrente (QFD).
- Desarrollar un sistema de apertura automática del paracaídas el cual considere las condiciones de viento, pérdida de rango de mando y choque contra obstáculos.
- Implementar un sistema de localización basado en un módulo GPS para hallar la ubicación del Dron.
- Desarrollar una aplicación de localización para el Dron, sobre un sistema operativo “Android”, para Smart-Phone y Tablets.

### **1.4 Tema**

Diseño y construcción de un prototipo de paracaídas inteligente para Drones con localización GPS.

### **1.5 Beneficiarios de la propuesta de intervención**

Este proyecto beneficiará a los estudiantes y docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito-Campus Sur, de la Carrera de Ingeniería Electrónica; ya que este sistema permitirá volar el Dron de manera segura.

El desarrollo del prototipo de paracaídas inteligente permitirá a las personas que realicen aplicaciones o utilizan de alguna forma sus beneficios tecnológicos brindar la seguridad necesaria para que el Dron evite daños en su estructura a causa de fuertes vientos, pérdida de cobertura de mando y choque contra obstáculos.

Para el caso de los estudiantes el desarrollo del proyecto permitirá un mejor desempeño en el manejo de Drones de forma segura reduciendo los daños por caídas precipitadas al suelo alargando su vida útil.

El Dron y el prototipo de paracaídas quedaran inventariados para el uso de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur ayudando al aprendizaje.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

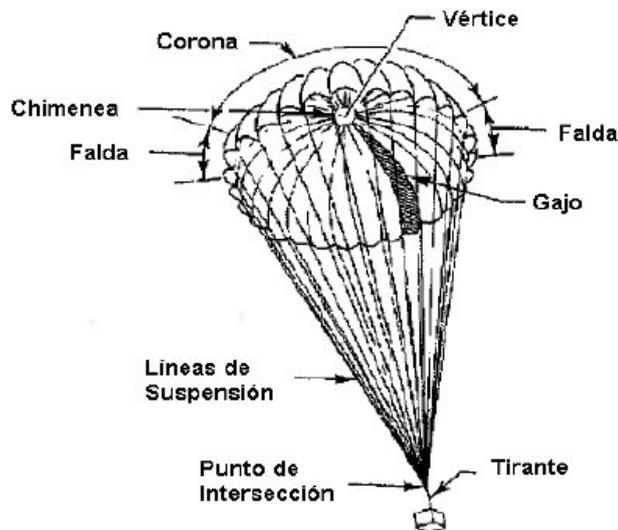
Este capítulo describe el marco teórico, principales generalidades y características de dispositivos de apertura automática de paracaídas.

#### 2.1 Introducción

Los sistemas de paracaídas son sistemas de emergencia utilizados principalmente para desacelerar aeronaves, objetos o personas cuando estas están cayendo libremente a una gran altura, por lo cual existen diferentes tipos, los paracaídas de textil sólido son utilizados principalmente en aplicaciones de descenso, pero estos no tienen mucha estabilidad por lo que se han ido mejorando para obtener una mayor estabilidad, fuerza de apertura y de arrastre. (López, 2011)

El paracaídas está constituido por ciertas partes las cuales se definen a continuación. Las partes más comunes de un paracaídas se pueden identificar en la Figura 2.1 que se muestra a continuación. (Schultz, 1978)

Figura 2.1 Partes de un paracaídas



Partes de un paracaídas, (Knacke, 1991)

A continuación, se presenta los diferentes tipos de sistemas paracaídas utilizados en Drones.

## 2.2 Sistema de paracaídas Mars Mini V2

El sistema balístico de paracaídas Mars Mini funciona mediante la activación de un servo motor, y un sistema de muelle de alta compresión. El sistema de paracaídas puede ser activado mediante el piloto de forma manual o mediante una tarjeta de control.

El sistema de paracaídas Mars Mini consta de una estructura de policarbonato, resistente a caídas, este tipo de sistema posee una altura mínima de activación de 20-25 metros debido a que el tiempo en que se demora en expulsar el paracaídas es de un 1 segundo.

En la Tabla 2.1 se puede observar las características técnicas del equipo.

Tabla 2.1 Características técnicas Mars Mini

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO</b>
Peso que soporta el paracaídas 1.8 Kg
Diámetro del paracaídas 91.44 cm
Altura del envase de policarbonato 11 cm
Peso total del sistema 99 gramos
Resorte de 12 cm
Servo motor metálico Gear
Altura mínima de activación del paracaídas 20-25 metros

Tabla de las especificaciones técnicas del sistema de paracaídas Mars Mini

En la Figura 2.2 se puede observar el modelo de paracaídas Mars Mini.

Figura 2.2 Sistema de paracaídas Mars Mini



### 2.3 Sistema de Paracaídas SKYCAT

El sistema patentado de paracaídas SKYCAT funciona mediante el paso de corriente el cual permite una reacción en los FUSE del sistema, permitiendo la expulsión del paracaídas. El sistema FUSE del paracaídas SKYCAT permite la activación en milisegundos garantizando la apertura total del paracaídas para descenso del Drone. En la Tabla 2.2 se observa las características técnicas del equipo.

Tabla 2.2 Características técnicas SKYCAT

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO</b>
Sistema de activación SKYCAT FUSE
Fuente de alimentación externa para la activación de los FUSE
Disparador controlado a través de un canal PWM a través de un receptor RC
Diámetro del envase 5.5 cm
Peso total del sistema 320 gramos
Temperatura del lanzador FUSE -25°C a +55°C
Altura del envase 15 cm
Diámetro del paracaídas 2.50 metros
Peso que soporta el paracaídas 1-3 Kg
Altura mínima de activación del paracaídas 3-10 metros

Tabla de las especificaciones técnicas del sistema de paracaídas Mars Mini

En la Figura 2.3 se puede observar el modelo de paracaídas SKYCAT.

Figura 2.3 Sistema de paracaídas SKYCAT



Sistema de paracaídas SKYCAT, (SKYCAT, 2016)

## 2.4 Sistema de paracaídas Galaxy GRS

El sistema de paracaídas balístico Galaxy GRS utiliza el método de expulsión por eyección el cual es un sistema de acumulación de aire comprimido, al momento de ser activado por una señal PWM proveniente del receptor permite la expulsión del paracaídas.

En la Tabla 2.3 se observa las características técnicas del equipo.

Tabla 2.3 Características técnicas Galaxy GRS

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Peso total del sistema 250 gramos
Díámetro del paracaídas 1 metro
Altura mínima de activación 5 metros
Temperatura de funcionamiento -20°C a +40°C
Sistema de activación piro generador
Peso máximo que soporta 3 Kg
Tiempo de apertura del paracaídas 0.5 segundos

Tabla de las especificaciones técnicas del sistema de paracaídas Galaxy GRS

En la Figura 2.4 se puede observar el modelo de paracaídas Galaxy GRS.

Figura 2.4 Sistema de paracaídas Galaxy GRS



Sistema de paracaídas balístico Galaxy GRS (Bábovka, s.f.)

## 2.5 Sistema de paracaídas ECILOP

El sistema de paracaídas ECILOP utiliza el método de expulsión por pirotecnia el cual usa una reacción química para la expulsión completa de la cúpula del paracaídas, es activado por una señal PWM proveniente del receptor. Utiliza un método similar a la expulsión por eyección en el cual el gatillo realiza la explosión liberando el paracaídas, una vez utilizado el gatillo es necesario cambiarlo para un nuevo uso. En la Tabla 2.4 se observa las características técnicas del equipo.

Tabla 2.4 Características técnicas Ecilop

Características técnicas
Peso total del sistema 500 gramos
Diámetro del paracaídas 1.94 metros
Altura mínima de activación 10 metros
Gatillos de activación cambiables
Sistema de activación pirotécnico
Peso máximo que soporta 5-10 Kg
Diámetro de la capsula 5.2 cm
Altura de la capsula 26 cm

Tabla de las especificaciones técnicas del sistema de paracaídas Ecilop

En la Figura 2.5 se puede observar el modelo de paracaídas Ecilop.

Figura 2.5 Sistema de paracaídas Ecilop



Sistema de paracaídas balístico Ecilop (Zaitsevsky, 2007)

## **2.6 Ingeniería Concurrente**

La ingeniería concurrente presenta características en el diseño de los productos desde el ciclo de vida y los costes o recursos asociados. Este tipo de diseño engloba tres características el producto, recursos humanos y recursos materiales para que de esta manera los productos incrementen la eficiencia de un proceso alcanzando estándares de alta calidad. (Riba, 2012)

### **2.6.1 Diseño para la Calidad (QFD)**

El diseño para la calidad o por sus siglas en inglés Quality Function Deployment, establece normas para satisfacer las necesidades de los clientes asegurando que los productos funcionen correctamente en todo su ciclo de vida evitando fallos durante su funcionalidad, también este tipo de diseño permite administrar de una mejor forma los recursos evitando gastos inútiles como energía de consumo, tiempos muertos, desperdicio en materiales, etc. Se puede asumir que el diseño para la calidad pretende convertir las necesidades y deseo de los clientes en los puntos clave para el desarrollo de los productos. (Riba, 2012)

### **2.6.2 Proceso de la función de calidad QFD**

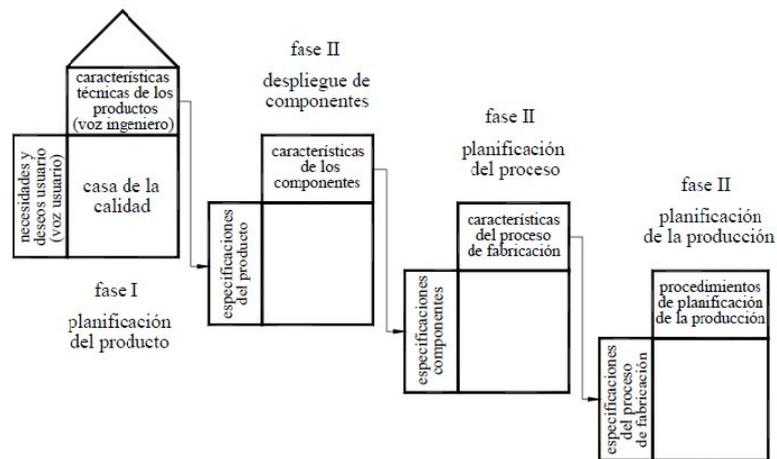
La realización de la función de calidad, los deseos y necesidades de los clientes conforman el elemento conductor del esquema del producto. Este proceso requiere pedir a un grupo de personas cuáles son sus requerimientos y necesidades.

Para la cual se desarrolla una lluvia de ideas entre un conjunto de clientes donde especifican los requerimientos y necesidades del nuevo producto, “y por medio de un experto en el método QFD los requerimientos y deseos de los usuarios son formulados de forma precisa y útil como entradas al sistema”.

El proceso para la casa de la función de calidad se ha determinado cuatro pasos. El paso número uno desarrolla la planificación del producto, donde se enumeran los deseos de los clientes y se traduce a características técnicas del producto. El paso números dos realiza el despliegue de los componentes, convirtiendo las características técnicas del producto en características de los componentes. El paso número tres realiza la planificación del proceso, convirtiendo las características de los componentes en características del proceso de fabricación.

El último paso es la planificación de la producción, convirtiendo las características del proceso de fabricación en planificación para la producción. La Figura 2.6, muestra las fases de la función de la calidad. (Riba, 2012)

Figura 2.6 Fases de la función de calidad



Esquema general del desarrollo de la función de calidad, (Riba, 2012)

### 2.6.3 Casa de la calidad

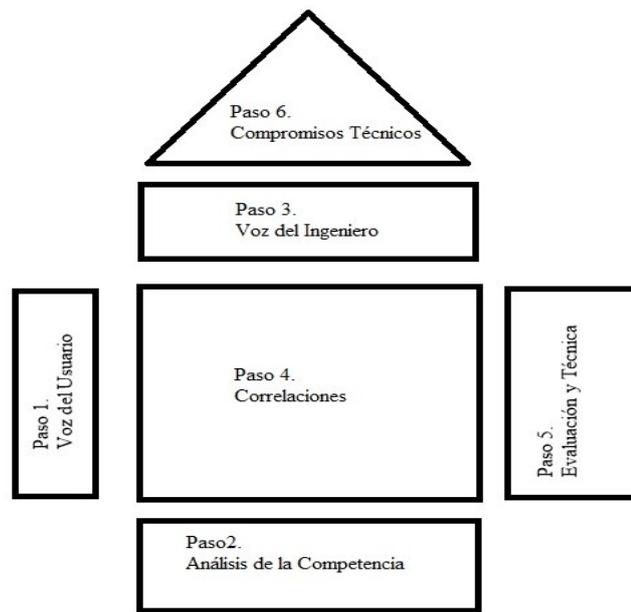
La casa de la calidad es el proceso en el cual se convierte los deseos y necesidades de los clientes en características técnicas del producto.

La realización de la función de calidad, los deseos y necesidades de los clientes conforman el elemento conductor del esquema del producto. Este proceso requiere pedir a un grupo de personas cuáles son sus requerimientos y necesidades.

Es el reto más significativo para el diseño de la casa de la calidad ya que convierte los deseos de los clientes en las características técnicas del producto, en este paso se debe crear una lista con características técnicas las cuales sean medibles y estén al alcance de la empresa. (Riba, 2012)

Para su desarrollo se presenta la Figura 2.7 sus pasos:

Figura 2.7 Pasos para la elaboración casa de la calidad



Pasos para la realización de la casa de la calidad

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

#### 3.1 Desarrollo de la casa de la calidad

Para la implementación de la casa de la calidad se realizó una encuesta previa a personas involucradas con aviones no tripulados UVA para saber cuáles son sus deseos respecto a ¿Cómo proteger su Dron de caídas libres?, apertura automática del paracaídas, para en base a sus necesidades, poder construir el prototipo de paracaídas.

##### 3.1.1. Tabulación de los resultados de la encuesta

En la Tabla 3.1 se observa los datos obtenidos al realizar la encuesta a personas que tienen conocimiento acerca de los aviones no tripulados UAV previo a la construcción del prototipo de paracaídas la cual sirve para saber los deseos que tienen los clientes respecto a la propuesta de diseño de un sistema de apertura automática de paracaídas y localización GPS para su Drone.

Tabla 3.1 Resultados encuesta

Preguntas	Respuestas
1. ¿Usted tiene conocimiento de Drones?	
Si	6
No	26
2. ¿Qué tipo de Dron le gustaría adquirir?	
Mini Dron	11
Dron de 2 a 4 Kg	12
Dron de 4 a 8 Kg	4
Dron de 8 a 23 Kg	5
3. ¿A qué altura máxima estaría dispuesto a manipular el Dron?	
20 metros	3
50 metros	12
100 metros	7
200 metros	10
4. ¿Qué aplicaciones le gustaría desarrollar para su Dron?	
Agricultura	4
Control de tráfico vehicular	8

Espionaje	6
-----------	---

Continuación de la tabla 3.1

Hobbie	14
<b>Preguntas</b>	<b>Respuestas</b>
5. ¿Qué precio está dispuesto a pagar por un accesorio de seguridad para el Dron?	
50 \$	9
150 \$	18
300 \$	5
Preguntas	Respuestas
6. ¿Estaría dispuesto a pagar un cargo adicional para localizar su Dron en caso de pérdida?	
Si	6
No	26
7. ¿Le gustaría que el sistema de seguridad para el Dron sea?	
Modular (Desarmable)	18
Fijo (parte fija)	14
8. ¿Le gustaría que el sistema de seguridad del Dron sea utilizable en diferentes tipos de vehículos aéreos no tripulados?	
Si	31
NO	1
9. ¿En caso de pérdida del Dron le gustaría?	
Recibir un sms de texto con la ubicación del mismo	7
Visualización en tiempo real	25
10. ¿En caso de que el Dron se esté precipitando al suelo le gustaría que?	
Se activará automáticamente el paracaídas	28
Se activaría manualmente desde el mando	2
Se activaría desde una aplicación desde un Smart-phone	2
11. ¿Cómo le gustaría que sea el material del encapsulado del sistema de seguridad?	
Fibra de carbono	23
Plástico	7
Metal	2

Tabla de resultados de la encuesta realizada a personas relacionadas con el manejo de Drones

En la Tabla 3.2 se puede observar los requerimientos de los clientes de acuerdo a las encuestas realizadas.

Tabla 3.2 Voz del cliente y voz del ingeniero

#	Voz del cliente	Demanda	Voz del ingeniero
1	¿Que vuele a una altura prudencial?	Básica	Operatividad
2	¿Qué no tenga un costo muy elevado?	Básica	Costo
3	¿Qué se pueda localizar el Dron?	Unidimensional	Exactitud GPS
4	¿Qué sea modular?	Básica	Montable
5	¿Qué funcione para diferentes UAV?	Básica	
6	¿Qué permita visualización en tiempo real en caso de aterrizaje?	Unidimensional	
7	¿Qué la apertura del paracaídas sea automática?	Unidimensional	Opciones de programación
8	¿Qué sea resistente?	Básica	Materiales

Tabla de requerimiento de los clientes de acuerdo a la encuesta realizada

### 3.2 Análisis de la Competencia

Se presentan en las Tablas 3.3, 3.4 y 3.5 particularidades técnicas de prototipos de paracaídas para protección de dispositivos aéreos no tripulados UAV.

Tabla 3.3 Estudio de la competencia 1

	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
	Alta resistencia en los materiales
	Peso ligero y compacto
	Sistema de muelle de compresión
	Activación por servo motor
	Diseño de rápido ventilado para despliegue del sistema
	Sistema de despliegue automático
	1 año de garantía

Tabla de características de la competencia 1

Tabla 3.4 Estudio de la competencia 2

	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
	Sistema de activación SKYCAT FUSE
	Fuente de alimentación externa para la activación de los FUSE
	Disparador controlado a través de un canal PWM a través de un receptor RC
	Facilidad de instalación
	Sistema tipo escalable hasta 3 paracaídas
	Diseñado para ser más pequeño, ligero y fiable
	Alta resistencia en los materiales
1 año de garantía	

Tabla de características de la competencia 2

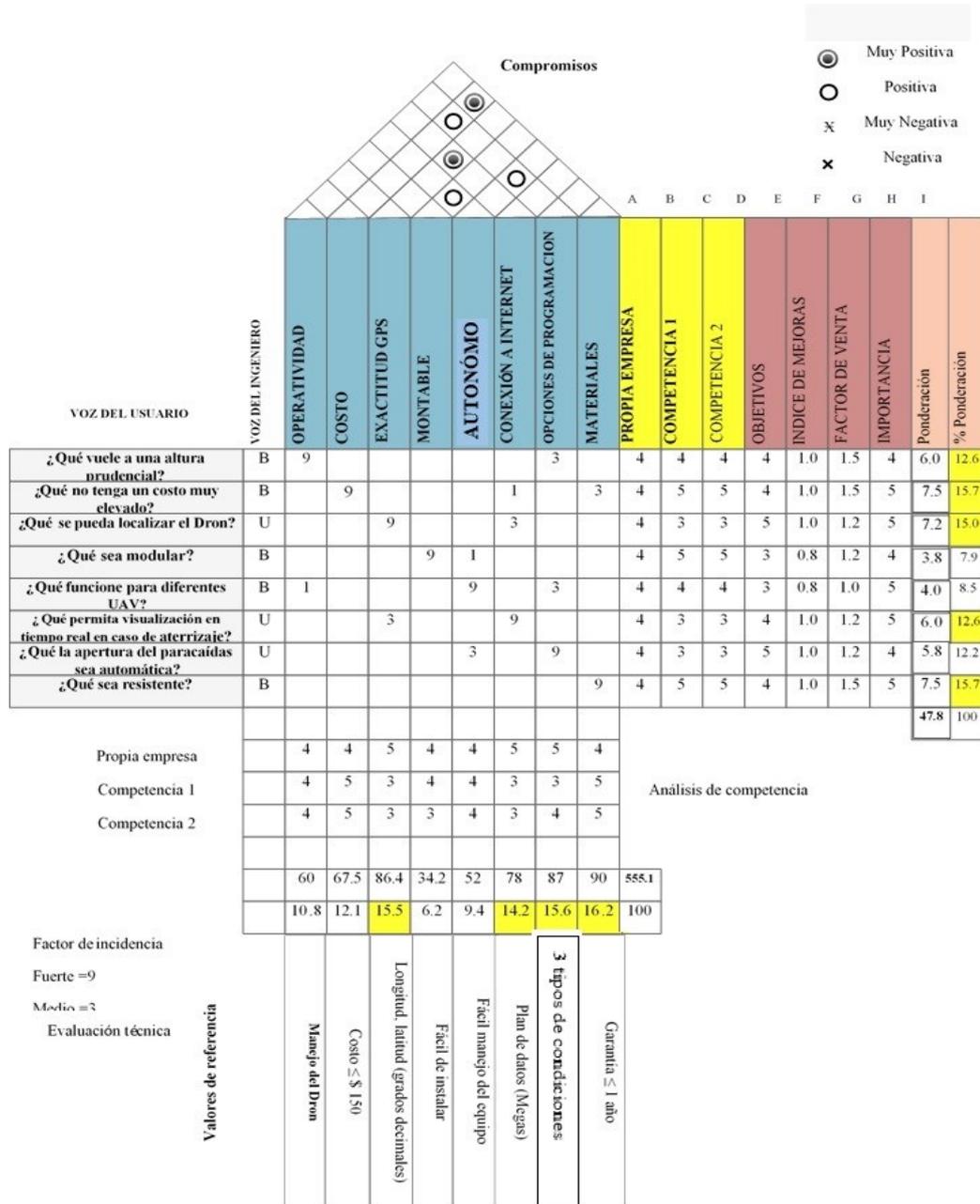
Tabla 3.5 Estudio de la competencia 3

	<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>
	Peso ligero del sistema
	Sistema de activación re usable
	Fácil y rápido de instalar
	Sistema de activación por
	Apertura automática del paracaídas
	Sistema de activación por eyección
	1 año de garantía

Tabla de características de la competencia 3

En la Figura 3.1 se observa el proceso de la casa de la calidad para el diseño y construcción del prototipo de paracaídas inteligente, obteniendo las voces del usuario de las encuestas realizadas.

Figura 3.1 Casa de la calidad



Casa de la calidad aplicada al diseño y construcción de un prototipo de paracaídas inteligente para Drones

### 3.3 Observaciones de la casa de la calidad

Se observa el resultado de la competencia indicando reforzar en ciertos parámetros los cuales brindan un 71.6% de las mejoras en los siguientes aspectos:

1. Que sea resistente.
2. Que no tenga un costo muy elevado.
3. Que se pueda localizar el Dron.
4. Que permita la visualización del dron en caso de aterrizaje.
5. Que vuele a una altura prudencial.

### 3.3.1 Descripciones técnicas del sistema de paracaídas automático

Los diseñadores crean una lista con las características técnicas que reflejan ser la voz del ingeniero, estas características se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Descripción técnica del prototipo

<b>Empresa:</b> EYD S.A		<b>Producto:</b> Prototipo del sistema de paracaídas automático y localización GPS		<b>Fecha inicial:</b> 10/04/2016 <b>Fecha final:</b> 28/11/2016	
<b>DESCRIPCIONES TÉCNICAS</b>					
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción	
Operatividad	10/04/2016	D	D	Manejo del Dron	
Costo	10/04/2016	D	R	Costo $\leq$ 150 \$	
Exactitud GPS	10/04/2016	D	R	Longitud, latitud (grados decimales)	
Montable	10/04/2016	D	R	Fácil de instalar	
Autónomo	10/04/2016	D	D	Fácil manejo del equipo	
Conexión a internet	10/04/2016	D	R	Plan de datos (Megas)	
Opciones de programación	10/04/2016	D	D	3 tipos de condiciones	
Materiales	10/04/2016	D	D	Garantía $\leq$ 1 año	

Tabla de características técnicas del prototipo de paracaídas

Propone: D=Diseño.

R/D: R=requerimiento, D=deseo.

### 3.3.2 Incidencia y correlaciones

Se examina las descripciones técnicas del prototipo para optimizar el producto, donde 4 de ellas son de importancia con un 61.5 % teniendo los siguientes puntos:

1. Exactitud GPS.
2. Conexión a internet.
3. Opciones de programación.
4. Materiales.

Los diseñadores establecen las correlaciones en la casa de la calidad entre las descripciones técnicas obteniendo solo correlaciones positivas que se describen en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Correlaciones entre las descripciones técnicas

Correlación muy positiva	Correlación positiva
Obteniendo materiales que sean resistentes a las caídas el costo del prototipo tiende a aumentar.	El desarrollo de la aplicación GPS para Smart-Phones debe ser de fácil manejo para el usuario.
Al elaborar el prototipo con materiales resistentes la garantía tiende a incrementarse.	Aumentando la precisión y exactitud de los sensores el costo del prototipo aumentará y será más fiable.
Al manejar un módulo GPS más costoso, la exactitud de la ubicación será mucho mayor.	Obteniendo un mayor número de sensores se aumentará el costo del prototipo.

Tabla de correlaciones entre las descripciones técnicas del prototipo

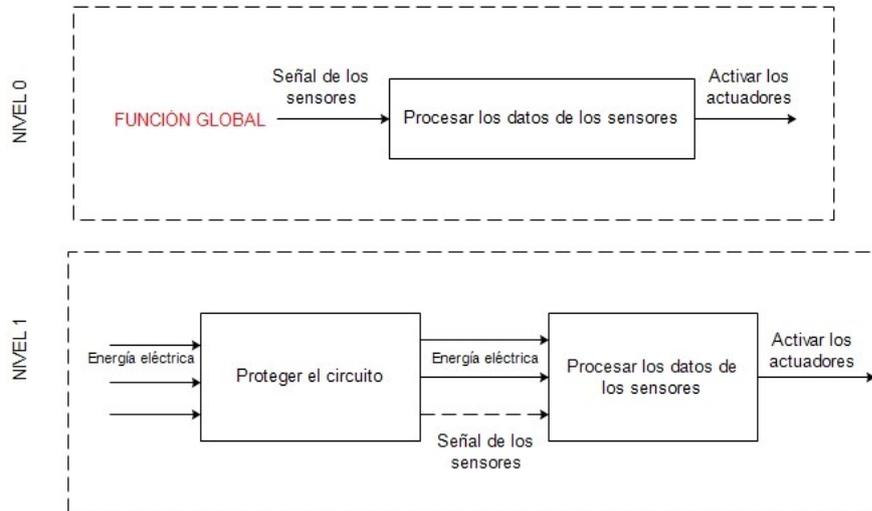
### 3.4 Análisis funcional

En el análisis funcional se presenta un esquema modular el cual describe como está formado el prototipo de paracaídas inteligente para Drones.

### 3.4.1 Creación del módulo

En la Figura 3.2, se observa como está formado el módulo para el prototipo de paracaídas inteligente.

Figura 3.2 Esquema modular



Esquema modular del prototipo de paracaídas inteligente

Módulo 1: Describe la protección del circuito, el tipo de controlador para controlar las señales de los sensores y el procesamiento de los datos.

Las características que contiene este módulo son:

- Protección del circuito.
- Procesamiento de los datos de los sensores.

### 3.5 Creación de alternativas de solución

#### 3.5.1 Módulo 1

En la Tabla 3.8 se observan las opciones de solución para el módulo 1:

Tabla 3.8 Opciones de solución para el módulo 1

Características	Opciones de solución	
Protección del circuito.	Caja de Acrílico	Soporte de PLA (ácido poli láctico)
Procesamiento de los datos de los sensores.	Arduino	Microcontrolador

Tabla de las opciones para la solución del módulo 1

### 3.5.2 Ventajas y desventajas de las opciones de solución

Como se observó anteriormente se presentaron las opciones para la protección del circuito, ahora se analizará las ventajas y desventajas de cada una de las opciones, en la Figura 3.3 se observa la opción 1.

- Protección del circuito  
Opción 1: Caja de acrílico

Figura 3.3 Opción 1



Caja de acrílico, (Bigtronica, s.f.)

En la Tabla 3.9 se muestra las ventajas y desventajas de la opción 1.

Tabla 3.9 Ventajas y desventajas de la opción 1

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
No tiende a oxidarse.	No soporta grandes golpes.
Excelentes propiedades de aislamiento eléctrico y acústico.	Tiende a agrietarse con facilidad al momento de realizar alguna perforación.
Puede estar a la intemperie por largos periodos de tiempo.	

Tabla de ventajas y desventajas de la caja de acrílico

En la Figura 3.4 se muestra la opción 2: Soporte de PLA (ácido poli láctico).

Figura 3.4 Opción 2



Soporte de PLA

En la Tabla 3.10 se muestra las ventajas y desventajas de la opción 1

Tabla 3.10 Ventajas y desventajas de la opción 2

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Material biodegradable.	Tiene un costo elevado.
Tiene mayor facilidad para la impresión 3D.	Tiene una resistencia mecánica baja, ya que puede ser frágil o rígido.
Puede ser rígido o flexible.	

Tabla de ventajas y desventajas del soporte de PLA

En la Figura 3.5 se muestra la opción 1: Arduino Mega para procesar los datos de los sensores.

Figura 3.5 Opción 1



Arduino, (Arduino, s.f.)

En la Tabla 3.11 se muestra las ventajas y desventajas de la opción 1 para el Arduino.

Tabla 3.11 Ventajas y desventajas de la opción 1

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Entorno de programación sencillo.	No dispone de una memoria externa.
Software de código abierto.	No está diseñado para trabajar en ambientes industriales.
Las placas de Arduino tienen un bajo costo.	

Tabla de ventajas y desventajas del Arduino Mega

En la Figura 3.6 se muestra la opción 2: microcontrolador para procesar los datos de los sensores

Figura 3.6 Opción 2



Microcontrolador, (Electrodex, 2015)

En la Tabla 3.12 se muestra las ventajas y desventajas de la opción 2 para el Microcontrolador.

Tabla 3.12 Ventajas y desventajas de la opción 2

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Distintos tipos de lenguajes para su programación.	Se necesita de una grabadora de pics para cargar los programas al microcontrolador.
Bajo costo.	Necesitan software licenciado.
Diferentes tipos de microcontroladores según los requerimientos que se necesiten.	

Tabla de ventajas y desventajas del microcontrolador

### 3.5.3 Selección de la opción módulo 1

De las opciones de solución que se presentaron se selecciona la mejor opción para el módulo 1 como se observa en el Tabla 3.13:

Tabla 3.13 Soluciones para el módulo 1

<b>Características</b>	<b>Opciones de solución</b>	
Protección del circuito.	Caja de Acrílico	Soporte de PLA (ácido poli láctico)
Procesamiento de los datos de los sensores.	Arduino	Microcontrolador

Tabla de las soluciones para el módulo 1

La opción No.1 está formada de las soluciones mostradas en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 Opción de solución 1

<b>Características</b>	<b>Opciones de solución</b>
Protección del circuito	Soporte de PLA (ácido poli láctico)
Procesamiento de los datos de los sensores.	Arduino

Tabla de las soluciones para la opción 1

La opción No.2 está formada de las soluciones mostradas en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15 Opción de solución 2

<b>Características</b>	<b>Opciones de solución</b>
Protección del circuito	Caja de acrílico
Procesamiento de los datos de los sensores.	Microcontrolador

Tabla de las soluciones para la opción 1

### 3.6 Creación de la primera solución

Se establece la solución por el método de criterios ponderados tomando en cuenta los cuatro aspectos más relevantes que se reflejaron del estudio de la casa de la calidad:

1. Exactitud GPS.
2. Conexión a internet.
3. Opciones de programación.
4. Materiales.

Se definen de la siguiente manera la relación que existe entre los aspectos relevantes de la casa de la calidad:

Exactitud GPS < Conexión a internet < Opciones de programación < Materiales.

Con los datos obtenidos del estudio de la casa de la calidad se especifica el peso para cada criterio, el cual esta detallado en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16 Valoración del peso específico de cada aspecto relevante de la casa de la calidad

<b>Criterios</b>	<b>Exactitud GPS</b>	<b>Conexión a internet</b>	<b>Opciones de programación</b>	<b>Materiales</b>	<b>Sumatoria+1</b>	
Exactitud GPS		1	1	1	4	0,4
Conexión a internet	0		1	1	3	0,3
Opciones de programación	0	0		1	2	0,2
Materiales	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

Tabla de los criterios ponderados basados en cuatros aspectos dados de casa de la calidad

### 3.6.1 Estudio del módulo 1

En la Tabla 3.17 se observa la valoración del criterio exactitud GPS.

Tabla 3.17 Valoración del criterio exactitud GPS

<b>Exactitud GPS</b>	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>	<b>Sumatoria+1</b>	<b>Ponderación</b>
Opción 1		1	2	0,67
Opción 2	0		1	0,33
		Suma	3	1

Tabla de los criterios ponderados para la exactitud del GPS

Tabla 3.18 Valoración del criterio conexión a internet

<b>Conexión a internet</b>	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>	<b>Sumatoria+1</b>	<b>Ponderación</b>
Opción 1		1	2	0,67
Opción 2	0		1	0,33
		Suma	3	1

Tabla de los criterios ponderados para la conexión a internet

Tabla 3.19 Valoración del criterio opciones de programación

<b>Opciones de programación</b>	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>	<b>Sumatoria+1</b>	<b>Ponderación</b>
Opción 1		1	2	0,67
Opción 2	0		1	0,33
		Suma	3	1

Tabla de los criterios ponderados para las opciones de programación

Tabla 3.20 Valoración del criterio para los materiales

<b>Materiales</b>	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>	<b>Sumatoria+1</b>	<b>Ponderación</b>
Opción 1		1	2	0,67
Opción 2	0		1	0,33
		Suma	3	1

Tabla de los criterios ponderados para el criterio de materiales

Teniendo las tablas de criterio ponderado se obtienen como conclusión que la “opción 2” es la mejor alternativa, como se muestra en la Tabla 3.21.

Tabla 3.21 Valoración de los diferentes criterios

Conclusión	Exactitud GPS	Conexión a internet	Opciones de programación	Materiales	Sumatoria	Prioridad
Opción 1	0.67	0.67	0.67	0.67	2.68	1
Opción 2	0.33	0.33	0.33	0.33	1.32	2

Tabla de la valoración de los diferentes criterios

### 3.6.2 Estudio de la primera solución

Para el diseño y construcción del prototipo de paracaídas inteligente se obtuvo varias soluciones para la creación del módulo, obteniendo dos soluciones por lo que opto por utilizar el método de criterios ponderados y de esta forma se escogió la opción más óptima que se relaciones con los aspectos más relevantes que se reflejaron del estudio de la casa de la calidad y su orden de importancia son:

1. Exactitud GPS.
2. Conexión a internet.
3. Opciones de programación.
4. Materiales.

Una vez realizado el estudio de la casa de la calidad y el método de criterios de ponderación se estableció que la opción 1 es aquella que cumple los requerimientos para el diseño del prototipo de paracaídas, los cuales están dispuestos por las funciones:

1. Proteger el circuito
2. Procesar los datos de los sensores

### 3.7 Diseño del paracaídas

Se diseñó un paracaídas de geometría poligonal debido a la eficacia aerodinámica que este posee. Para el cálculo del diámetro del paracaídas se tomó el peso total del sistema y se lo aplico la ecuación 3.1:

$$r = 2 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g}{n \cdot C_d \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \text{Sen}\left[\frac{360^\circ}{n}\right]}} \quad (3.1)$$

Dónde:

$r$  =radio

$m$ =masa total del sistema.

$g$  = aceleración de la gravedad terrestre  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

$\rho$ =densidad del aire  $1.22 \text{ Kg/m}^3$ .

$C_d$  =es el coeficiente de arrastre del paracaídas en función de su forma 0.75.

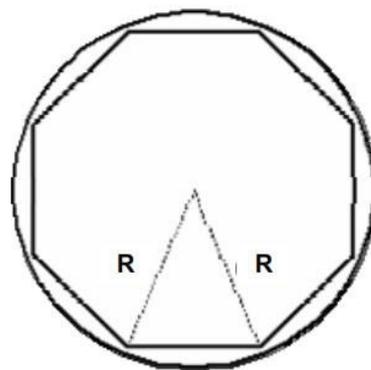
$v$  =es la velocidad de descenso para el sistema 3.35 m/s o 4.45 m/s.

$n$  = número de lados del polígono

Con un peso total de 2Kg, un coeficiente de arrastre de 0.75, una velocidad de descenso de 4.45 m/s, la densidad del aire es  $1.22 \text{ Kg/m}^3$ , se calculó que el diámetro del paracaídas es 1.10 metros.

Para la construcción del paracaídas se trazó un polígono inscrito en una circunferencia como se observa en la Figura 3.7.

Figura 3.7 Polígono inscrito



Polígono inscrito en una circunferencia, (Recuenco, 2008)

Una vez realizado el polígono se procede a cortar 8 pedazos de hilo de 80cm los cuales se colocarán en cada los vértices del polígono como se muestra en la Figura 3.8.

Figura 3.8 Hilo en los vértices del polígono



Cuerdas de hilos colocados en cada vértice del polígono

El paracaídas de geometría poligonal completo se muestra en la Figura 3.9.

Figura 3.9 Paracaídas poligonal



Paracaídas de geometría poligonal

### 3.8 Diseño del software del prototipo de paracaídas inteligente

En la Figura 3.10 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del Arduino Mega para el procesamiento de la señal de los sensores giroscopio y barómetro, y la activación del actuador.

Figura 3.10 Diagrama de flujo

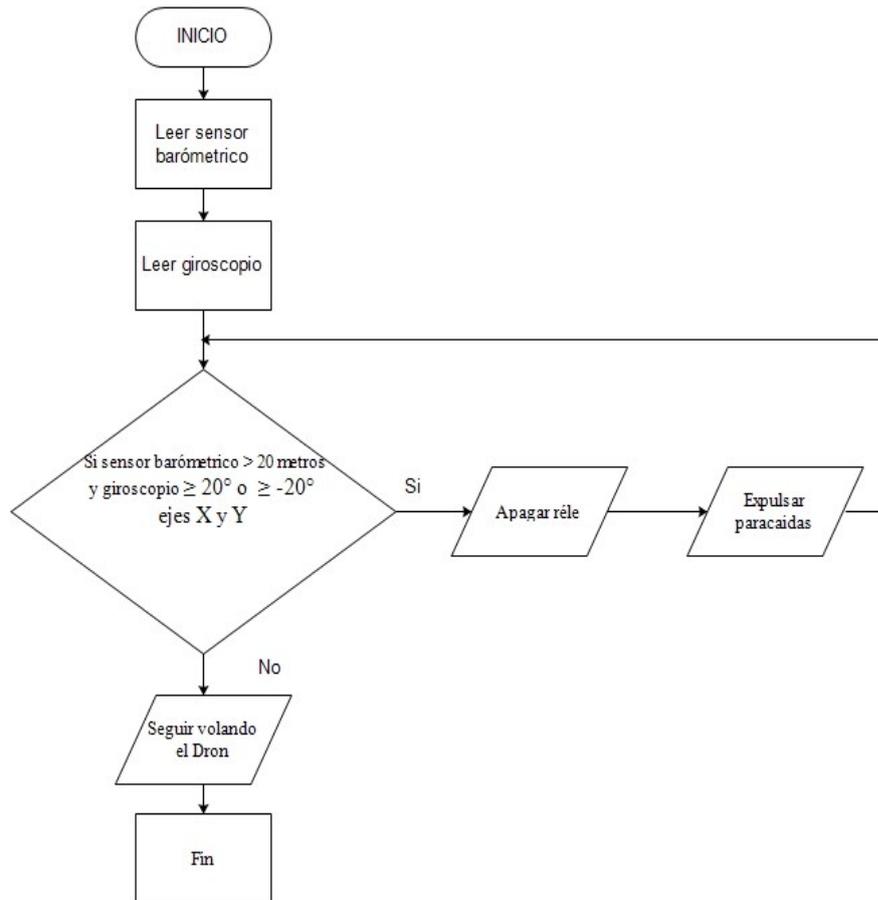


Diagrama de flujo de los sensores barométrico y giroscopio

En la Figura 3.11 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del Arduino Mega para el procesamiento de la señal de los sensores ultrasónicos y la activación del actuador.

Figura 3.11 Diagrama de flujo

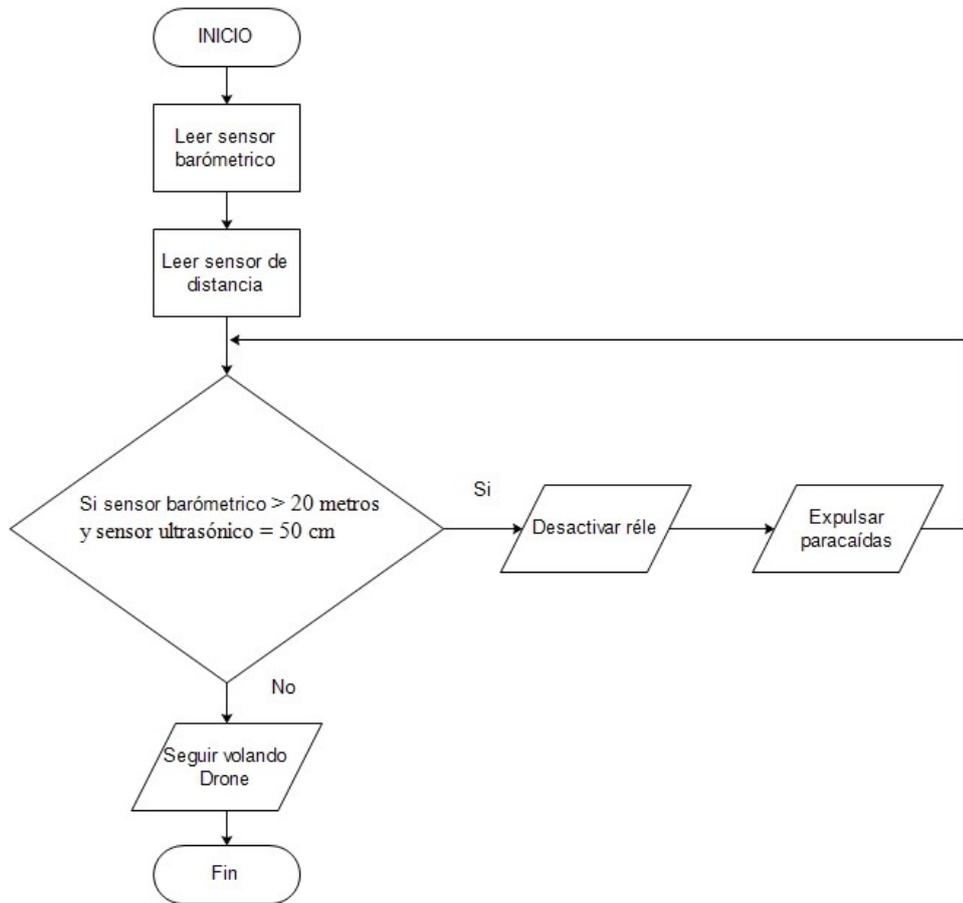


Diagrama de flujo de los sensores ultrasónicos

En la Figura 3.12 se muestra el diagrama de flujo de la transmisión de datos de longitud y latitud del GPS entre los módulos Xbee.

Figura 3.12 Diagrama de flujo

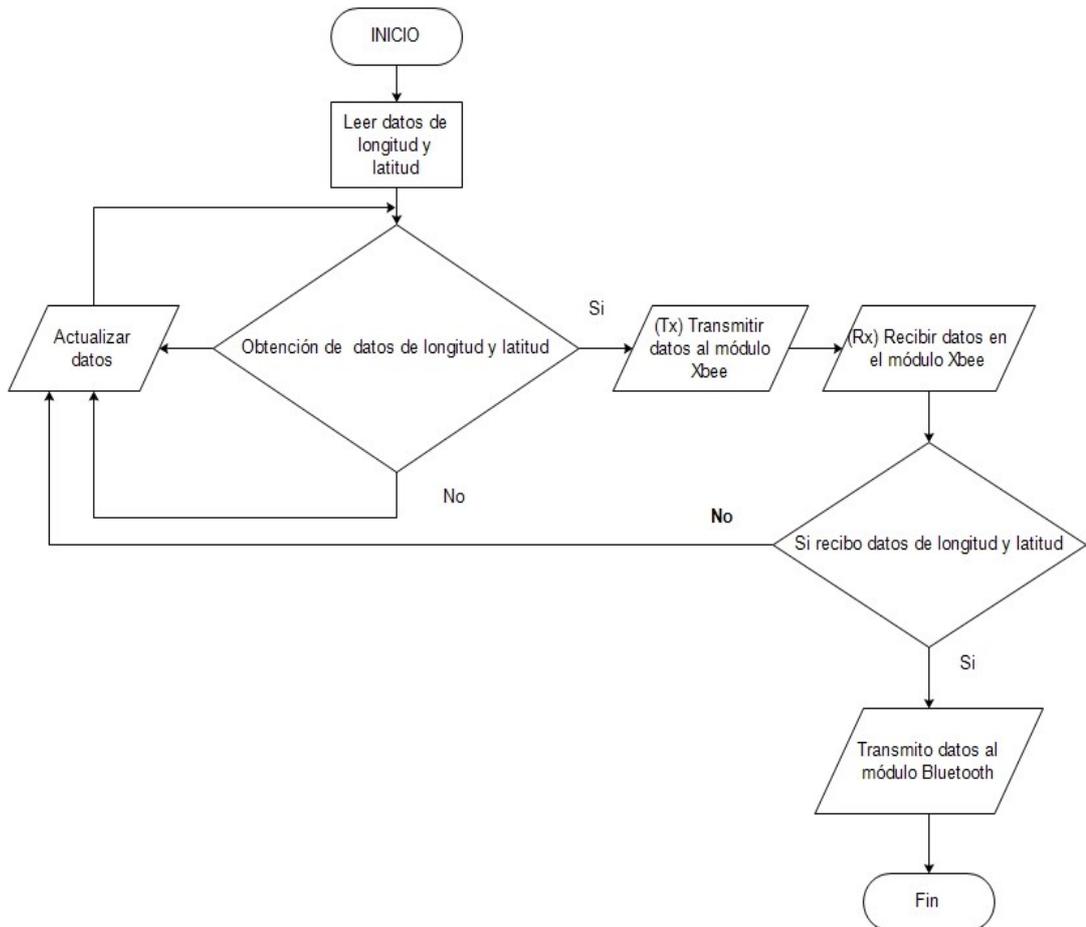


Diagrama de flujo de la trasmisión de datos de altitud y longitud

### 3.9 Diseño de la aplicación para localización del Dron

En la Figura 3.13 se muestra la interfaz gráfica de la aplicación desarrollada en app inventor, software gratuito para desarrollar aplicaciones Android.

Figura 3.13 Interfaz App



Ítems de la interfaz gráfica

En la Tabla 3.22 se observa los componentes de la interfaz gráfica de la aplicación para la localización del Dron.

Tabla 3.22 Descripción de los ítems de la interfaz gráfica de la aplicación

ITEM	FUNCIÓN
1	Botón de ingreso al proceso de localización GPS del Dron.
2	Botón de ingreso para observar los pasos para envolver el paracaídas.
3	Salir de la aplicación.

Tabla de los ítems de la interfaz gráfica creada en App Inventor

En la Figura 3.14 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento de la pantalla principal de la aplicación.

Figura 3.14 Diagrama de flujo

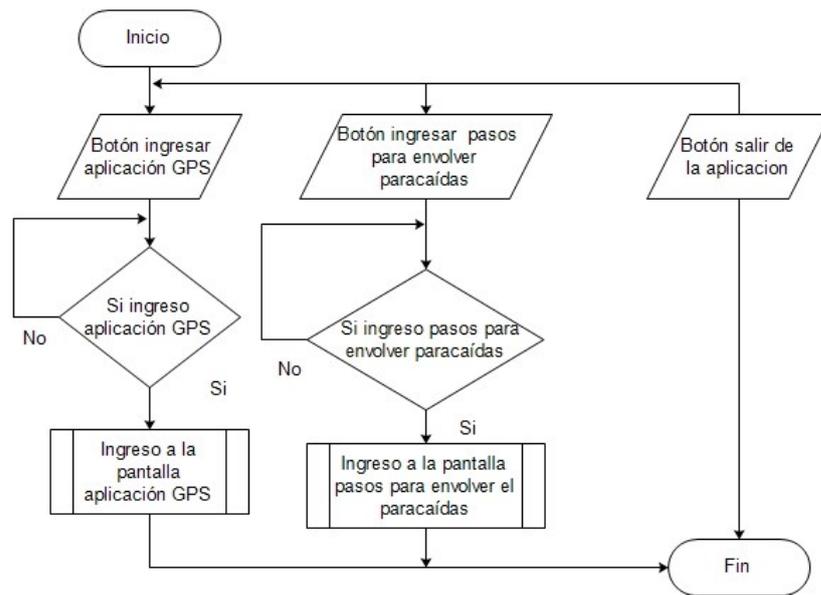


Diagrama de flujo de la pantalla principal de la aplicación

En la Figura 3.15 se muestra la pantalla de la aplicación GPS para localizar el Dron, y los ítems que esta contiene.

Figura 3.15 Pantalla de aplicación GPS



Ítems de la pantalla de aplicación GPS

En la Tabla 3.23 se observa los componentes de la pantalla de la aplicación GPS para la localización del Dron.

Tabla 3.23 Descripción de los ítems de la pantalla de aplicación GPS

<b>ITEM</b>	<b>FUNCIÓN</b>
1	Botón seleccionar dispositivo Bluetooth.
2	Botón para conectar con el dispositivo Bluetooth.
3	Muestra los datos de longitud y latitud.
4	Botón para guardar los datos de longitud y latitud.
5	Botón para ir a la ubicación.
6	Botón para salir de la aplicación.

Tabla de la descripción de los ítems de a pantalla de aplicación GPS

En la Figura 3.16 se muestra el diagrama de flujo de la pantalla de aplicación GPS para localizar el Dron.

Figura 3.16 Diagrama de flujo

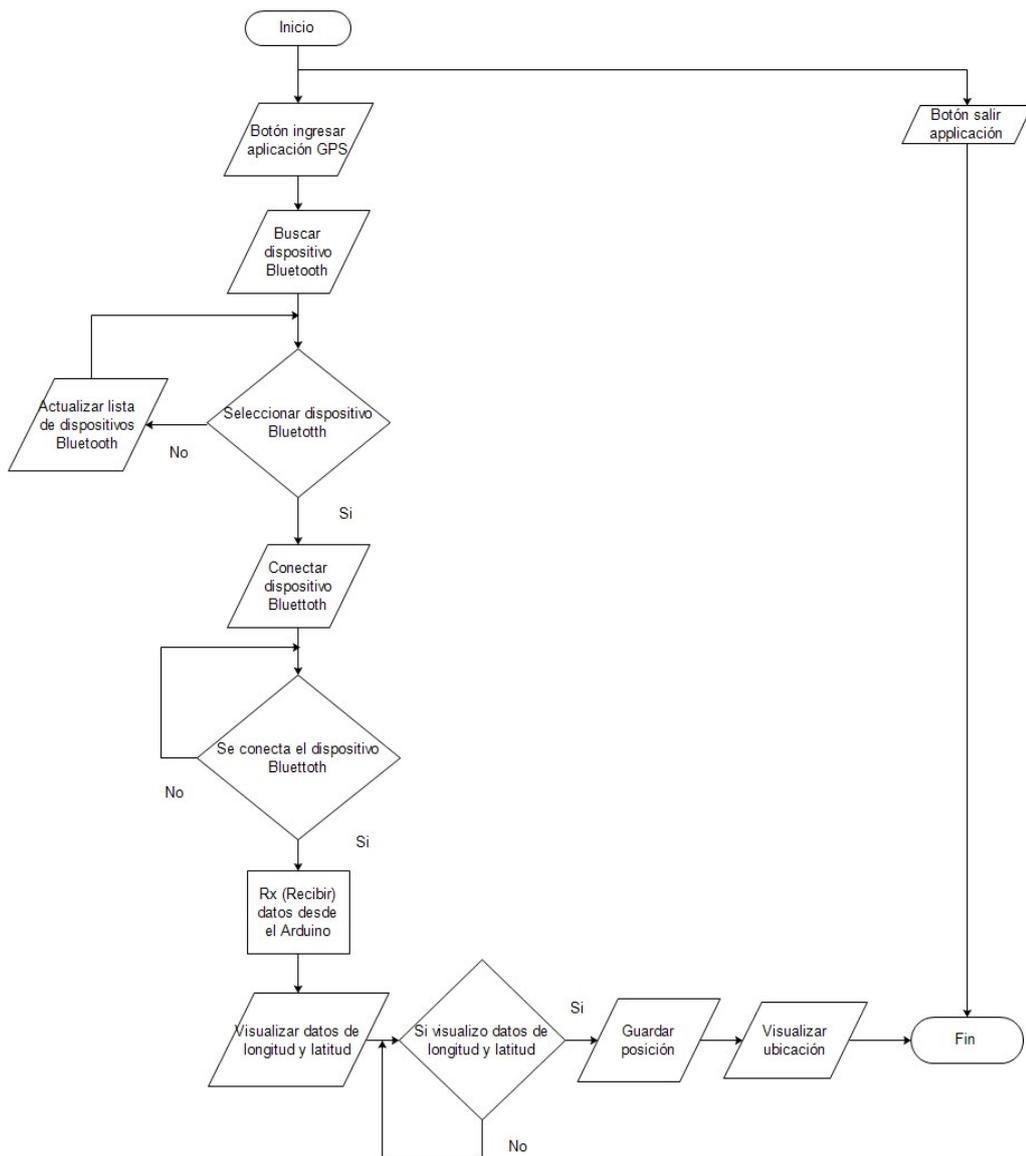
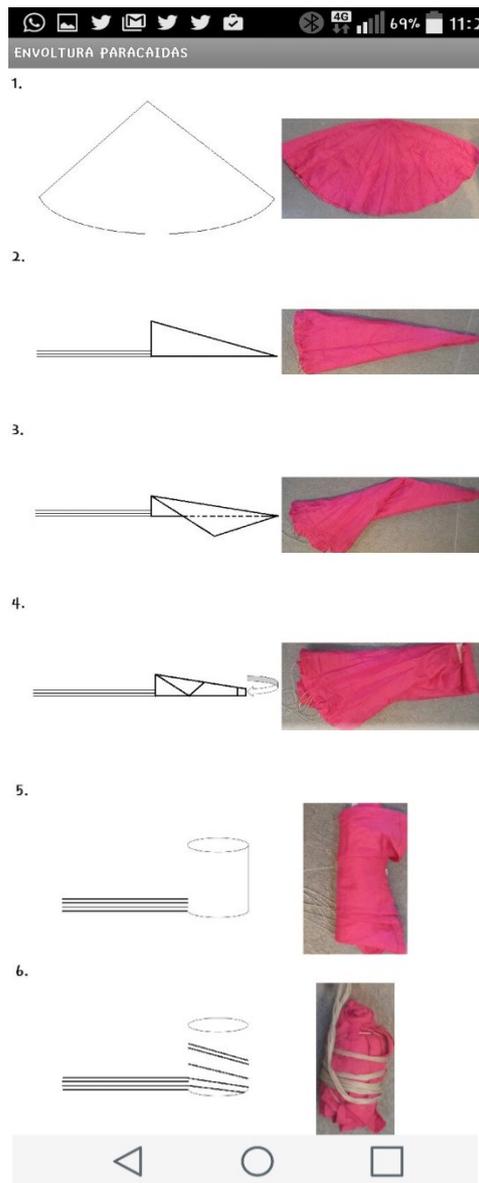


Diagrama de flujo de la pantalla de aplicación GPS

En la Figura 3.17 se muestra la pantalla de los pasos para envolver el paracaídas.

Figura 3.17 Pantalla para envolver paracaídas



Pantalla de los pasos para envoltura paracaídas

En la Figura 3.18 se muestra el diagrama de flujo de la pantalla de los pasos para envolver el paracaídas.

Figura 3.18 Diagrama de flujo

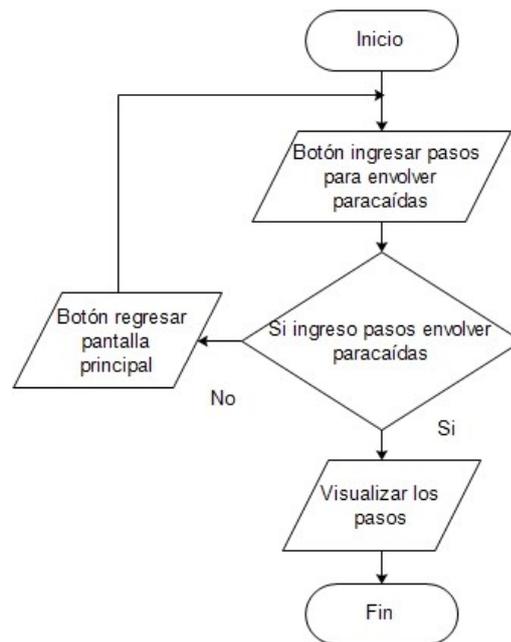


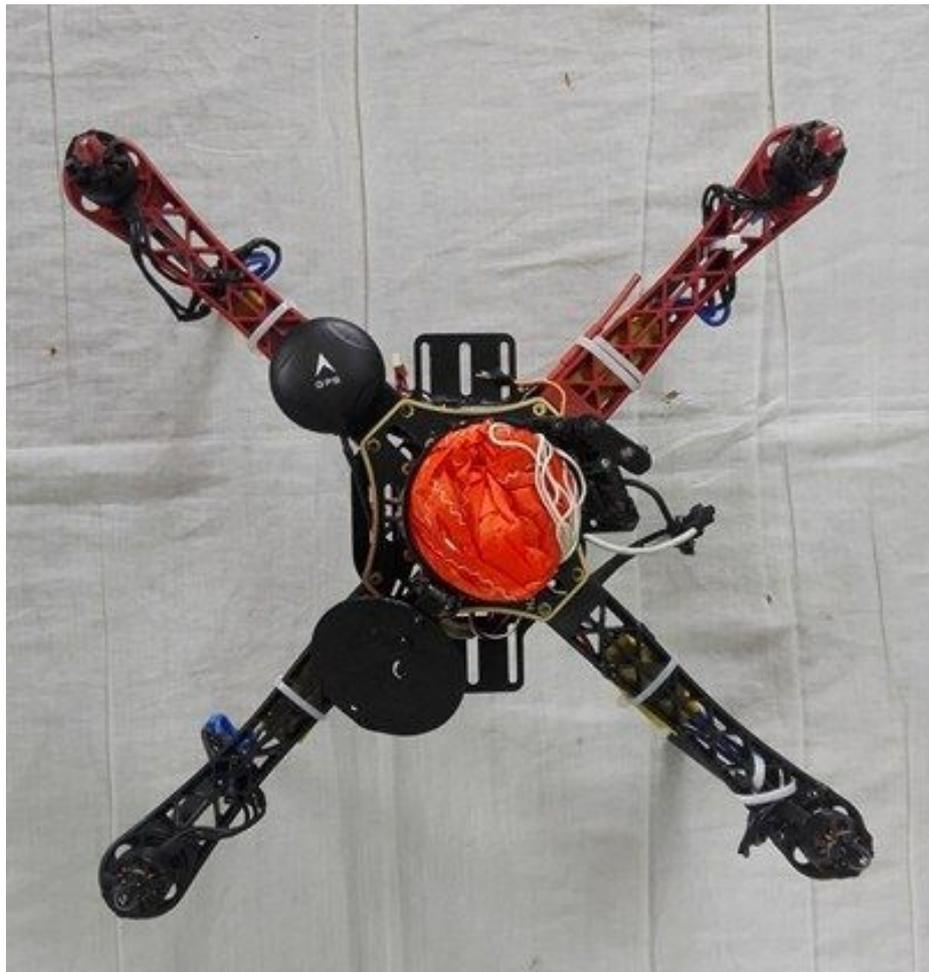
Diagrama de flujo de la pantalla de los pasos para envolver el paracaídas

### 3.10 Montaje del módulo

En la Figura 3.19 se muestra el montaje de los módulos en el Dron, la estructura del Dron está formada por una base de un material resistente a las caídas y con una dimensión de 45x45 centímetros.

El módulo se encarga de la activación automática del paracaídas según las condiciones de los sensores: giroscopio, barómetro, y ultrasónico. A este módulo se le conecta el GPS el cual envía los datos de longitud y latitud a un módulo Xbee para realizar la comunicación Bluetooth con la aplicación en un Smartphone.

Figura 3.19 Montaje del módulo



Montaje del módulo en el Dron

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 4.1 Transmisión de datos longitud y latitud

La transmisión de los datos de longitud y latitud se realizó de manera inalámbrica mediante los módulos Xbee y Bluetooth, debido a que se necesitó hacer una interfaz de comunicación y visualización de datos en un Smart-Phone mediante la creación de una aplicación Android.

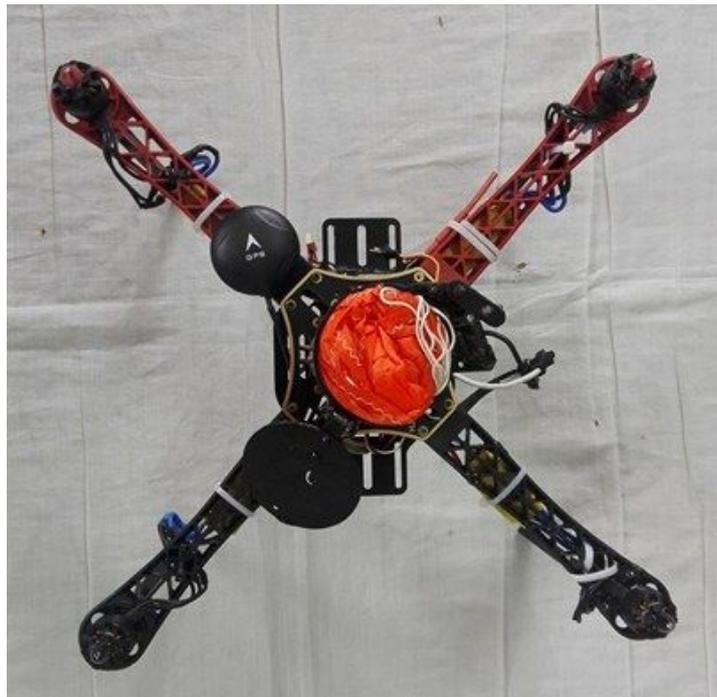
La distancia de comunicación entre los módulos Xbee es aproximadamente de 350 metros, se montó el módulo Xbee receptor con el Arduino Uno sobre el control del mando del Drone, el puerto de conexión del Bluetooth es el serial 0 y el puerto de conexión del módulo Xbee receptor es el serial 2 como se observa en la Figura 4.1, el modulo transmisor con el Arduino Mega se montó encima del Drone, el puerto de conexión del GPS es el serial 2 y el puerto de conexión del módulo Xbee transmisor está en el serial 3 como se observa en la Figura 4.2.

Figura 4.1 Módulo Xbee y Bluetooth



Montaje del módulo Xbee y Bluetooth

Figura 4.2 Módulo Xbee y GPS



Montaje del módulo Xbee y GPS

En la Figura 4.3 se muestra la adquisición de datos de longitud y latitud en la aplicación para Smart-Phone, el módulo Bluetooth realiza la transmisión de los datos hacia la aplicación.

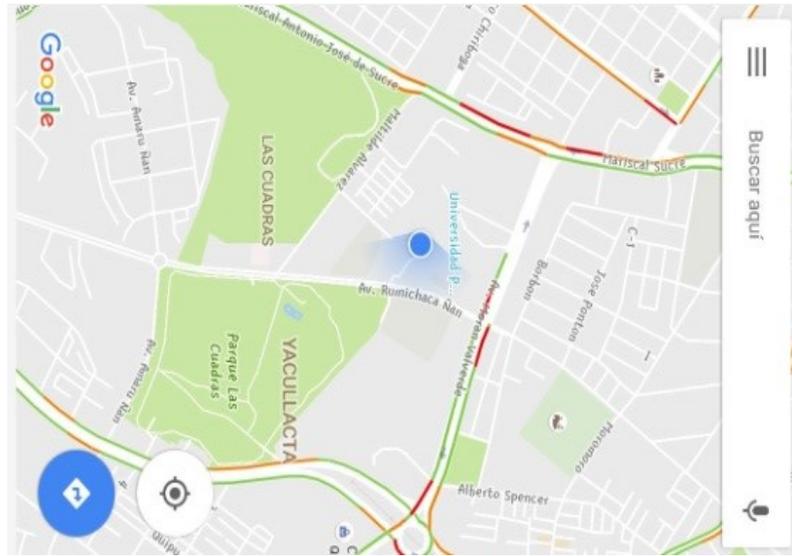
Figura 4.3 Adquisición de datos



Visualización de longitud y latitud

En la Figura 4.4 se muestra la visualización de la ubicación del Drone mediante la toma de datos de longitud y latitud los cuales se pueden visualizar mediante google maps.

Figura 4.4 Ubicación del Drone



Ubicación del Drone mediante google maps

## 4.2 Prueba de sensores

### 4.2.1 Sensor giroscopio

En la Figura 4.5 se muestra como se montó el Dron para la prueba del giroscopio, el cual al tener un ángulo mayor a  $20^\circ$  en el eje X o menor a  $-20^\circ$  en el eje -X realiza la acción de apagar el relé para desconectar el paso de corriente hacia los motores del Dron y activar el servo motor para la expulsión del paracaídas.

Figura 4.5 Sensor giroscopio



Prueba del sensor giroscopio eje X

En la Figura 4.6 se muestra el ángulo de inclinación en el eje X, y al cumplir las condiciones este hará la expulsión del paracaídas.

Figura 4.6 Expulsión del paracaídas



Expulsión del paracaídas al cumplirse la condición del giroscopio en el eje X,

En la Tabla 4.1 se observa la toma de datos del sensor giroscopio en el eje X a diferentes ángulos, para especificar la activación del paracaídas y el tiempo de expulsión del mismo al momento de cumplirse las condiciones especificadas en el sensor giroscopio.

Tabla 4.1 Datos obtenidos en las pruebas del sensor giroscopio eje X

	<b>Grados de activación sensor Giroscopio Eje X</b>	<b>Tiempo de activación (seg)</b>	<b>Activación paracaídas</b>
1	19°	0	No
2	20°	1.19	Si
3	21°	1.24	Si
4	19°	0	No
5	20°	1.22	Si
6	21°	1.19	Si
7	19°	1.20	Si
8	20°	1.19	Si
9	21°	1.18	Si
10	19°	0	No
11	20°	1.22	Si
12	21°	1.21	Si
13	19°	0	No
14	20°	1.19	Si
15	21°	1.20	Si
16	19°	1.22	Si
17	20°	1.17	Si
18	21°	1.19	Si
19	19°	0	No
20	20°	1.21	Si
21	21°	1.22	Si
22	19°	0	No
23	20°	1.23	Si
24	21°	1.19	Si
25	19°	1.21	Si
26	20°	1.18	Si
27	21°	1.20	Si
28	19°	0	No
29	20°	1.19	Si
30	21°	1.23	Si

Tabla de los valores tomados con el giroscopio eje X

En la tabla 4.1 se muestra el tiempo de activación del paracaídas dando como resultado un promedio de 1.201 segundos en la expulsión del paracaídas al tener un ángulo de  $20^\circ$ , también se obtuvo que en la toma de los 10 datos a  $19^\circ$  el sistema activo el paracaídas obteniendo así un error del 30 %.

Realizando un test estadístico para las muestras se obtuvo que el sistema de expulsión para el paracaídas tenga un 95 % de eficacia al cumplir las condiciones del sensor giroscopio en el eje X.

En la Figura 4.7 se muestra como se montó el Dron para la prueba del giroscopio, el cual al tener un ángulo mayor a  $20^\circ$  en el eje Y o menor a  $-20^\circ$  en el eje -X realiza la acción de apagar el relé para desconectar el paso de corriente hacia los motores del Dron y activar el servo motor para la expulsión del paracaídas.

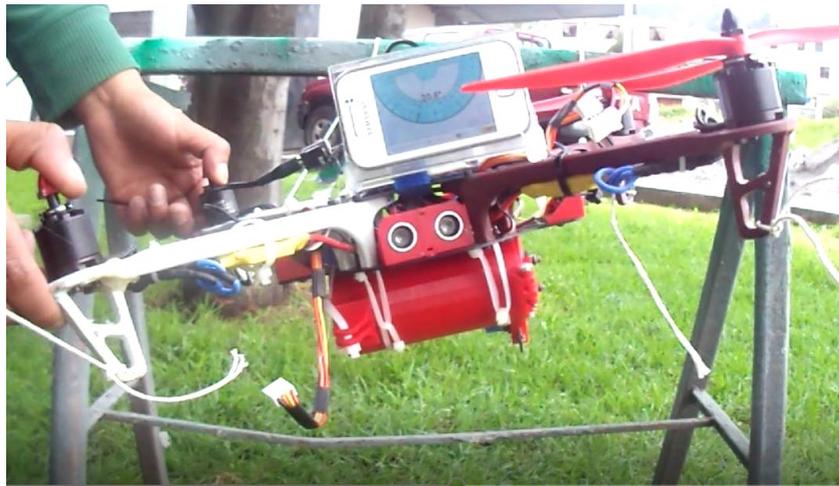
Figura 4.7 Sensor giroscopio



Prueba del sensor giroscopio eje Y

En la Figura 4.8 se muestra el ángulo de inclinación en el eje Y, y al cumplir las condiciones este hará la expulsión del paracaídas.

Figura 4.8 Expulsión del paracaídas



Expulsión del paracaídas al cumplirse la condición del giroscopio en el eje Y

En la Tabla 4.2 se observa la toma de datos del sensor giroscopio en el eje Y a diferentes ángulos, para especificar la activación del paracaídas y el tiempo de expulsión del mismo al momento de cumplirse las condiciones especificadas en el sensor giroscopio.

Tabla 4.2 Datos obtenidos en las pruebas del sensor giroscopio eje Y

	<b>Grados de activación sensor Giroscopio Eje Y</b>	<b>Tiempo de activación (seg)</b>	<b>Activación paracaídas</b>
1	19°	1.25	Si
2	20°	1.20	Si
3	21°	1.21	Si
4	19°	0	No
5	20°	1.23	Si
6	21°	1.21	Si
7	19°	0	No
8	20°	1.18	Si
9	21°	1.21	Si
10	19°	0	No
11	20°	1.23	Si

Continuación Tabla 4.2

12	21°	1.19	Si
13	19°	0	No
14	20°	1.18	Si
15	21°	1.20	Si
16	19°	0	No
17	20°	1.19	Si
18	21°	1.22	Si
19	19°	0	No
20	20°	1.23	Si
21	21°	1.18	Si
22	19°	1.24	Si
23	20°	1.21	Si
24	21°	1.23	Si
25	19°	0	No
26	20°	1.19	Si
27	21°	1.22	Si
28	19°	0	No
29	20°	1.22	Si
30	21°	1.21	Si

Tabla de los valores tomados con el giroscopio eje Y

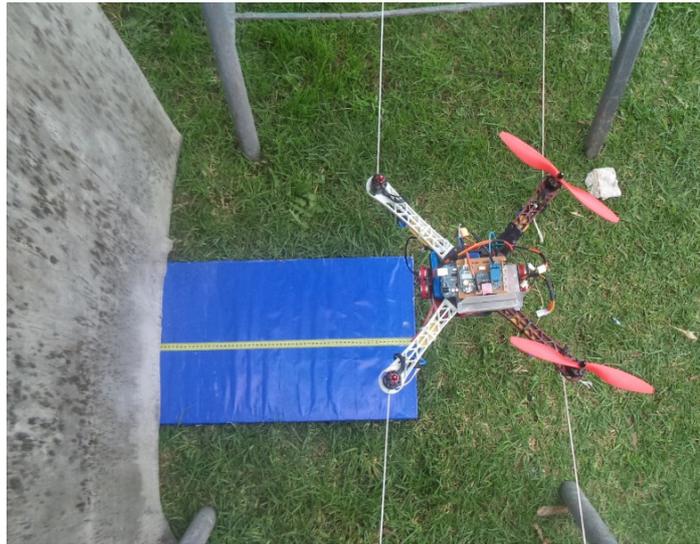
En la tabla 4.2 se muestra el tiempo de activación del paracaídas dando como resultado un promedio de 1.205 segundos en la expulsión del paracaídas al tener un ángulo de 20°, también se obtuvo que en la toma de las 10 muestras a 19° el sistema activo el paracaídas obteniendo así un error del 20 %.

Realizando un test estadístico para las muestras se obtuvo que el sistema de expulsión para el paracaídas tiene un 95 % de eficacia al cumplir las condiciones del sensor giroscopio en el eje Y.

#### 4.2.2 Sensor de distancia

En la Figura 4.9 se muestra la prueba del sensor de distancia el cual al detectar una distancia menor a 50 cm realiza la acción de apagar el relé para desconectar el paso de corriente hacia los motores del Dron y activar el servo motor para la expulsión del paracaídas.

Figura 4.9 Sensor de distancia



Prueba del sensor de distancia

En la Tabla 4.3 se observa la toma de datos del sensor ultrasónico a diferentes distancias, para especificar la activación del paracaídas y el tiempo de expulsión del mismo al momento de cumplirse las condiciones especificadas en el sensor ultrasónico.

Tabla 4.3 Datos obtenidos de las pruebas del sensor ultrasónico

	<b>Grados de activación sensor Ultrasónico</b>	<b>Tiempo de activación (seg)</b>	<b>Activación paracaídas</b>
1	37 cm	0	No
2	38 cm	1.74	Si
3	39 cm	1.68	Si
4	37 cm	0	No
5	38 cm	1.65	Si
6	39 cm	1.78	Si
7	37 cm	0	No
8	38 cm	1.76	Si
9	39 cm	1.69	Si
10	37 cm	0	No
11	38 cm	1.73	Si
12	39 cm	1.75	Si
13	37 cm	0	No
14	38 cm	1.69	Si
15	39 cm	1.73	Si
16	37 cm	0	No
17	38 cm	1.77	Si
18	39 cm	1.14	Si
19	37 cm	0	No
20	38 cm	1.78	Si
21	39 cm	1.72	Si
22	37 cm	0	No
23	38 cm	1.79	Si
24	39 cm	1.76	Si
25	37 cm	0	No
26	38 cm	1.72	Si
27	39 cm	1.78	Si
28	37 cm	1.76	Si
29	38 cm	1.74	Si
30	39 cm	1.71	Si

Tabla de los valores tomados con el sensor ultrasónico

En la tabla 4.3 se muestra el tiempo de activación del paracaídas dando como resultado un promedio de 1.73 segundos en la expulsión del paracaídas al tener una distancia cercana a los 39 cm, también se obtuvo que en la toma de las 10 muestras a 37 cm el sistema activo el paracaídas obteniendo así un error del 10 %.

Realizando un test estadístico para las muestras se obtuvo que el sistema de expulsión para el paracaídas tiene un 95 % de eficacia al cumplir las condiciones del sensor ultrasónico.

### **4.3 Prueba perdida de cobertura del control de mando Drone**

En la Figura 4.10 se observa la prueba del vuelo en la cual el presente Drone tiene la característica de cuando se deja de alimentar el control de mando los motores se apagan, se programó la condición de al encontrarse a una altura mayor a 25 metros y la señal PWM de los motores es menor a 1000 rpm se activa el servo motor el cual expulsa el paracaídas, expandiéndose completamente asegurando un descenso leve del equipo.

Figura 4.10 Expulsión del paracaídas



Expulsión del paracaídas al cumplirse la condición de pérdida de mando

## CONCLUSIONES

Se construyó y diseño el prototipo de paracaídas inteligente para Drones, determinando que el sistema disminuye la velocidad de caída libre del equipo y evita daños graves al momento de caer, mediante las pruebas a diferentes alturas se obtuvo que a una altura mayor a 22 metros el paracaídas se expande completamente reduciendo la velocidad de descenso.

Se realizó las encuestas a personas dedicadas al manejo de Drones, determinando así las características para el diseño de la casa de calidad QFD del prototipo de paracaídas inteligente, estableciendo un diseño idóneo para así cumplir las necesidades de los usuarios como costo, operatividad del equipo, resistencia en los materiales, visualización del equipo al momento de aterrizar mediante una aplicación en Smart-Phone.

Se condiciono el ángulo de inclinación del Drone en los ejes pitch (+X,-X) y roll (+Y,-Y), en la cual la presente condición no se la pudo poner en prueba ya que depende de las condiciones del viento, teniendo en cuenta que la velocidad del viento debe ser mayor a 90 Km/h, pero de cumplir la condición de desestabilidad con un ángulo mayor o menor a 30° tanto en pitch y roll se apagara los motores y expulsara el paracaídas, teniendo en cuenta que el Drone debe estar a una altura mayor a 22 metros estas pruebas se realizaron al nivel del suelo cumpliendo la condición predeterminada.

Se ubicaron sensores ultrasónicos en la estructura del Drone, para evitar el choque contra algún obstáculo que se encuentre a una altura mayor a 22 metros, las pruebas realizadas se obtuvo que el tiempo de respuesta para la activación del paracaídas es muy lenta, porque el sensor ultrasónico emite una onda de sonido la cual debe rebotar contra el objeto indicándonos la distancia a la que se encuentra del objeto, concluyendo que no es factible la ubicación de estos sensores.

El sensor barométrico tiene la condición de al conectarse establece un valor preestablecido de 0 metros con referencia donde se ubique el Drone, ya que se necesita una altura prudencial para la expulsión del paracaídas y así reducir la velocidad del descenso del Drone.

Se tomó los datos de longitud y latitud mediante una comunicación Xbee maestro-esclavo, porque los módulos permiten un rango de comunicación aproximada de 350 metros punto a punto con lo que no se tiene pérdida de datos al momento de estar volando el Drone.

El modulo Bluetooth se usó para la transmisión de los datos hacia el Smart-Phone o Tablet, mediante el emparejamiento del dispositivo Bluetooth del Smart-Phone o Tablet, para de esta manera recibir los datos de longitud y latitud desde los datos recibidos en el módulo Xbee montado en el Drone.

Se usó al principio motores de 1000 KVA para una estructura de Drone F450 con variadores de velocidad de 30 A, batería de 11.1 voltios a 2200mA, su peso total era 1.1 Kg este Drone funcionaba correctamente, al incrementar un peso adicional de 500 gramos (peso del prototipo del paracaídas y módulo Arduino) esto no logro despegar, por lo que se dimensiono a unos motores de 810 KVA los cuales tienen un empuje de 730 gramos por motor, permitiendo elevarse con un peso adicional de 1 Kg.

Se desarrolló la aplicación para Smart-Phone o Tablet con sistema operativo Android en el software App Inventor, porque este software permite crear aplicaciones libres mediante la programación en bloques, ya que este tipo de programación está orientada a eventos, indicándole al dispositivo móvil lo que se quiere realizar.

## RECOMENDACIONES

Para realizar el vuelo del Drone es recomendable hacerlo en lugares desolados debido a que si existe algún accidente este no pueda invadir la propiedad privada o causar algún daño a la persona.

Para lograr cumplir las necesidades de los usuarios es indispensable realizar las encuestas y así obtener la información específica para el diseño y construcción del prototipo de paracaídas inteligente para Drones basada en el diseño de calidad QFD.

Para obtener un manejo idóneo del Drone se aconseja practicar en simuladores de vuelo como por ejemplo FPV FreeRider versión Demo, ya que es muy similar a tener un manejo del Drone en el campo abierto.

Se recomienda investigar los accesorios que se va a montar sobre el Drone, ya que el peso es un factor que influye al momento de hacerlo volar, debido a que si este tiene mucho peso no va elevarse, por lo que se recomienda dimensionar los accesorios del Drone en cuanto a la estructura, batería, motores, variadores de velocidad para tener un óptimo rendimiento del Drone.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arduino. (s.f.). ArduinoBoardMega Arduino.

Bábovka, M. (s.f.). Balistic parachute rescue system.

Bigtronica. (s.f.). Solution electronic.

Electrodex. (2015). Productos electrónicos Microcontroladores .

International, D. (2016). Módulos de comunicación inalámbrica Xbee.

Knacke, T. W. (1991). Parachute recovery system design manual. U.S Navi edition .

López, J. J. (2011). Yo fui paracaidista. Editorial Club Universitario.

Parachute, M. (s.f.). Fly safe Drone parachutes.

Recuenco, J. M. (2008). Modelismo espacial.

Riba, C. (2012). Diseño concurrente.

Schultz, E. R. (1978). RECOVERY SYSTEMS DESIGN GUIDE.

SKYCAT. (2016). Parachute launchers and emergency rescue system for multicopters .

Zaitsevsky, A. (2007). Skydive equipment and accessories.

# ANEXOS

## Anexo 1. Configuración de la estabilización del Drone en el software LibrePilot CGS



## Anexo 2. Configuración de los módulos Xbee mediante el software XCTU

The screenshot shows the XCTU software interface. On the left, under 'Radio Modules', a module named 'Transmisor' is listed with the following details: Function: XBee PRO 900HP 200K, Port: COM8 - 9600/8/N/1/N - AT, and MAC: 0013A20040E41B95. The main window displays the 'Radio Configuration' for this module. The 'Addressing' section is expanded, showing the following settings:

Parameter	Value
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	40E41B95
DH Destination Address High	13A200
DL Destination Address Low	40DC6C08
TO Transmit Options	40
NI Node Identifier	Transmisor
NT Network Discovery Back-off	82 * 100 ms
NO Network Discovery Options	0
CI Cluster ID	11

The screenshot shows the XCTU software interface. On the left, under 'Radio Modules', a module named 'TRANSMISOR' is listed with the following details: Function: XBee PRO 900HP 200K, Port: COM8 - 9600/8/N/1/N - AT, and MAC: 0013A20040DC6C08. The main window displays the 'Radio Configuration' for this module. The 'Addressing' section is expanded, showing the following settings:

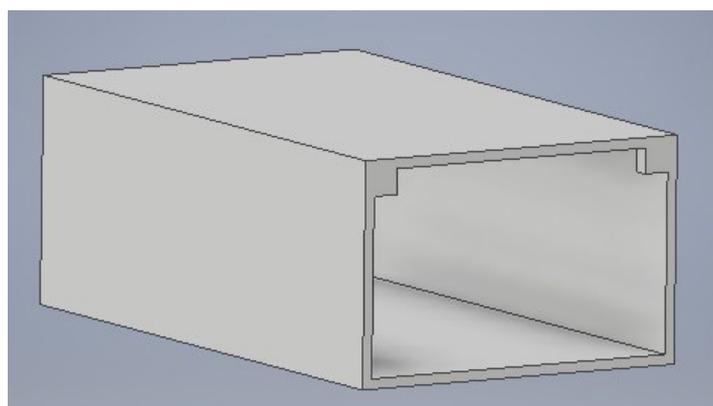
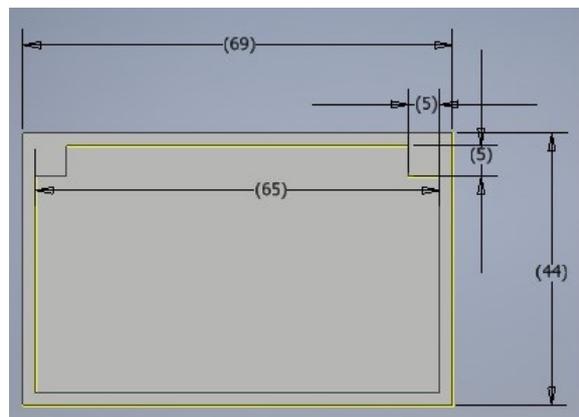
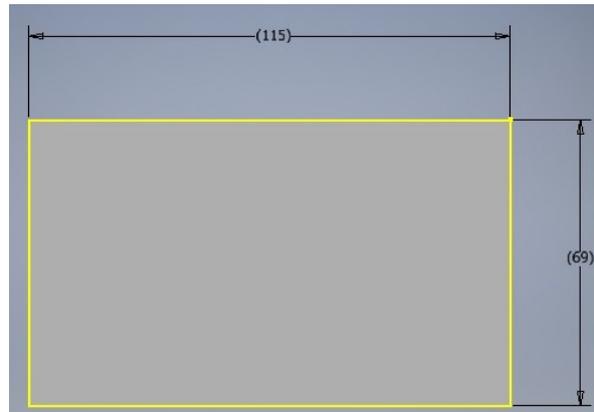
Parameter	Value
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	40DC6C08
DH Destination Address High	13A200
DL Destination Address Low	40E41B95
TO Transmit Options	40
NI Node Identifier	TRANSMISOR
NT Network Discovery Back-off	82 * 100 ms
NO Network Discovery Options	0
CI Cluster ID	11

### Anexo 3. Toma de datos de los sensores barómetro, giroscopio, GPS y ultrasónicos en el software Arduino IDE

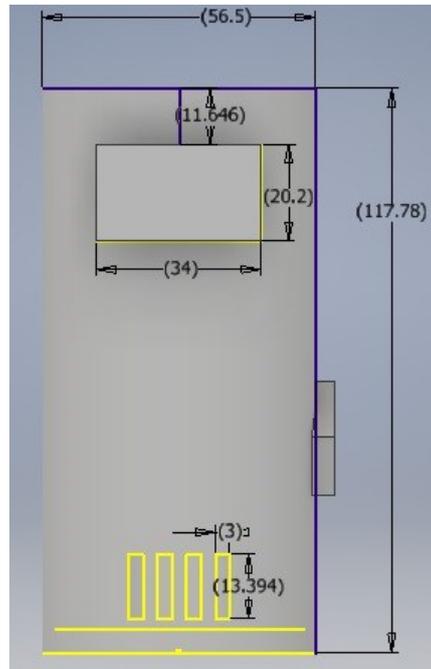
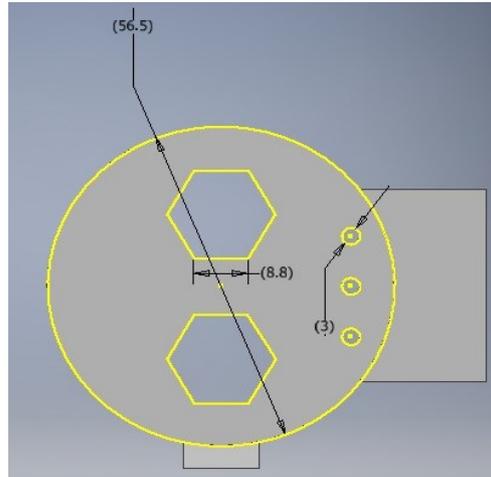
COM11

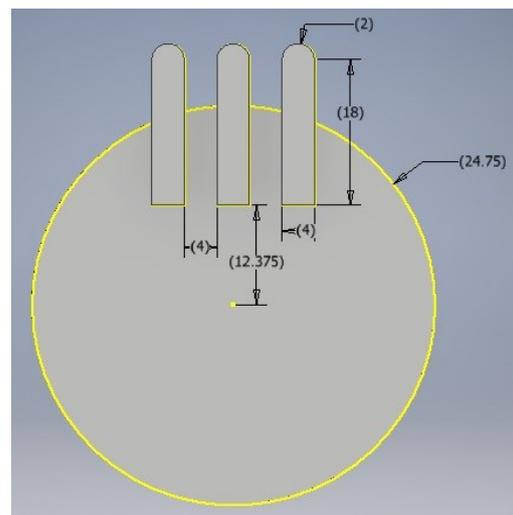
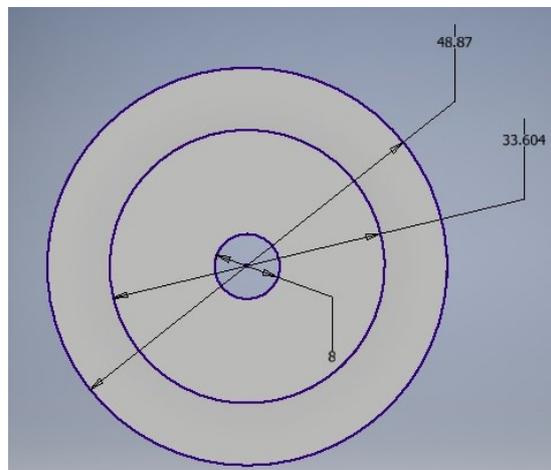
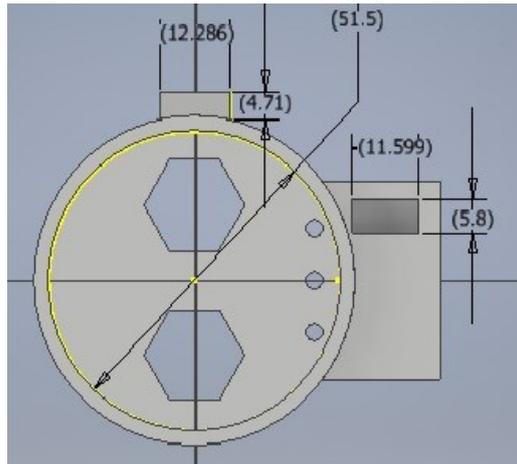
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 224   AcY = -8   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: -0.2 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 144   AcY = -68   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.1 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 80   AcY = -20   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.0 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 240   AcY = 24   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 977.00   Alti: 0.2 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 160   AcY = -12   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: -0.4 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 108   AcY = -156   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: -0.1 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 244   AcY = 32   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.7 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 172   AcY = -8   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.4 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 216   AcY = 152   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: -0.1 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 188   AcY = -60   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.1 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 248   AcY = 32   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 972.00   Alti: 0.1 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 216   AcY = -56   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.4 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 132   AcY = -28   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: -0.1 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 252   AcY = -20   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.3 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 160   AcY = -12   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.2 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 188   AcY = -40   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: -0.0 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 136   AcY = -108   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.3 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 224   AcY = 44   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.4 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 212   AcY = 4   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: -0.5 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55033   AcX = 180   AcY = -68   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.4 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55031   AcX = 188   AcY = 28   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.2 (m)
Lat=-0.28292   LON=-78.55031   AcX = 180   AcY = -20   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.8 (m)
Lat=-0.28293   LON=-78.55031   AcX = 260   AcY = 20   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.5 (m)
Lat=-0.28293   LON=-78.55031   AcX = 148   AcY = 0   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 942.00   Alti: -0.3 (m)
Lat=-0.28293   LON=-78.55030   AcX = 200   AcY = -16   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.4 (m)
Lat=-0.28293   LON=-78.55030   AcX = 192   AcY = 128   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: -0.5 (m)
Lat=-0.28293   LON=-78.55030   AcX = 236   AcY = -44   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.4 (m)
Lat=-0.28293   LON=-78.55030   AcX = 224   AcY = -16   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.1 (m)
Lat=-0.28293   LON=-78.55030   AcX = 172   AcY = -44   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.2 (m)
Lat=-0.28293   LON=-78.55030   AcX = 248   AcY = -8   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 972.00   Alti: 0.8 (m)
Lat=-0.28293   LON=-78.55030   AcX = 188   AcY = 48   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 972.00   Alti: 0.2 (m)
Lat=-0.28293   LON=-78.55030   AcX = 120   AcY = -4   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.0 (m)
Lat=-0.28294   LON=-78.55030   AcX = 148   AcY = 20   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: -0.8 (m)
Lat=-0.28294   LON=-78.55030   AcX = 252   AcY = -4   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: -0.6 (m)
Lat=-0.28294   LON=-78.55030   AcX = 64   AcY = 64   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 971.00   Alti: 0.2 (m)
Lat=-0.28294   LON=-78.55029   AcX = 212   AcY = 20   Front = 51 (cm)   Right = 51 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.7 (m)
Lat=-0.28294   LON=-78.55029   AcX = 224   AcY = 16   Front = 51 (cm)   Right = 28 (cm)   Post = 51 (cm)   Left = 51 (cm)   Pwm= 964.00   Alti: 0.8 (m)

#### Anexo 4. Planos del soporte para la placa Arduino

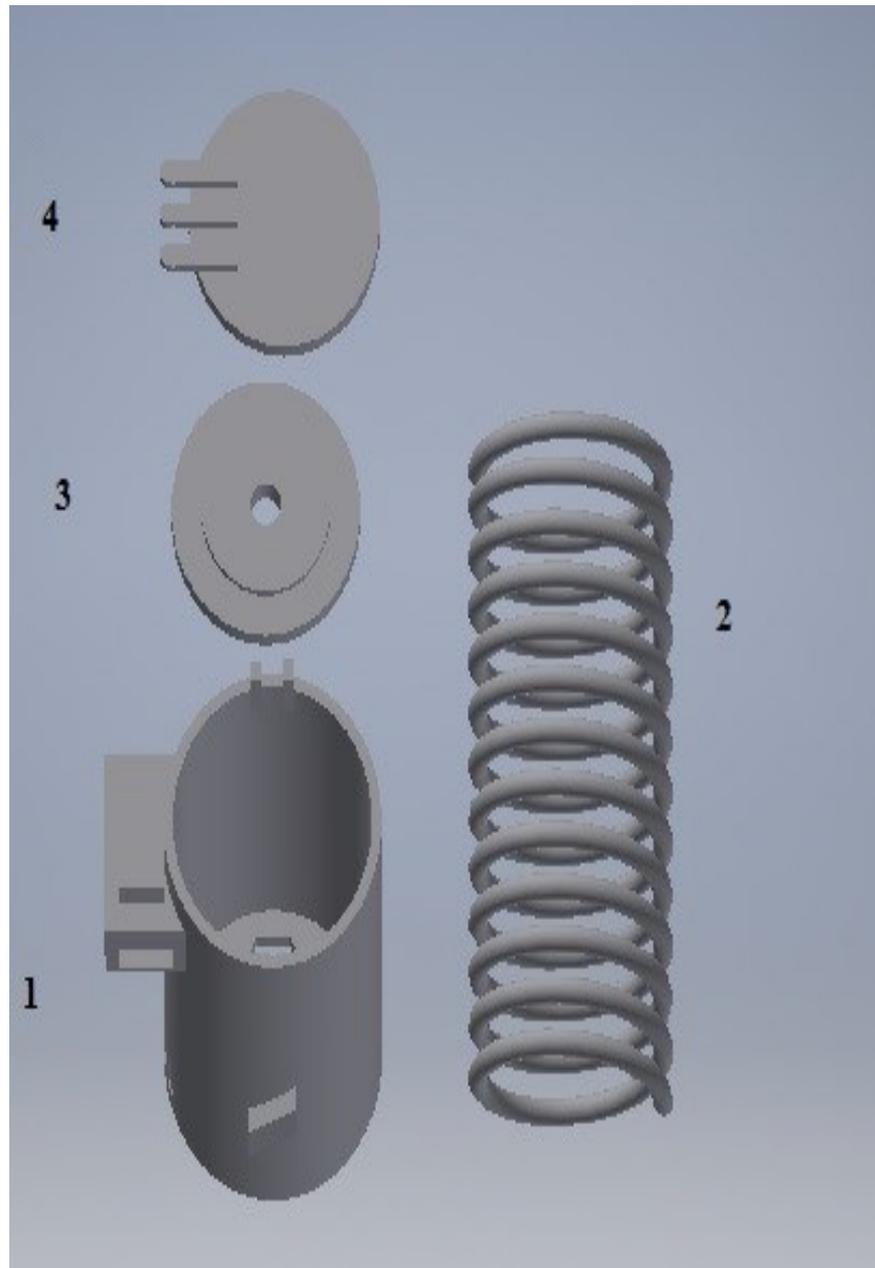


Anexo 5. Planos del prototipo de paracaídas

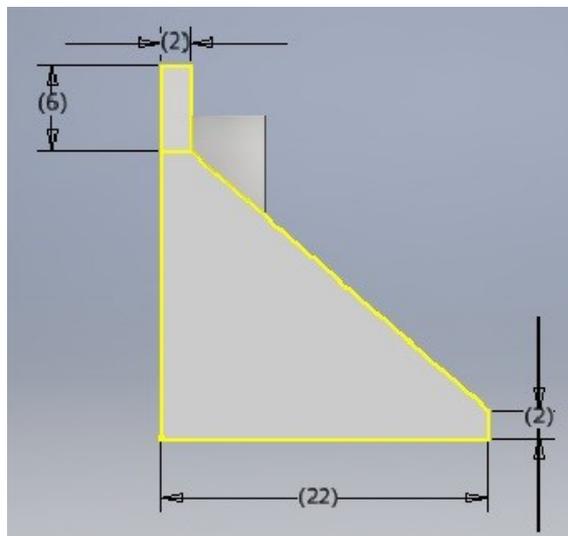
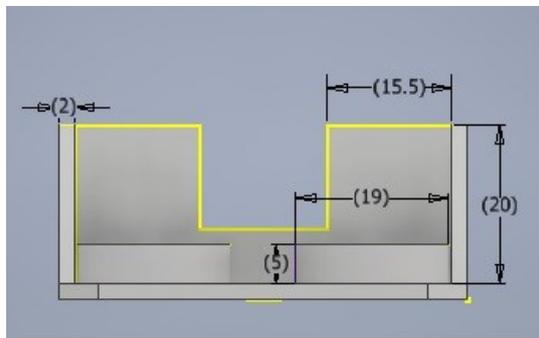
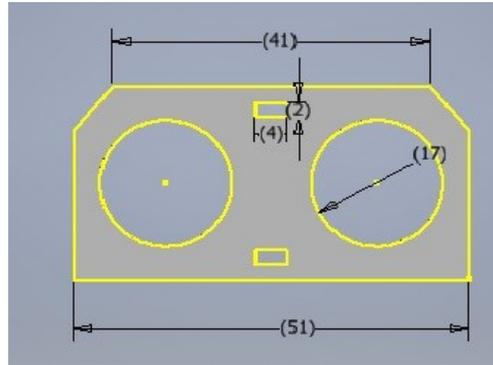




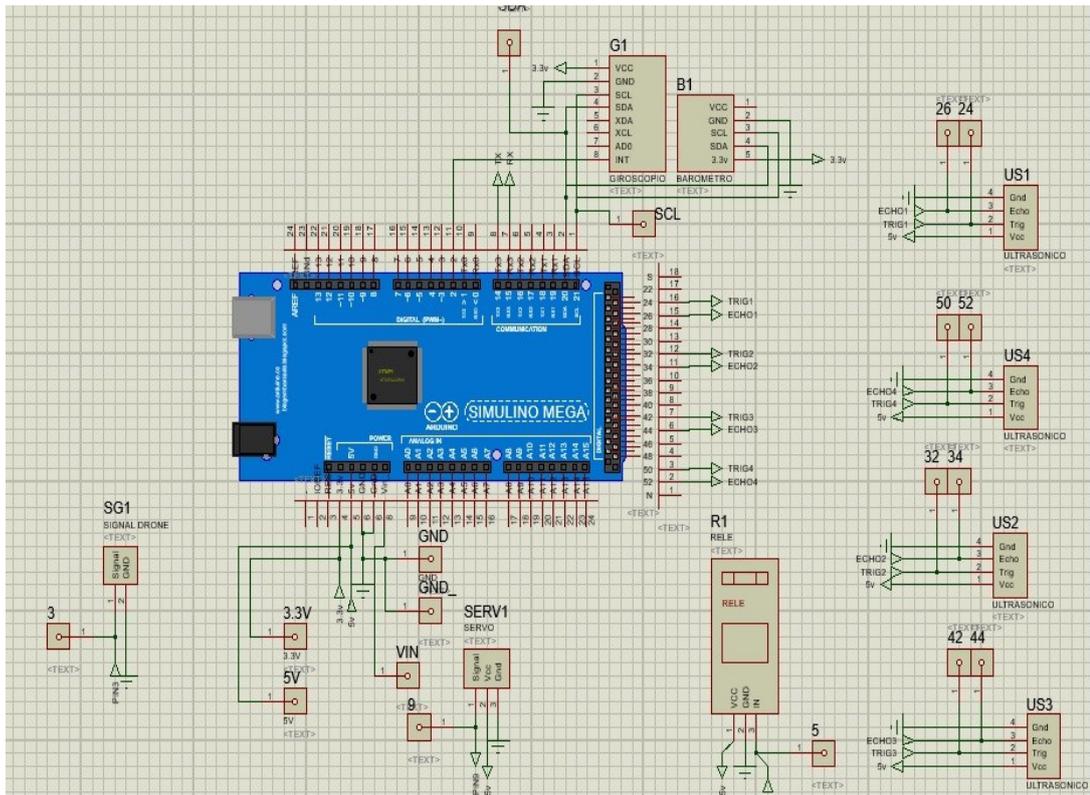
Anexo 6. Partes del prototipo de paracaídas



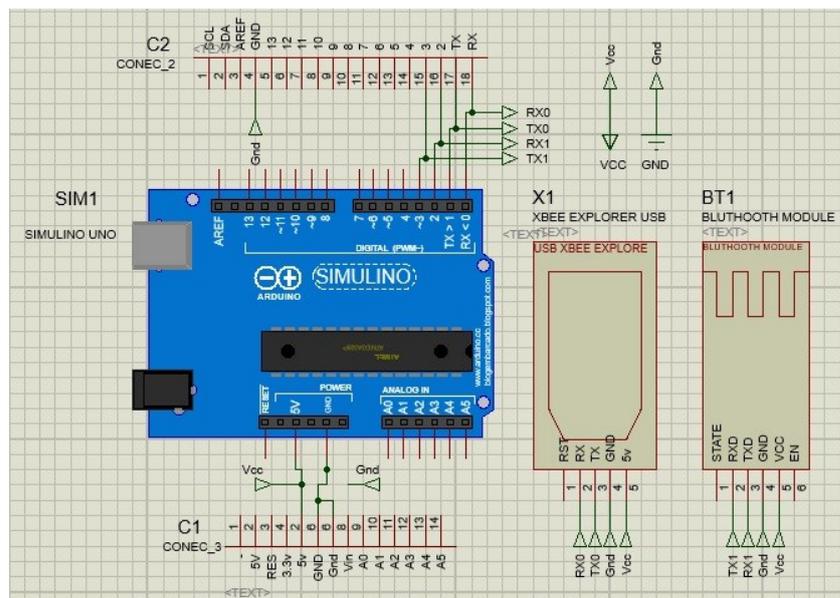
Anexo 7. Planos del soporte para los sensores ultrasónicos



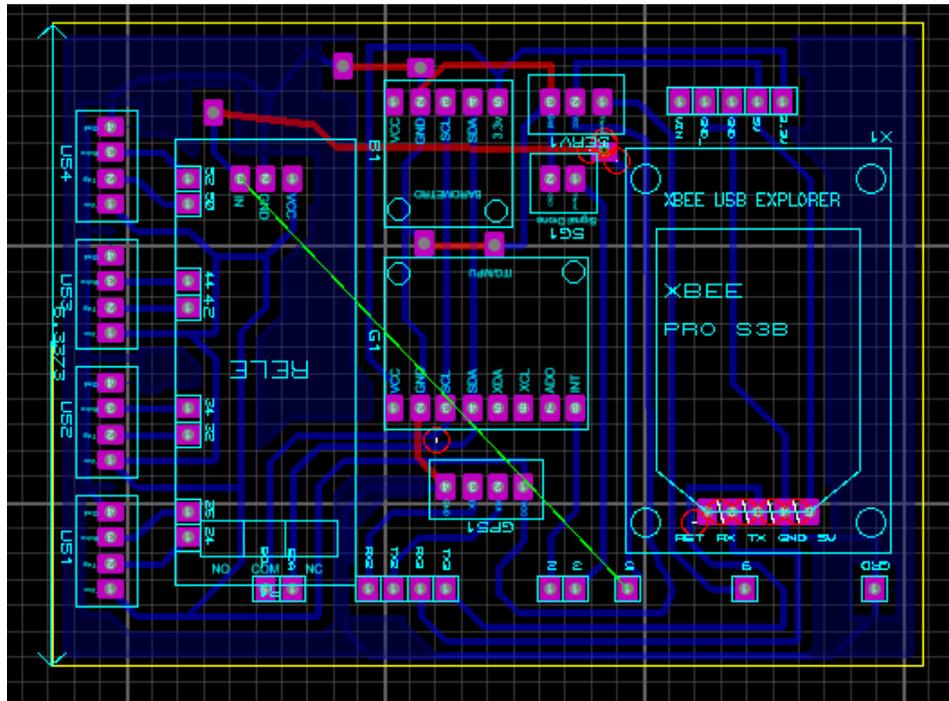
Anexo 8. Diagrama de conexión de los elementos electrónicos al Arduino Mega



Anexo 9. Diagrama de conexión de los elementos electrónicos al Arduino Uno



Anexo 10. Diagrama del circuito impreso para el circuito electrónico del Arduino Mega



Anexo 11. Diagrama del circuito impreso para el circuito electrónico del Arduino UNO

