DESARROLLO DE UN BRAZO ROBOTICO ADAPTADO A UN DRON PARA FINES DE MENSAJERIA

Andres Felipe Gomez Molina andresfgomezm12@hotmail.com

José Luis Bedoya Escobar, jolubees@hotmail.com

Dayson Hayed Gacha Santana, daysonhayed@hotmail.com

Trabajo de Grado presentado para optar al título de Tecnólogo en Mecatrónica Industrial

Asesor: Ing. Alberto José Echeverría Reina Magister en Energías renovables y eficiencia energética

Institución Universitaria Antonio José Camacho

Facultad de Ingenierías

Tecnología en Mecatrónica Industrial

Cali – Colombia

2019

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Institución Universitaria Antonio José Camacho para optar al título de Tecnólogo en mecatrónica industrial

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, Marzo de 2019

Agradecimientos

Nos encontramos en ese momento de la vida en donde estamos prontos a la culminación de esta etapa de nuestra vida, donde nos proyectamos una meta y ahora ese sueño está pronto a cumplirse, no fue un camino fácil, pero con perseverancia, esfuerzo y amor por lo que nos apasiona, que es nuestra carrera tecnológica, pudimos salir adelante.

Primeramente, darle gracias a Dios, por darnos la vida, guía y apoyo durante todos los días de nuestra carrera, y también a nuestros familiares que creyeron en nosotros, lo cual nos dio un amplio impulso a seguir adelante con ese apoyo incondicional. Darle gracias también al Ingeniero Alberto José Echeverría por darnos su guía en este proyecto y compartirnos de su conocimiento para retroalimentarnos, y por ultimo pero no menos importante, un enorme agradecimiento a la Institución Universitaria Antonio José Camacho por darnos la oportunidad de formar parte de su familia y crecer académica y profesionalmente.

Tabla de contenido

Resumen 9
Introducción 10
1. Planteamiento del problema 11
1.1. Formulación del problema 12
2. Justificación 13
3. Objetivos 14
3.1 Objetivo general 14
3.2 Objetivos específicos 14
4. Marco teórico 15
4.1 Mecanismo de brazo 15
4.1.1 Mecanismo de brazo: base principal u hombro 19
4.1.2 Mecanismo de brazo: soporte lateral tipo cercha 20
4.1.3 Mecanismo de brazo. Soporte-union codo-muñeca 21
4.2 Garra robotica con pinza 19
4.3 Servo motor: MG996R 20
4.4 Modulo GSM/GPRS 21
4.5 Batería Li-Ion 22
4.6 Drone DJI Phantom 4 Pro ® 23
5. Metodología ..... **Error! Bookmark not defined.**
6. Diseño del sistema de brazo robótico 27
6.1 Parte mecánica 27
6.1.1 Calculo fuerza drone 28
6.2 Parte electrónica 32
6.3 Diagrama de flujo 38
6.4 Sistema de control por medio de mensajes 41
7. Desarrollo del proyecto 45
8. Limitaciones y fallas del DJI Phantom 4 Pro ® 47
9. Pruebas 48

10. Resultados 52

10.1. Resultados de entrega……..53

11. Anexos……..57

12. Discusión..... 60

13. Sugerencias..... 62

14. Conclusiones..... 63

15. Referencias 64

Índice de tablas

Tabla 1 metodología..... **Error! Bookmark not defined.**1-22

Tabla 2 resultados carga y bateria……57

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Mecanismo de brazo .....**Error! Bookmark not defined.**5

Ilustración 2 Mecanismo base principal u hombro 206

Ilustración 3 Mecanismo soporte lateral o codo.....**Error! Bookmark not defined.**7

Ilustración 4 Pieza soporte union que acopla el codo con la muñeca 18

Ilustración 5 Garra robotica con pinza .....**Error! Bookmark not defined.**9

Ilustración 6 Servomotor.....**Error! Bookmark not defined.**0

Ilustración 7 Modulo GSM/GPRS.....**Error! Bookmark not defined.**1

Ilustración 8 Tipos de baterías Li_Ion 22

Ilustración 9 DJI® Phantom 4 Pro® 24

Ilustración 10 Diseño CAD brazo robótico 27

Ilustración 11 Servomotres MG996R .....**Error! Bookmark not defined.**29

Ilustracion 12 Helice……..29

Ilustracion 13 Diagrama de fuerzas de Drone……30

Ilustracion 14 Servomotores……32

Ilustración 15 Esquema electrónico del servomotor 33

Ilustración 16 Módulo GSM/GPRS SIM900 33

Ilustración 17 Diagrama Electrónico SIM900 34

Ilustración 18 Imagén Arduino UNO® 34

Ilustración 19 Diagrama Arduino UNO® 35

Ilustración 20 Diagrama electrónico de Arduino UNO® .....**Error! Bookmark not defined.**35

Ilustración 21 Batería Li-Ion 3500mAh 36

Ilustración 22 Conexión sistema Electrónico…….....36
Ilustración 23 Primera parte código de control……40
Ilustración 24 Segunda parte código de control……...41
Ilustración 25 Tercera parte código de control……42
Ilustración 26 Cuarta parte código de control……..43
Ilustración 27 Esquema electrónico de control y actuadores del brazo robótico……45
Ilustración 28 Brazo en posición de encendido……46
Ilustración 29 Brazo en posición de apagado……..46
Ilustración 30 Peso neto del brazo……..48
Ilustración 31 Prueba de pesaje de carga……48
Ilustración 32 Autonomía de operación del brazo……..49
Ilustración 33 Prueba de funcionamiento……50
Ilustración 34 Sistema de brazo con tijera……..51
Ilustración 35 Diseño final……..52
Ilustración 36 Vuelo del drone con carga……53
Ilustración 37 Trayectoria del drone……54
Ilustración 38 Entrega del paquete……..54
Ilustración 39 Drone volviendo al punto de partida……55
Ilustración 40 Punto de origen del drone……56
Ilustración 41 Medidas Base principal……57
Ilustración 42 Medidas muñeca……...58
Ilustración 43 Medidas unión soporte-lateral ……..…59

Resumen

La siguiente tesis se centra en un nuevo y creciente mercado que está impactando al mundo entero, cambiando la forma de verlo, el cual es el mercado de Drones. El desarrollo de este documento se enfoca exactamente en eso, en mostrarle a las personas, tanto los usuarios de drones, como aquellos que no están familiarizados la cantidad de aplicaciones que pueden tener dichos equipos. Basados en las distintas aplicaciones que pueden tener, específicamente se hizo énfasis en un sistema de mensajería en plantas grandes de producción industrial, como lo es un ingenio azucarero, en el cual la mensajería está a cargo de muy pocas personas, la cual debe recorrer grandes distancias de las instalaciones para entregar la correspondencia, en donde pueden existir días que dichas entregas no den abasto o no sean totalmente eficientes.

La propuesta es la construcción de un brazo mecánico capaz de ser controlado por medio de un mensaje de texto mediante un celular, acoplable a un Drone Phantom 4 Pro®, para uso de mensajería tanto de documentos como de paquetería, facilitando significativamente la forma en cómo se entrega la correspondencia, no solo por tierra, sino también por aire. Durante la investigación de este sistema y como aplicarlo, se encontró que existen empresas que tienen dicho sistema implementado, como Amazon, demostrando la eficiencia de este servicio innovador en empresas grandes.

De acuerdo a lo presentado anteriormente se plantea un diseño propio de brazo mecánico basado en un microcontrolador, una serie de servomotores y un sistema mecánico el cual brinda el movimiento deseado, tanto de apertura y cierre, como de extensión y retracción, basados en un sistema de tijera con garra y un módulo GSM/GPRS, controlado mediante mensajes de texto enviados desde un celular, logrando así un alcance optimo y aprovechando todas las especificaciones que el drone Phantom 4 Pro® posee, mejorando así la forma en como la correspondencia es entregada y vista en el sector industrial de la manera más eficiente y optima posible.

Introducción

Actualmente el mercado de tecnología está tomando un nuevo rumbo debido a la llegada de los drones, donde el consumo de estos y la cantidad de usuarios crece exponencialmente, pero lo que no se piensa mucho es en la cantidad de utilidades que se le pueden dar a estos dispositivos, estos pasaron de ser algo de ciencia ficción a ser una realidad, y debido a la alta demanda de los mismos, se van creando necesidades en base a las aplicaciones que se le den.

En base a la premisa anterior y a los análisis realizados por el grupo de trabajo sobre la cantidad de utilidades que se pueden obtener de estos dispositivos, se pensó y se planteó un aditivo , un dispositivo anexo que le permita darle la habilidad de poder tomar y soltar objetos según como lo quiera el operario, de ahí la idea del brazo mecánico, basado en un micro controlador que se encarga de procesar todas las solicitudes y enviar las ordenes a los motores que mueven el brazo, gracias a un módulo GSM/GPRS permite al brazo tener un alcance muchísimo más efectivo.

El diseño y construcción del brazo mecánico se basó en distintos funcionamientos aplicados en la industria, llegando así al sistema de tijera, el cual es el ideal para este tipo de implementaciones, el cual brinda la capacidad de estirarse hasta una gran longitud, y retraerse hasta su posición inicial, un sistema liviano y ergonómico de usar, utilizando también una tecnología de impresión 3D en donde a partir de un diseño CAD, se materializa en un resultado liviano y resistente.

A continuación en la siguiente tesis, se observara todo el recorrido y el desarrollo de dicho brazo siguiendo cada uno de los pasos para poder llegar el producto final y la implementación en un Drone.

1. Planteamiento del problema

En la actualidad el mercado de drones a nivel mundial ha crecido exponencialmente a manera de que cualquier persona puede adquirir uno de estos, pero fuera de poder volar y ser controlado por radio control, han sido pocos quienes han pensado más allá de su funcionamiento básico, ya que los drones pueden ser usados para diversas aplicaciones y así solucionar bastantes problemas que se creían difíciles de resolver.

Se observa que en diferentes países como por ejemplo Estados Unidos, los sistemas de regulación para el uso de drones es supremamente meticuloso, todo esto se debe al poco conocimiento que tienen de ellos, que solo los ven como un juguete lúdico y no lo ven con los ojos de la posibilidad de darle otros usos para resolver los problemas cotidianos, tal como lo es la entrega de correspondencia, ya sea a nivel rural, o a nivel de industria.

En la propia experiencia se observó que en un ingenio azucarero, la correspondencia está encargada de una sola persona que recorre toda la planta ya sea a pie o en un vehículo como bicicleta, lo cual puede resultar muy agotador para el encargado de hacer llegar los paquetes a los destinatarios, el objetivo de usar drones en el campo de la mensajería es para aligerar las cargas laborales y crear un sistema innovador de entrega y recolección de paquetería. En donde la misma persona que hace la correspondencia puede ser capacitado como piloto de drone para poder monitorearlos, y así hacer un sistema más eficiente que el propio convencional

1. Formulación del problema

¿Cómo mejorar significativamente las labores de mensajería y envío de correspondencia en el ámbito laboral?

¿Cómo sacar el máximo potencial a un drone para poder ser utilizado en otras labores fuera de las que ya tiene asignadas?

2. Justificación

En las empresas colombianas, más precisamente aquellas que poseen grandes instalaciones, por ejemplo los ingenios, en donde tienen un sistema y un área de correspondencia en donde una sola persona debe recorrer todas las instalaciones de la empresa para poder hacer llegar los documentos y/o paquetes a las demás áreas y edificios, es un trabajo de una sola persona en donde la eficiencia no es la más óptima debido al poco personal y por falta de un sistema de correspondencia más completo.

Teniendo en cuenta el problema expuesto anteriormente, se puede observar que existe una necesidad en las empresas, que deban contar con un equipo de correspondencia más eficiente y más rápido, como lo serían los drones de mensajería, lo cual brindaría un medio alterno en donde puedan emplear drones para mejorar el sistema de mensajería, llevando paquetes o correspondencia, desde el despacho del área de correspondencia hacia las diferentes áreas del ingenio.

3.Objetivos

3.1 Objetivo general

- Desarrollar un sistema de brazo mecánico operado mediante mensajes de texto provenientes de un celular, que pueda ser acoplado a un drone, para que brinde la opción de ser usado para labores de mensajería.

3.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar un brazo robótico con menor peso y mayor resistencia por medio de la impresión 3D.

2. Desarrollar un sistema de control por medio de mensajes enviados al módulo SIM900 para mejor alcance y efectividad a la hora de manipular el brazo.

4.Marco teórico

4.1 Mecanismo de brazo.

El mecanismo de brazo está basado en un sistema de 2 ejes imitando un hombro y un codo, el cual le permite más libertad a la hora de moverse, estos ejes están articulados por dos servomotores programados que le dan la libertad de movimiento, tanto como para extenderse a su máximo, como también para retraerse.

En la ilustración 1, se puede observar el archivo CAD del brazo en su fase final, donde se evidencia el sistema antes mencionado: hombro, brazo y muñeca, que en este caso sería el mecanismo de la garra o pinza robótica.

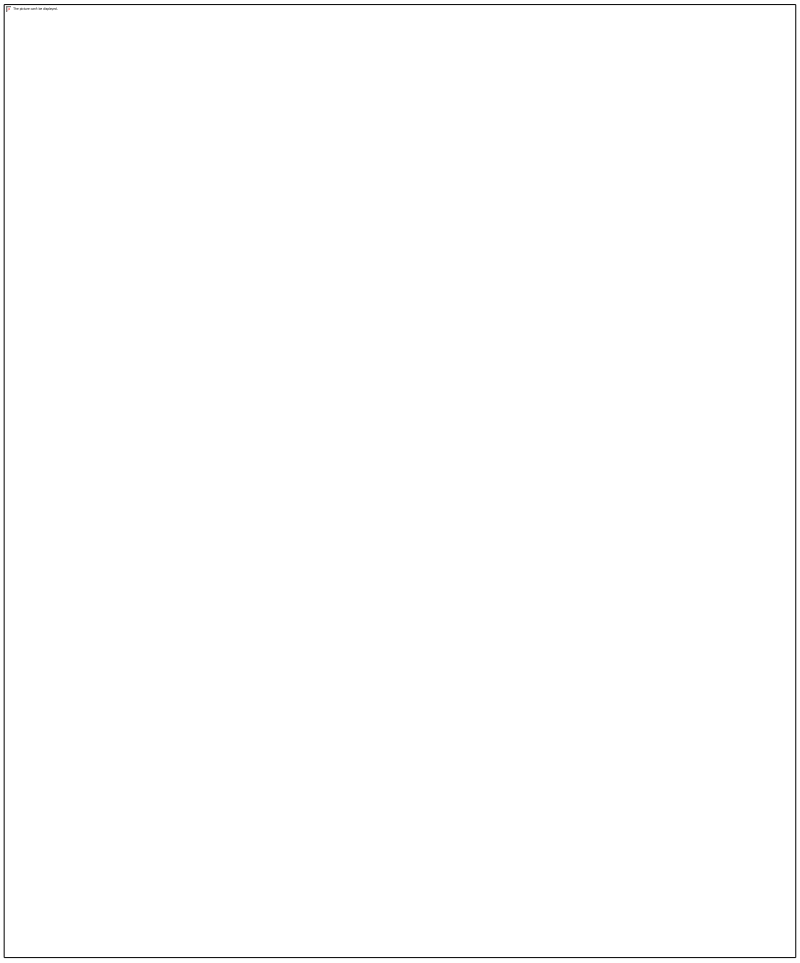


Ilustración 1. Mecanismo de brazo. Fuente: Solidworks

4.1.1 Mecanismo de brazo: base principal u hombro.

En la ilustración 2, se puede observar las medidas básicas del mecanismo de base u hombro, el cual es el soporte principal del drone y es el sistema donde va acoplado el primer servomotor que da movimiento al hombro.

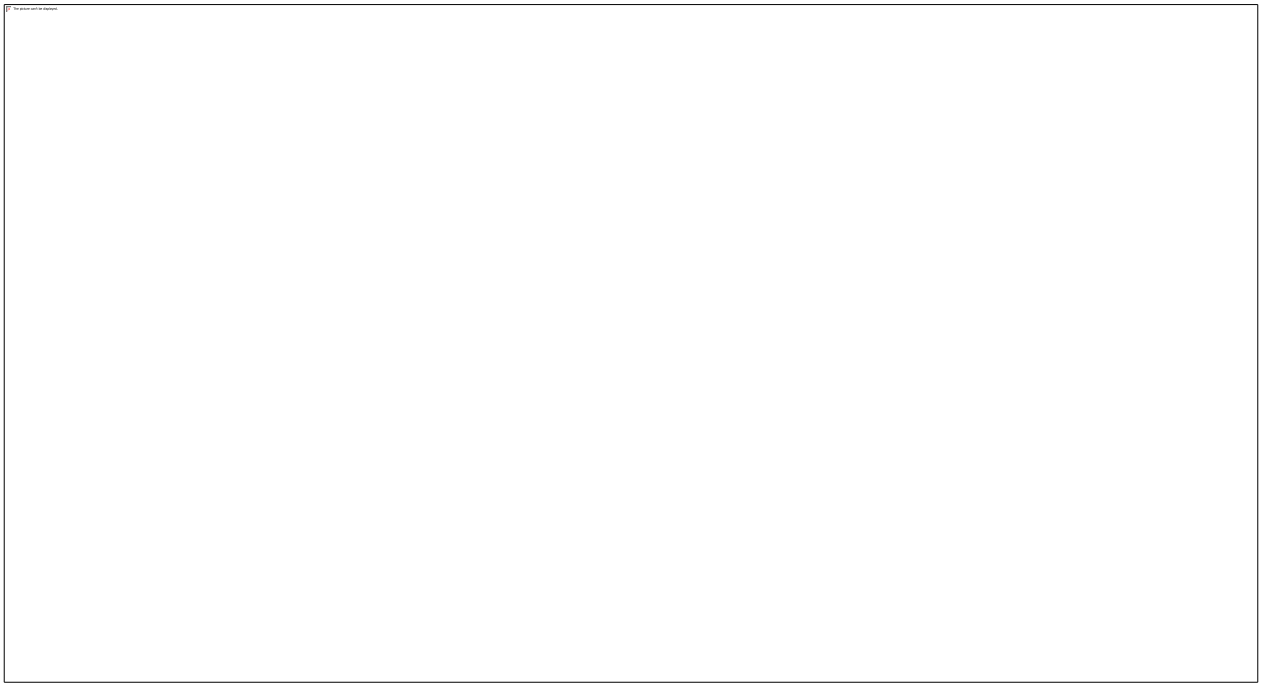


Ilustración 2. Mecanismo de base principal u hombro. Fuente: Solidworks.

4.1.2 Mecanismo de brazo: soporte lateral tipo cercha.

En la ilustración 3, se puede observar las dimensiones del lateral tipo cercha desde los cuatro puntos de vista diferente, viendo así las medidas en la parte superior izquierda.

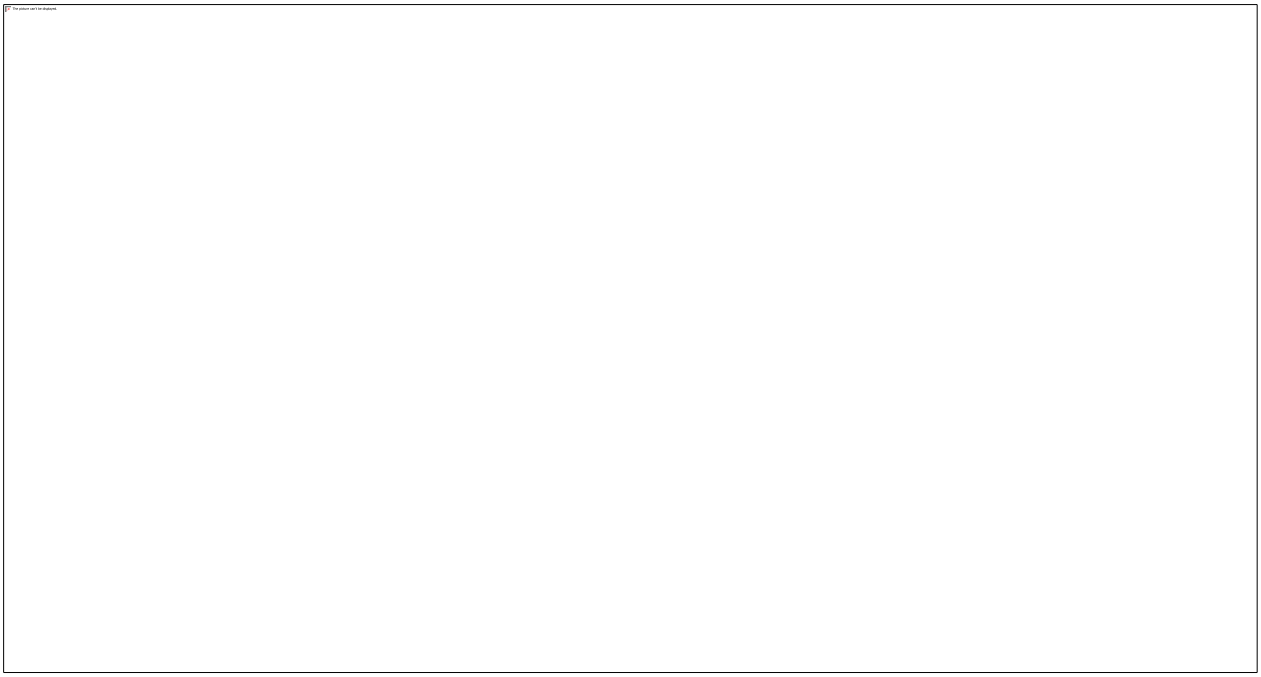


Ilustración 3. Mecanismo de soporte lateral o codo. Fuente: Solidworks.

4.1.3 Mecanismo de brazo: soporte-unión codo-muñeca.

En la ilustración 4, se puede observar las dimensiones en “cm” (centímetros), las cotas más relevantes de la pieza, además de su soporte para el servomotor MG996R.

Ilustración 4. Pieza soporte-unión que acopla el codo con la muñeca. Fuente: Solidworks.

4.2 Garra robótica con pinza

La garra robótica se puede diseñar para realizar cualquier tarea que se desee como puede ser soldar, sujetar, girar, etc., dependiendo de la aplicación. Por ejemplo, los brazos robóticos en las líneas de ensamblado de la industria automovilística realizan una variedad de tareas tales como soldar y colocar las distintas partes durante el ensamblaje. En algunas circunstancias, lo que se busca es una simulación de la mano humana, como en los robots usados en tareas de desactivación de explosivos y también drones para mensajería. (ciencias, 2013).

En este caso la garra con el sistema de movimiento de la misma, cuenta con las siguientes medidas: 4cm de ancho por 14cm de largo y con un grosor de aproximado de 1.5cm.

En la ilustración 5, se puede evidenciar la forma de la pinza y la posición para el MG996R. El método de transferencia de movimiento se realizó por medio de un mecanismo biela, que transforma el movimiento circular del motor en movimiento lineal, lo cual hace que la pinza abra y cierre dependiendo del giro del motor.

Ilustración 5. Garra robótica con pinza. Fuente: Solidworks

4.3 Servo motor: MG996R.

El servomotor es un dispositivo electromecánico que consiste en un motor eléctrico, un juego de engranes y una tarjeta de control, todo dentro de una carcasa de plástico. Un servo tiene la capacidad de ser controlado en posición. Es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación generalmente de 180º pero puede ser fácilmente modificado para tener un giro libre de 360º. Los servos se suelen utilizar en robótica, automática y modelismo (vehículos por radio-control, RC) debido a su gran precisión en el posicionamiento. (Mecafenix, 2017).

En la ilustración 6, se evidencia el tipo de servomotor a utilizar en este proyecto, que cuenta con un peso aproximado de 55g, un torque de 9,4 Kgf*cm (kilogramos fuerza por centímetros) a 4.8V a un consumo de 400mA-600mA con carga. Tipo de funcionamiento PWM.

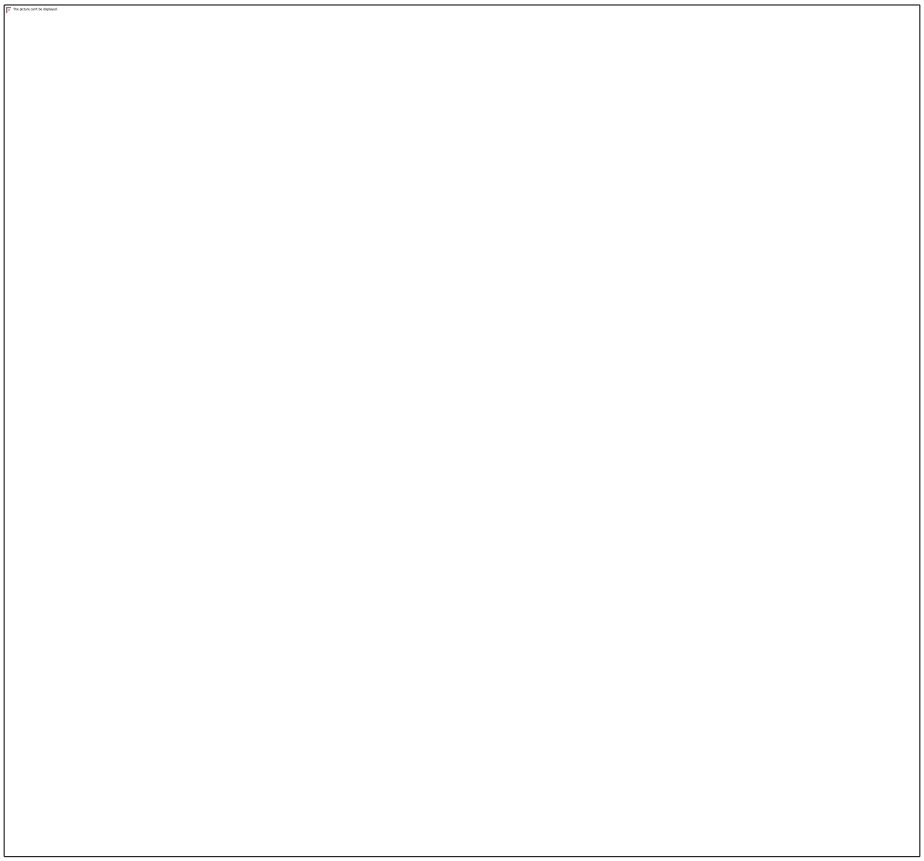


Ilustración 6. Servomotor. Fuente: Imágenes de Google

4.4 Modulo GSM/GPRS

EL **GSM** *(Global System for Global Communications*) es el sistema de comunicaciones que más se utiliza en teléfonos móviles y es un estándar en Europa. La primera funcionalidad de esta tecnología es la transmisión de voz, pero también permite la transmisión de datos (SMS, Internet), eso sí, a una velocidad muy baja de 9kb/s. (prometec, 2016)

El **GPRS** *(General Packet Radio Service)* es una extensión del GSM basada en la transmisión por paquetes que ofrece un servicio más eficiente para las comunicaciones de datos, especialmente en el caso del acceso a Internet. La velocidad máxima *(en teoría)* del GPRS es de 171kb/s, aunque en la práctica es bastante más pequeña. (prometec, 2016)

En la ilustración 7, se puede evidenciar como es el módulo SIM900, que es compatible con el Arduino UNO®, además puede ser controlado por medio de un microcontrolador, lo que es ideal para señales remotas, enviar mensajes de texto desde un dispositivo móvil y sistemas recursivos. El tipo de conexión es por medio de puerto serial, con un consumo de 1.5ª en modo de suspensión

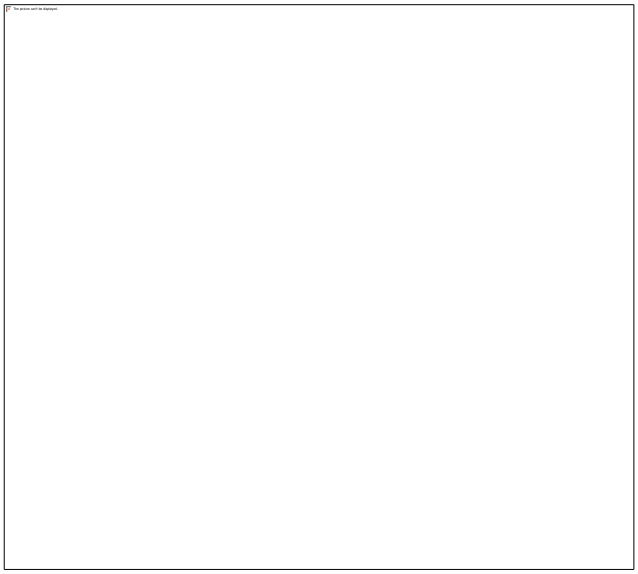


Ilustración 7. Módulo GSM/GPRS. Fuente: Imágenes de Google.

4.5 Batería Li-Ion

La batería de iones de litio, también denominada batería Li-Ion, es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito, una sal de litio que procura los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo. (Securamente, 2014)

Las propiedades de las baterías de Li-ion, como la ligereza de sus componentes, su elevada capacidad energética y resistencia a la descarga, la ausencia de efecto memoria o su capacidad para operar con un elevado número de ciclos de regeneración, han permitido el diseño de acumuladores livianos, de pequeño tamaño y variadas formas, con un alto rendimiento, especialmente adaptados para las aplicaciones de la industria electrónica de gran consumo. Desde la primera comercialización a principios de los años 1990 de un acumulador basado en la tecnología Li-ion, su uso se ha popularizado en aparatos como teléfonos móviles, agendas electrónicas, ordenadores portátiles y lectores de música. (Securamente, 2014)

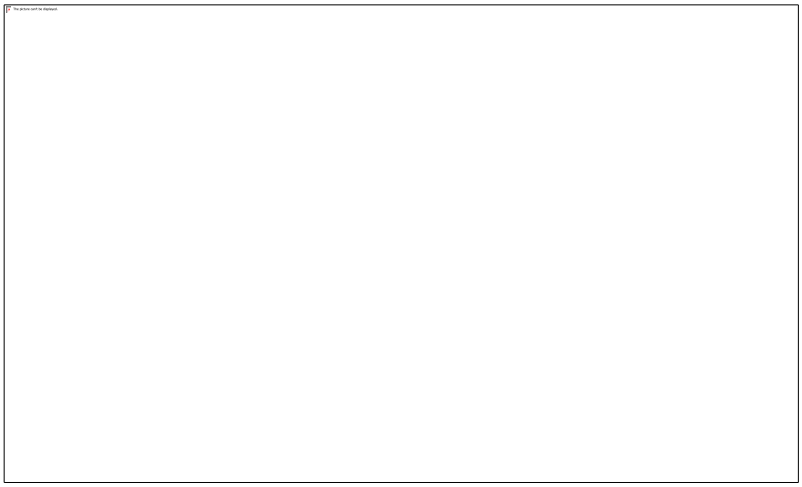


Ilustración 8. Batería Li-Ion. Fuente: Google.

4.6 Drone DJI Phantom 4 Pro ®

El DJI Phantom 4 Pro® es el dron con cámara más avanzado y nunca visto hasta el momento que te permite hacer fotos aéreas profesionales con tu dispositivo Apple® o Android®. No solo vuela de forma óptima, con un solo toque crea imágenes de seguimiento fácilmente y además, esquiva obstáculos de manera autónoma, entre otras funciones. (phantom, 2016)

Características Phantom 4 Pro®

Detecta y esquiva

Los dos sensores ópticos delanteros detectan los obstáculos y, si hay algo que se interponga en la trayectoria del Phantom, este se parará o volará en círculos para que el vuelo sea completamente seguro. (phantom, 2016)

Control de vuelo táctil

Toca la pantalla de tu Apple® o Android® en el modo TapFly para mover el dron en la dirección que quieras. Toca otros puntos de la pantalla para seguir controlándolo. (phantom, 2016)

Seguimiento visual

Ahora es más fácil que nunca volar y mantener la cámara fija hacia un objeto en movimiento. ActiveTrack se basa en funciones de seguimiento visual avanzadas para automatizar el proceso y conseguir que hagas siempre la foto perfecta. (phantom, 2016)

Fácil de pilotar

Hasta 24 satélites y sistemas de posicionamiento por visión diseñados para facilitar el vuelo. El Phantom 4 Pro® sabe dónde está y dónde te encuentras tú, y seguirá tus instrucciones para volar. (phantom, 2016)

Imágenes de calidad profesional

Graba vídeo 4K a 30 f/s, vídeo Full HD 1080p a 120 f/s para obtener imágenes nítidas a cámara lenta y haz fotos de 12 megapíxeles en DNG RAW para editarlas y sacar tu lado más creativo. (phantom, 2016)

Vuelos de larga duración

Su batería de gran capacidad y un diseño altamente eficiente proporcionan más de 28 minutos de vuelo sin el soporte para satélite. (phantom, 2016)

Control por app

Instala en tu Apple o Android la app gratuita DJI GO para disfrutar de imágenes en vídeo en directo, controles de cámara manuales completos y acceso a todas las funciones de vuelo inteligentes como Follow Me, TapFly y ActiveTrack. (phantom, 2016)

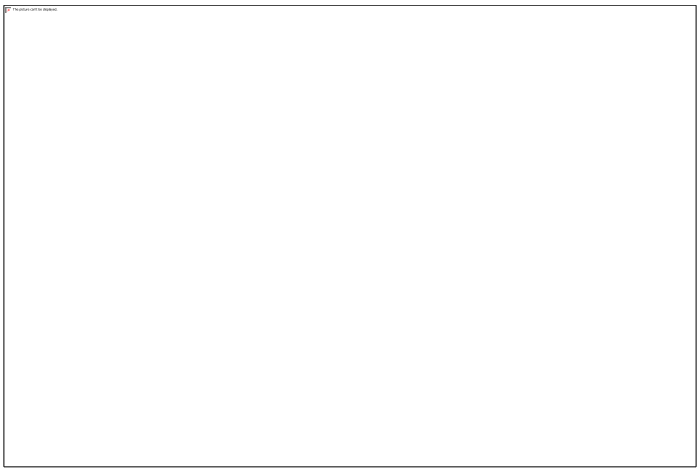


Ilustración 9. DJI® Phantom 4 Pro®. Fuente: Imágenes de Google.

5. Metodología

En este apartado se podrá visualizar a manera de tabla los distintos objetivos, acciones y resultados de cada una de las etapas de realización del proyecto.

OBJETIVOS	*ACCIONES*	*RESULTADOS*
Realizar el diseño CAD de brazo Robótico	*- Determinar las dimensiones del brazo robótico para acoplarlo al drone*	*- Mejor control del diseño y desarrollo de la estructura del brazo.*
	- Determinar y diseñar el brazo basado en el principio de brazo robótico.	*- Visualización previa del sistema para hacer correcciones pertinentes antes de elaborarlo.*
	- Determinar el tipo de material de impresora 3D que se utilizará para la estructura.	*- Decisiones correctas y acertadas para lograr un resultado óptimo.*
Unificar los componentes electrónicos para control de servomotores	*- Efectuar la conexión de los componentes y someterlos a varias pruebas.*	*- Dimensionado adecuado para la estética del brazo.*
	- Analizar las dimensiones del montaje y acoplarlo a la estructura.	*- Resultados óptimos en las pruebas que aseguran un correcto funcionamiento.*
Ensamblar la estructura junto con la parte electrónica para	*- Ajustes, pruebas y correcciones del proyecto terminado.*	*- Prototipo del sistema de brazo robótico controlado desde un*

realizar pruebas.	*teléfono celular funcional y operativo para labores de mensajería para ser aplicado al sector de la industria y plantas grandes.*

Tabla 1. Metodología

Basados en la tabla 1 se puede ver la división de cada una de las etapas de desarrollo para lograr el prototipo de brazo mecánico y todo lo que conlleva cada etapa, llevando el proyecto a someterse a distintas pruebas, correcciones y modificaciones que arrojo resultados positivos gracias a que se siguió un lineamiento ordenado para lograr un resultado óptimo.

6. Diseño del sistema de brazo robótico

Para llevar a cabo el proceso de desarrollo y desarrollo el sistema de brazo robótico para Drone, se dividió la estructura en 2 partes, la mecánica y la electrónica, en donde se observó la necesidad de describir ambas partes junto con los componentes utilizados en el proyecto.

6.1 Parte mecánica

Para la parte mecánica se recurrió previamente a la utilización de la herramienta de SolidWorks® para llevar a cabo el diseño y dimensionamiento de la estructura del brazo, para luego proceder a llevarlo a su impresión en 3D, llegando a este diseño final.

Medidas: 39CM de largo x 7,5 de ancho

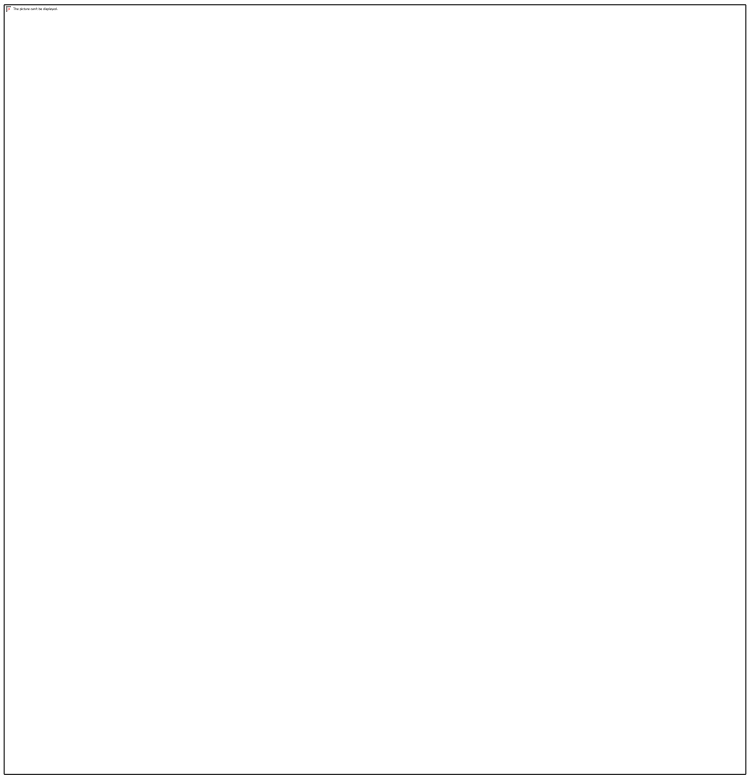


Ilustración 10. Diseño CAD brazo robótico. Fuente: Solidworks.

6.1.1 Calculo fuerza Drone

Como Cali se encuentra a 1018m sobre el nivel del mar entonces la densidad del aire es:

$$\rho_{(h)} = \rho_0 . \left(\frac{T_0 + \lambda . h}{T_0}\right)^{\left(\frac{-g}{R.\lambda} - 1\right)}$$

$$\rho_{(1012m)} = 1.225 \frac{Kg}{m^3} . \left(\frac{308K + (-6.5X10^{-3} K/_m \ X \ 1018m}{308K}\right)^{\left[\frac{-9.81 m/_{s^2}}{287 \frac{J}{Kg.K} X \ (-6.5.10^{-3} K/_m \ )} - 1\right]}$$

$$\boldsymbol{\rho_{(1012m)} = 1.11 \frac{Kg}{m^3}}$$

Por otra parte una aproximación para calcular el valor de la fuerza de empuje que efectúa cada hélice se muestra a continuación:

$$\boldsymbol{F_e = \dot{m} v}$$

$$\boldsymbol{\dot{m} = \rho . S . v}$$

Donde:

F_e: Fuerza de empuje (N)

$\dot{m}$: Flujo másico de aire desplazado (Kg/s)

S: Área transversal a la dirección del flujo de aire

v: Velocidad inducida al fluido (m/s)

ρ: Densidad del aire según en el lugar geográfico

Los anteriores datos se muestran gráficamente en diferentes vistas del drone:

Vista superior Drone. Diámetro hélice y área transversal de dirección flujo

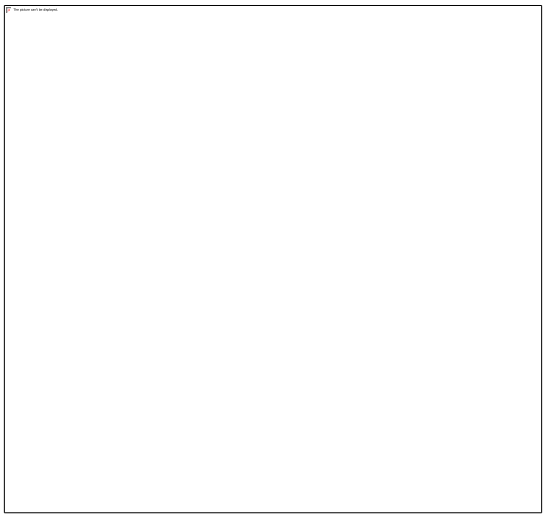


Ilustración 11. Vista superior Drone. Fuente: Propia

Perfil de flujo de una hélice

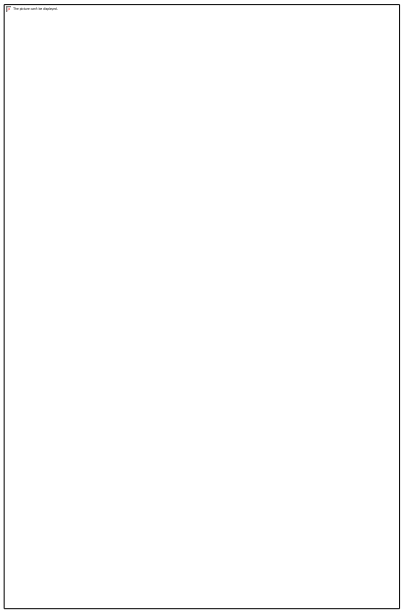


Ilustración 12. Hélice Fuente: Propia

Entre las especificaciones relevantes del drone que se extraen del manual se muestran las siguientes:

Peso del drone (incluida baterías y hélices): W = 1.388 kg x 9.81 m/s^2 → W=13.62N

Velocidad Modo s del drone: v =16.1m/s (es la misma que la velocidad inducida al fluido)

ϕ=0.24m (Diámetro hélice) por tanto el área de sección a la dirección de flujo de aire es **S=0.045m^2**

Fuente Manual: https://droneprix.es/dji/dji-phantom-4-pro-obsidiana-377.html

Calculando el flujo másico de una sola hélice

$$\dot{m} = 1.11\frac{Kg}{m^3}.0.045m^2.16.1\frac{m}{s}$$

$$\boldsymbol{\dot{m} = 0.8\frac{Kg}{s}}$$

Calculando la fuerza de empuje de una sola hélice

$$F_e = (0.8\frac{Kg}{s}).(16.1\frac{m}{s})$$

$$\boldsymbol{F_e = 12.88N}$$

Debido a que los motores no pueden funcionar con su potencia máxima de manera continua, es necesario aplicar un factor de seguridad. Este factor es conocido como la relación empuje/peso. Para que el motor trabaje aproximadamente al 50% de su potencia máxima es necesario tener una relación empuje/peso de 2. De lo cual se deduce que la máxima fuerza de empuje que aportaría una hélice sería de $\boldsymbol{\frac{Fe}{2} = 6.44N}$

Realizando el diagrama de cuerpo libre al drone se tiene el siguiente análisis:

Diagrama de fuerzas del drone

Ilustración 13. Diagrama de fuerzas de Drone Fuente: Propia

Aplicado un criterio estático se puede determinar W como el peso máximo que la fuerza de empuje que proporciona cada motor puede llegar a cargar

$$4F_e - W_{max} = 0$$

$$W_{max} = 4F_e \rightarrow W_{max} = 4(6.44N) \rightarrow \boldsymbol{W_{max} = 25.76N}$$

Repartiendo estos 25.76N como la suma entre el peso del drone y un peso adicional que en este caso se trataría del brazo robótico y sus componentes se tiene lo siguiente:

$$W_{max} = W_{Drone} + W_{Brazo}$$

$$25.76N = 13.62N + W_{Brazo}$$

$$W_{Brazo} = 25.76N - 13.62N$$

$$\boldsymbol{W_{Brazo} = 12.14N}$$

Esto significa que la masa máxima del brazo y sus componentes que el drone puede levantar es:

$$m_{Brazo} = \frac{W_{Brazo}}{g} \rightarrow m_{Brazo} = \frac{12.14N}{9.8m/s^2}$$

$$\boldsymbol{m_{Brazo} = 1.23Kg}$$

6.2 Parte electrónica

Para la parte electrónica se recurrió a la siguiente lista de materiales que son:

3. Arduino Uno® como modulo central, ubicado en la parte superior del brazo, encargado de dar las órdenes a los motores a partir de la información dada por el SIM900
4. Módulo GSM/GPRS SIM900 ubicado sobre el módulo central encargado de recibir mensajes
5. 3 servomotores, que se encargan de mover el sistema del brazo que son el codo, el hombro y la garra
6. 1 batería Li-Ion de 3500mAh
7. Cableado
8. 2 juegos de rodamientos que se encargan de ayudar a los motores a mover el brazo, ubicadas en el hombro y el codo.

Los cuales se pueden observar en las siguientes ilustraciones:

Ilustración 14. Servomotores MG996R. Fuente propia.

Ilustración 15. Esquema electrónico del servomotor. Fuente librería de EasyEDA

Ilustración 16. Módulo GSM/GPRS SIM900. Sobre Arduino Uno®. Fuente propia

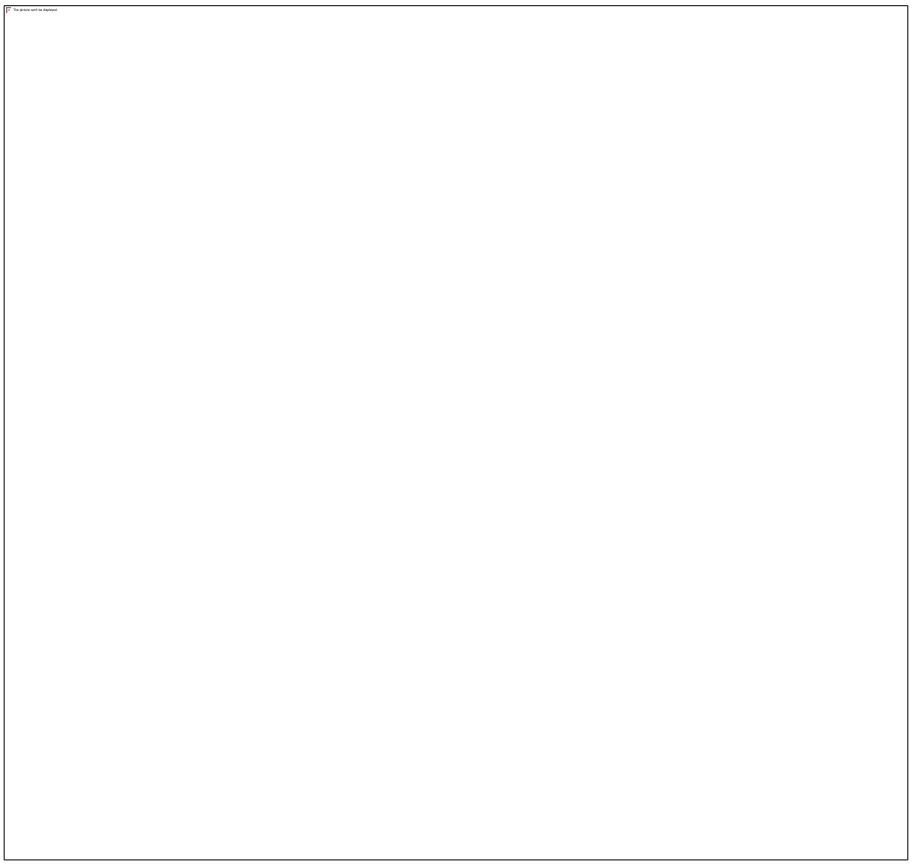


Ilustración 17. Diagrama Electrónico Sim900. Fuente:

ftp://imall.iteadstudio.com/IM120417009_IComSat/DOC_SIM900_Hardware%20Design_V2.00.pdf

Ilustración 18. Imagen Arduino Uno. Fuente: Propia

Ilustración 19. Diagrama Arduino Uno®. Fuente:

https://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/1522237550_arduino%20uno%20r3.pdf

Ilustración 20. Diagrama electrónico de Arduino Uno® Fuente: librería EasyEDA

Ilustración 21. Batería Li-Ion de 3500mAh. Que brinda una autonomía de operación o funcionamiento de 20 a 30 min. Fuente propia.

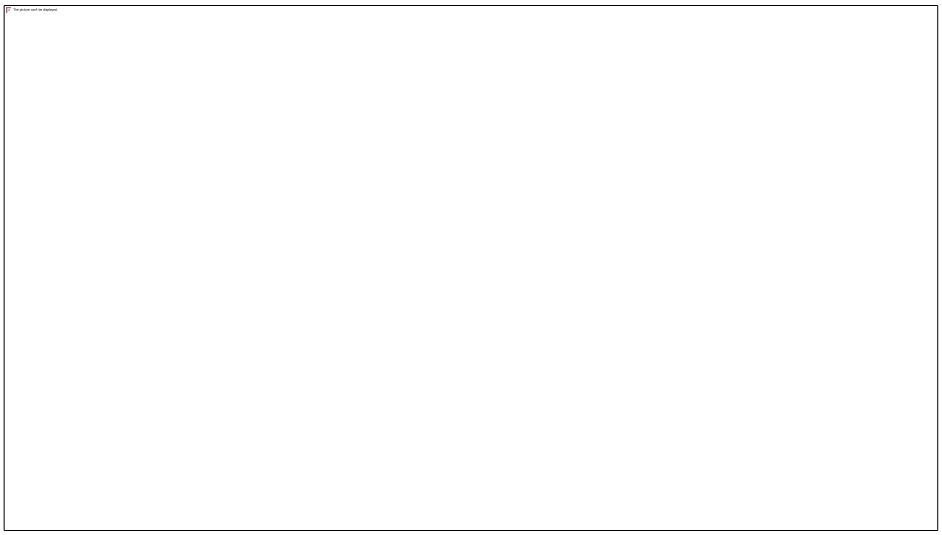
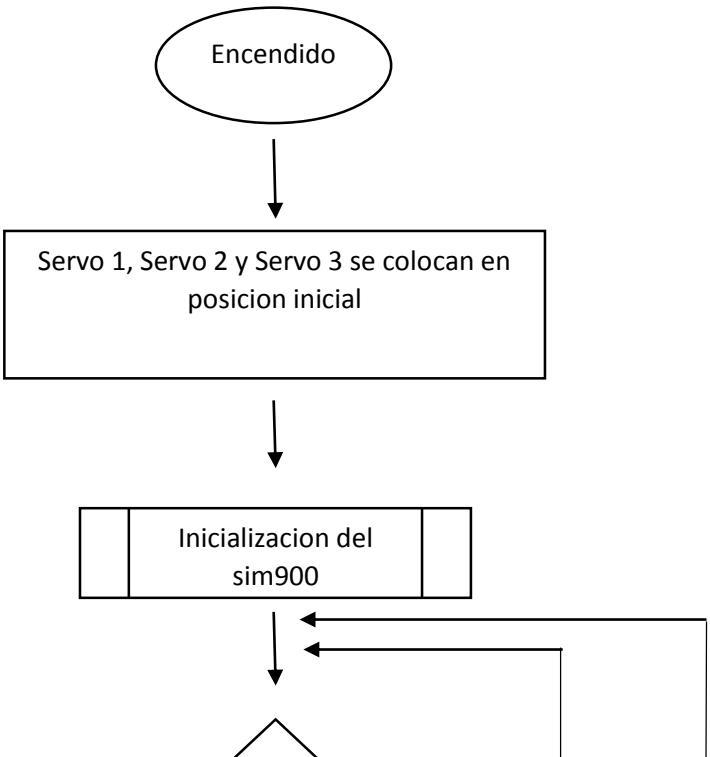
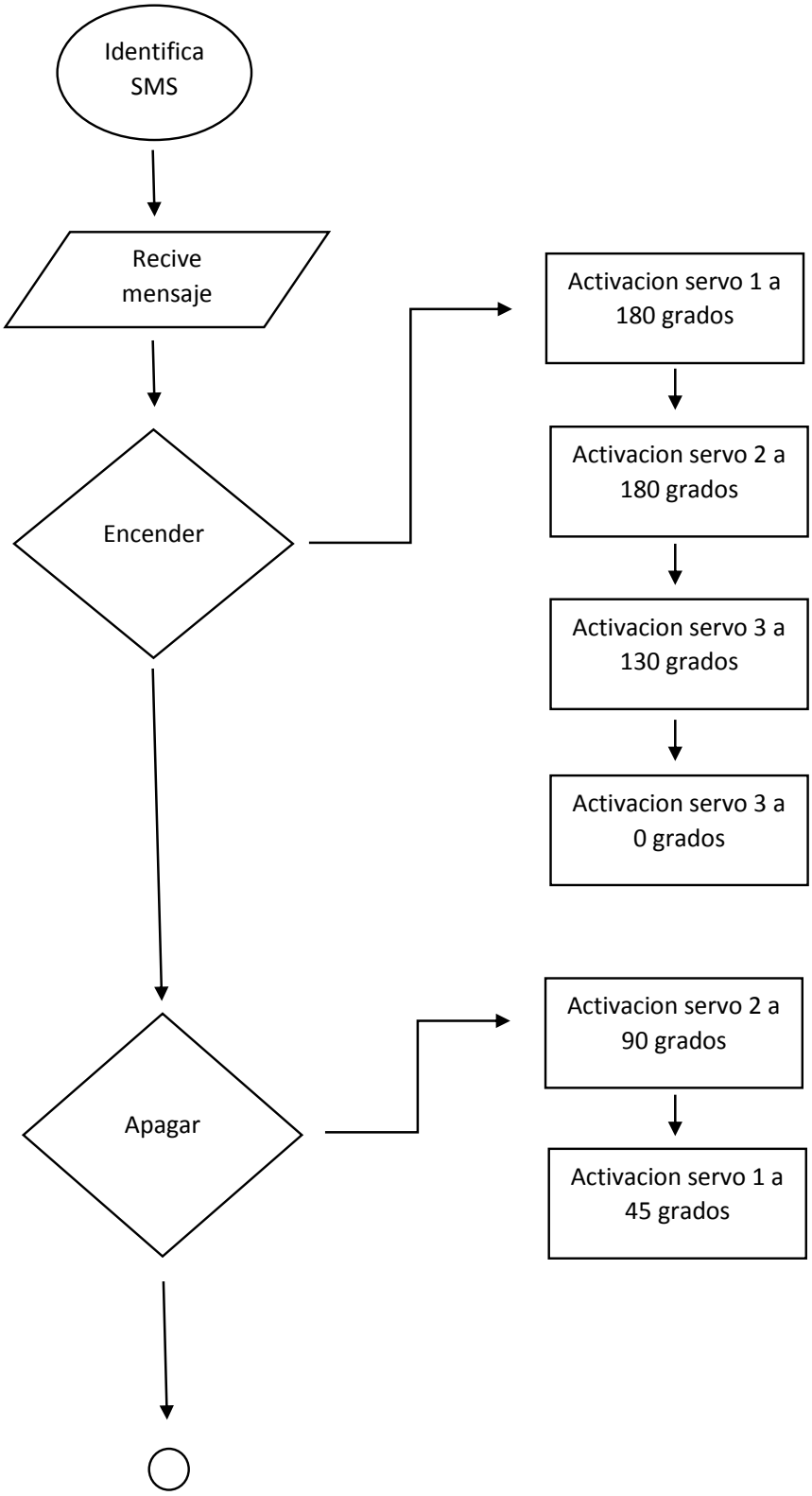


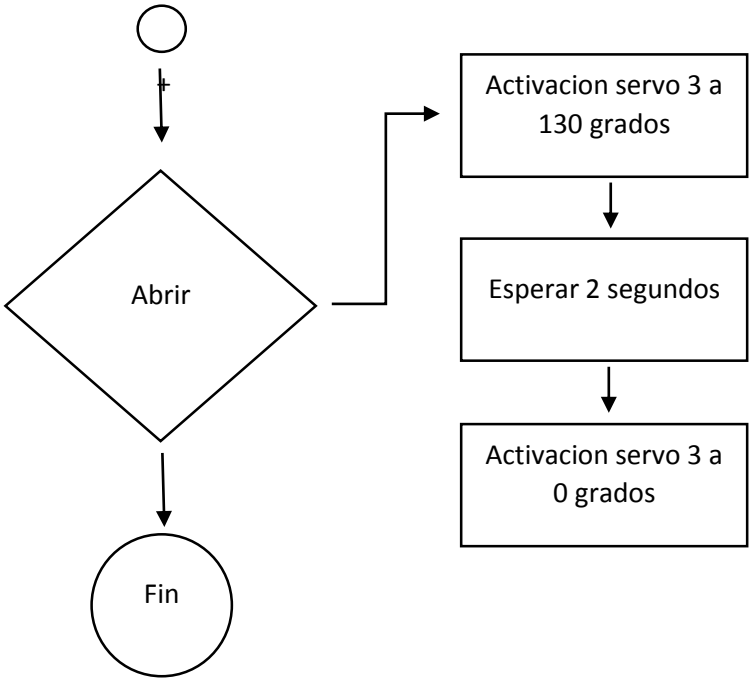
Ilustración 22. Conexión completa del sistema electrónico. Fuente propia.

6.3 Diagrama de flujo



Identifica SM




Abrir
Activacion servo 3 a 130 grados
Esperar 2 segundos
Activacion servo 3 a 0 grados
Fin

6.4 Sistema de control por medio de mensajes

El sistema de control se hace por medio de mensajes configurados para que por medio de un único texto pueda hacer una acción programada en el arduino, este mensaje es enviado por medio de un celular vía mensaje de texto y recibido por el sim900 acoplado al drone donde por medio de los pines 7 y 8 como Transmisor y Receptor los envía al Arduino Uno donde lee el mensaje de texto y lo compara con los comandos programados, en caso de una coincidencia se efectúa la acción correspondiente.

Este sistema no cuenta con sensores de proximidad, lo cual hace que no sea un proceso cien por ciento autónomo, puesto que el usuario tiene que calcular la distancia por medio de la cámara incorporada del drone para poder entregar el paquete o correspondencia al cliente.

Harpia_VII

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>

Servo ser1;
Servo ser2;
Servo ser3;

SoftwareSerial SIM900(7,8); // Configura el puerto serie para el SIM900

char incoming_char = 0; //Variable que guarda los caracteres que envia el SIM900
String mensaje = "";

void setup()
{
ser1.attach(9) ; // configuracion Sevomotor
ser2.attach(10) ; // configuracion Sevomotor
ser3.attach(11) ; // configuracion Sevomotor
ser1.write(83);
ser2.write(83);
ser3.write(0);

inicializaSIM900();
}

void loop()
{
  if (SIM900.available() > 0)
  {
    incoming_char = SIM900.read(); //Guardamos el carácter del GPRS
    Serial.print(incoming_char); //Mostramos el carácter en el monitor serie
    mensaje = mensaje + incoming_char ; // Añadimos el carácter leído al mensaje
  }
identifica_SMS();
}
```

Ilustración 23. Primera parte código de control. Fuente: Propia

En la primera parte se configuran los servomotores en este caso 3 dándoles los nombres de ser1, ser2, y ser3; se configura los pines de la comunicación del SIM900 con el arduino con los pines 7 y 8, se borran las variables que pueda tener el arduino de mensajes anteriores y en el void setup se configuran los pines de los servos al igual que su posición inicial.

Harpia_VII

```
inicializaSIM900();
}

void loop()
{
  if (SIM900.available() > 0)
  {
    incoming_char = SIM900.read(); //Guardamos el carácter del GPRS
    Serial.print(incoming_char); //Mostramos el carácter en el monitor serie
    mensaje = mensaje + incoming_char ; // Añadimos el carácter leído al mensaje
  }
identifica_SMS();
}


void inicializaSIM900()
{
  //digitalWrite(9, HIGH);   // Descomentar para activar la alimentación de la tarjeta por Software
  //delay(1000);
  //digitalWrite(9, LOW);
  delay (5000);
  SIM900.begin(19200); //Configura velocidad del puerto serie para el SIM900
  Serial.begin(19200); //Configura velocidad del puerto serie del Arduino
  Serial.println("OK");
  delay (1000);
  SIM900.println("AT + CPIN = \"1234\""); //Comando AT para introducir el PIN de la tarjeta
  delay(25000); //Tiempo para que encuentre una RED
  Serial.println("PIN OK");
  SIM900.print("AT+CLIP=1\r"); // Activa la identificación de llamada
  delay(100);
  SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); //Configura el modo texto para enviar o recibir mensajes
  delay(1000);
  SIM900.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r"); // Saca el contenido del SMS por el puerto serie del GPRS
  delay(1000);
}
```

Ilustración 24. Segunda parte código de control. Fuente: Propia

A continuación, se procede a inicializar la configuración del SIM900 esto para que pueda buscar y encontrar la red telefónica del operador de la tarjeta sim y se activan las diferentes configuraciones para el modo de mensajes de texto y desbloqueo de la tarjeta sim card en caso de que esta tenga PIN.

Harpia_VII

```
void identifica_SMS()
{
  int led_on = mensaje.indexOf("Encender");
  int led_off = mensaje.indexOf("Apagar");
  int led_ok = mensaje.indexOf("Abrir");
  if (led_on >= 0)
  {
        ser1.write(83);
        delay(1000);
        ser1.write(100);
        delay(400);
        ser1.write(83);
        delay(1000);
        ser2.write(100);
        delay(700);
        ser2.write(83);
        delay(1000);
        ser3.write(130);
        delay(1000);
        ser3.write(20);
        delay(1000);


        Serial.println("\nLED ENCENDIDO");
        mensaje = "" ; //Bórralo para la próxima vez
  }
```

Ilustración 25. Tercera parte código de control. Fuente Propia.

Por último, se programa la configuración para la identificación de mensajes de texto en este caso 3 tipos de mensajes para 3 tipos de acciones:

La primera acción el mensaje con la palabra Encender activa el comando led_on que permite al brazo bajar hasta un punto determinado y abrir y cerrar la garra para agarrar objetos.

```
if (led_off >= 0)
{

      ser2.write(50);
      delay(600);
      ser2.write(83);
      delay(1000);
      ser1.write(83);
      delay(1000);
      ser1.write(50);
      delay(300);
      ser1.write(83);
      delay(1000);


      Serial.println("\nLED APAGADO");
      mensaje = "" ; //Bórralo para la próxima vez
}
if (led_ok >=0)
{
  ser3.write(130);
  delay(2000);
  ser3.write(20);
  delay(1000);

  Serial.print("\nLED OK");
  mensaje = "" ; //Bórralo para la próxima vez

}

}
```

Ilustración 26. Cuarta parte código de control. Fuente: Propia

La configuración led_off se activa con el mensaje de texto con la palabra Apagar haciendo que el brazo vuelva a su posición inicial de reposo, pero sin abrir la garra permitiendo llevar el objeto de forma recogida, y la última configuración led_ok se activa con el mensaje de texto con la palabra Abrir permitiendo que la garra abra la pinza y suelte el objeto.

7. Desarrollo del proyecto

Para lograr el desarrollo del proyecto, se recurrió a la lectura de varios documentos relacionados tanto como de los drones, también acerca del sistema de tijera, las baterías de ion de litio, todo esto para lograr una buena documentación previa para poder llevar a cabo un producto con las mejores especificaciones posibles.

Para el desarrollo de la parte electrónica se recurrió al programa de Arduino® para llevar a cabo el código que será aquel que ejecute todo el funcionamiento, procesamiento y operación al recibir las solicitudes por mensaje de texto desde un celular, el Arduino® se encarga de recibir instrucciones para luego enviar comandos de funcionamiento a los dos servomotores, los cuales se encargan de realizar los movimientos.

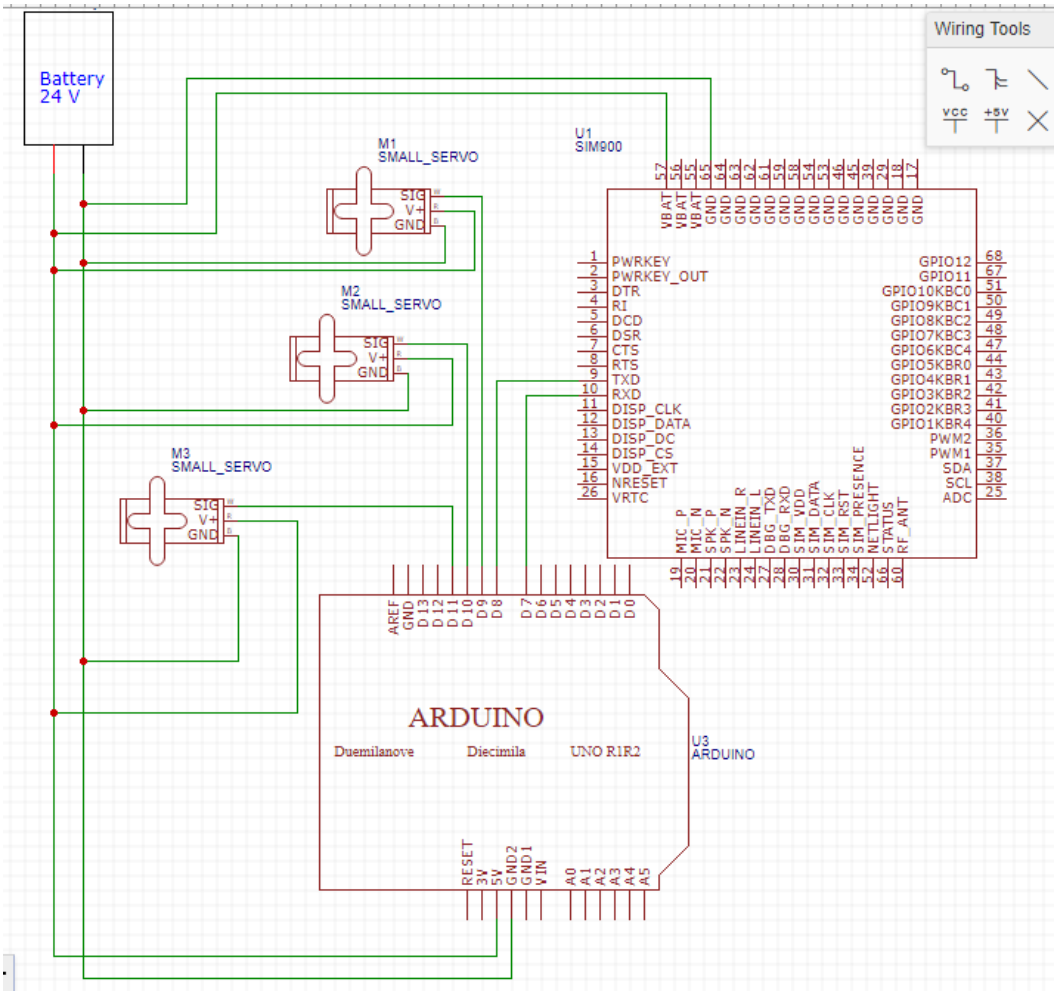


Ilustración 27. Esquema electrónico de control y actuadores en el sistema del brazo robótico. Fuente: Propia Hecho en EasyEDA.

Aprovechando al máximo también las especificaciones que brinda el propio Drone Phantom 4 pro®, se podrá tener visualización en tiempo real gracias a su cámara integrada y así poder monitorear todo el trabajo del brazo robótico así este a una gran distancia del piloto, logrando así un sistema confiable y con un excelente alcance.

8. Limitaciones y fallas del drone.

El drone DJI Phantom 4 Pro®, sin peso adicional del brazo robótico y la carga extra tiene un peso de 1380 gramos, con una velocidad máxima de 72Km/h.

El brazo robótico tiene un peso de 530 gramos en el cual está incluido el Arduino UNO®, el SIM900, la batería de 1100 mAh y sus motores correspondientes (ilustración 27). Su estructura hecha en impresión 3D logra dar un soporte máximo para cargas inferiores a las 3 libras (ilustración 28); pero la función de este drone no es arrastras cargas, se limitó a levantar peso que no supere los 400 gramos, con el fin de optimizar la autonomía de vuelo del drone.

Este DJI Phantom 4 Pro® alcanza una altura de 500 metros a nivel del mar, pero se limitó a una altura máxima de 40 metros para no afectar el vuelo del drone con la carga extra, además por cuestiones de seguridad de vuelo de avionetas pequeñas.

Hay dos tipos de fallas en el ensamble del drone al brazo robótico:

1. Sujeción del primer cojinete con la pieza lateral, la solución dada a este problema fue ensamblar un tornillo de 3mm de diámetro para que sujetara ambas piezas para poder cumplir con la función de no dejar salir la pieza.
2. Adaptar a la pinza mecánica una almohadilla, con el fin de que el agarre sea más efectivo y adherirse a los objetos con mayor facilidad.
3. El brazo y el dron deben de ser supervisados.

9. Pruebas.

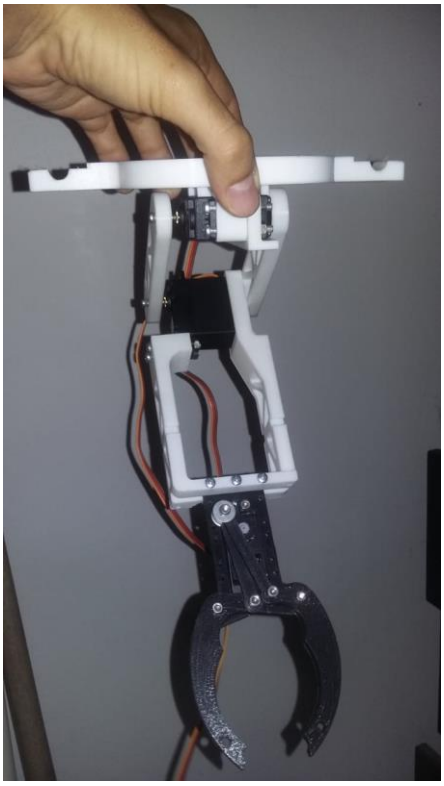


Ilustración 28. Brazo en posición de operación o Encendido. Primer comando asignado como Encender

Ilustración 29. Brazo en posición de recogido o Apagar. Comando asignado como Apagar

Ilustración 30. Peso neto del brazo 695 gramos

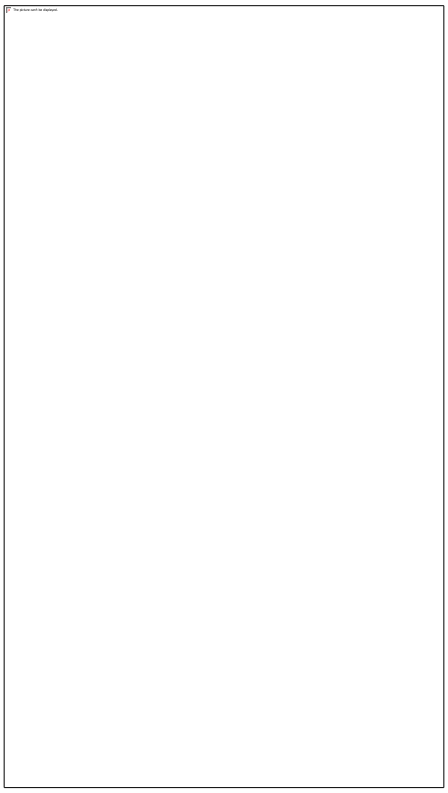


Ilustración 31. Prueba de pesaje de carga 3Lb o 1,3 Kilos.

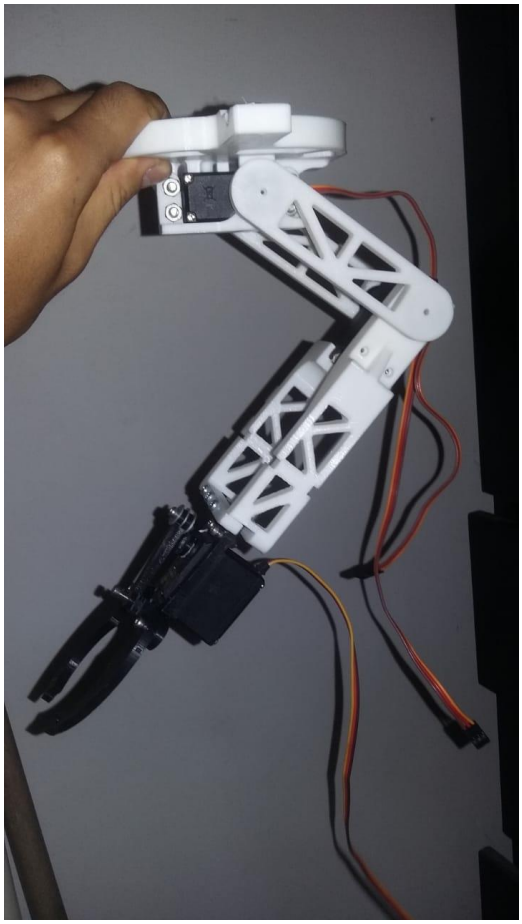


Ilustración 32. Autonomía de operación del brazo o funcionamiento.

AUTONOMIA: se calcula una autonomía de vuelo de 15-20 minutos aproximadamente, todo depende de las condiciones de vuelo, en donde influyen el viento, la altitud y peso que cargue el drone por medio del brazo mecánico y la distancia a recorrer.

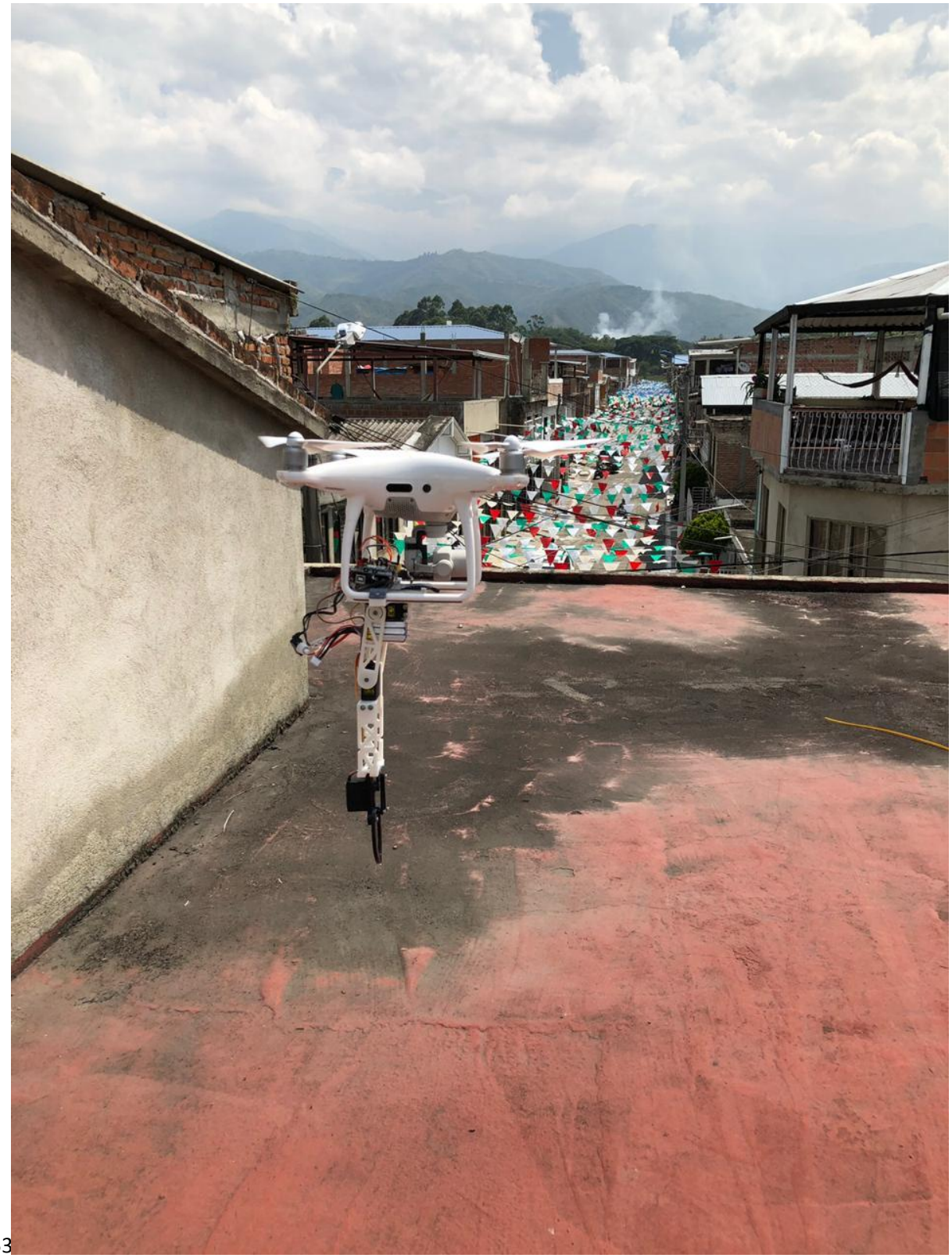
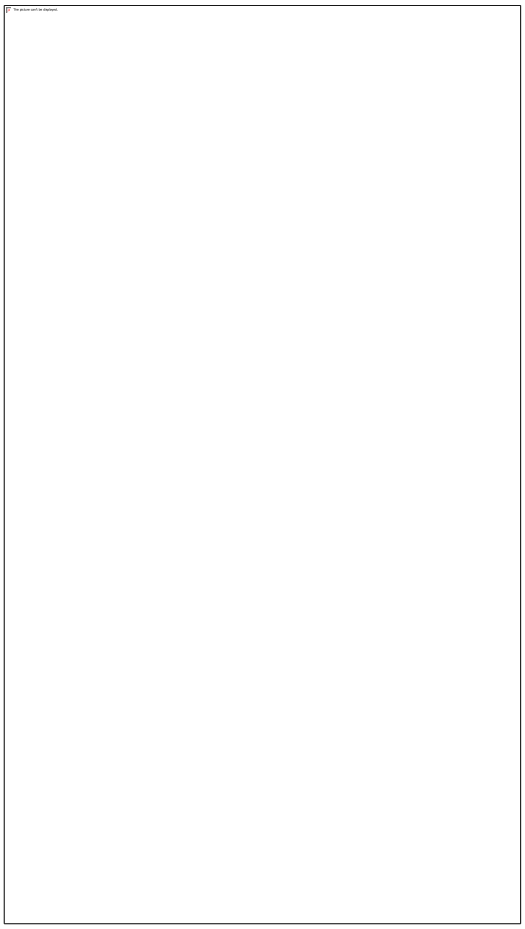


Ilustración 33. Prueba de funcionamiento. Fuente: Propia

EVIDENCIA SISTEMA DE BRAZO ROBOTICO VS MECANISMO DE TIJERA.

En la ilustración 18, se puede evidenciar la gran diferencia del mecanismo de tijera vs el mecanismo de brazo robótico. Se optó por cambiar el mecanismo de tijera al sistema de brazo robótico por la razón de movimiento, puesto que el brazo robótico tiene más rango de movilidad vertical que el mecanismo de tijera.



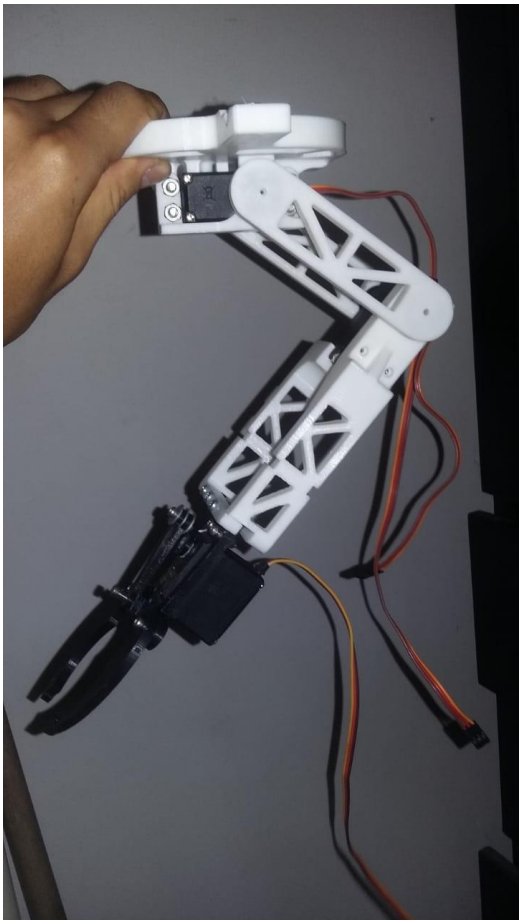


Ilustración 34. Sistema anterior de brazo con tijera.

1. Resultados

Basados en la premisa de la necesidad que tienen las grandes empresas para hacer llegar la correspondencia a los distintos sectores dentro de la planta de la industria, se crea la necesidad de mejorar el sistema de correspondencia y presentar la idea de utilizar Drones para ejecutar esta misma.

La estructura conseguida luego de cumplir con cada etapa del proyecto cumple con dichas propuestas y expectativas, ofreciendo un sistema fácil de montar y desmontar en el drone, también fácil de operar y entender, lo cual satisface aquella necesidad de crear un sistema de correspondencia innovador y eficiente para las grandes empresas del sector industrial.

Ilustración 35. Diseño Final. Fuente: Propia

10.1 Resultados de entrega.

Luego de realizar algunos simulacros de una persona recibiendo el paquete, se evidencio por medio de un video y de las siguientes imágenes.

En la ilustración 33, se realizó una simulación una de funcionamiento del drone con un paquete, el cual da a entender que una persona solicito el servicio de entrega de mercancía.

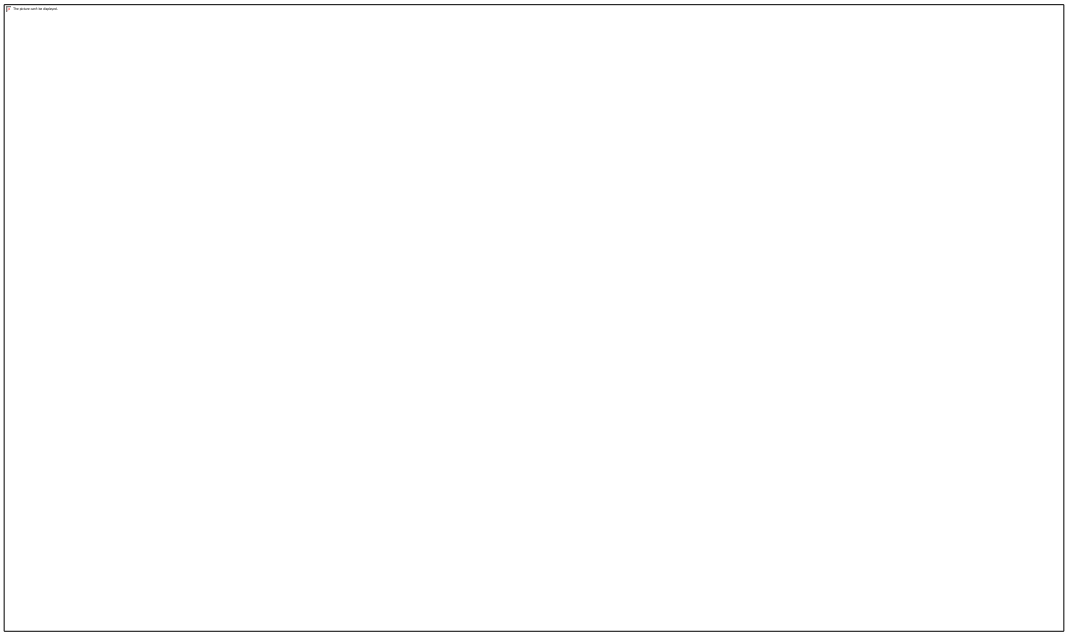


Ilustración 36. Vuelo del drone con carga. Fuente propia.

En la ilustración 36, se puede observar el recorrido del drone con la carga requerida hacia su destino.

Ilustración 37. Trayectoria del drone. Fuente propia.

En la ilustración 38, se evidencia la persona que recibe el paquete, en este caso fue recibido en las manos de las personas, se puede dar el caso que el paquete quede en algún tipo de mesa o cosas por el estilo.

Ilustración 38. Entrega del paquete. Fuente propia.

En la ilustración 39, se puede observar cuando el drone entrega el paquete y se retira de la zona para volver a su lugar de partida.

Ilustración 39. Drone volviendo al punto de partida. Fuente propia.

En la ilustración 40, se observa que el drone ya ha hecho todo su recorrido, desde el punto de partida, vuelo con carga, entrega del paquete y llegada del mismo hasta su punto de origen.

Ilustración 40. Punto de origen del drone. Fuente propia.

Tabla resultados pruebas de carga y duración de batería

Peso de la carga (gramos)	Duración de batería del drone (min)	Duración de la batería del brazo (min)
100	13,3	15,0
200	12,2	13,3
300	11,7	12,5
400	10,7	11,4

Tabla 2. Resultados de carga y batería

2. Anexos.

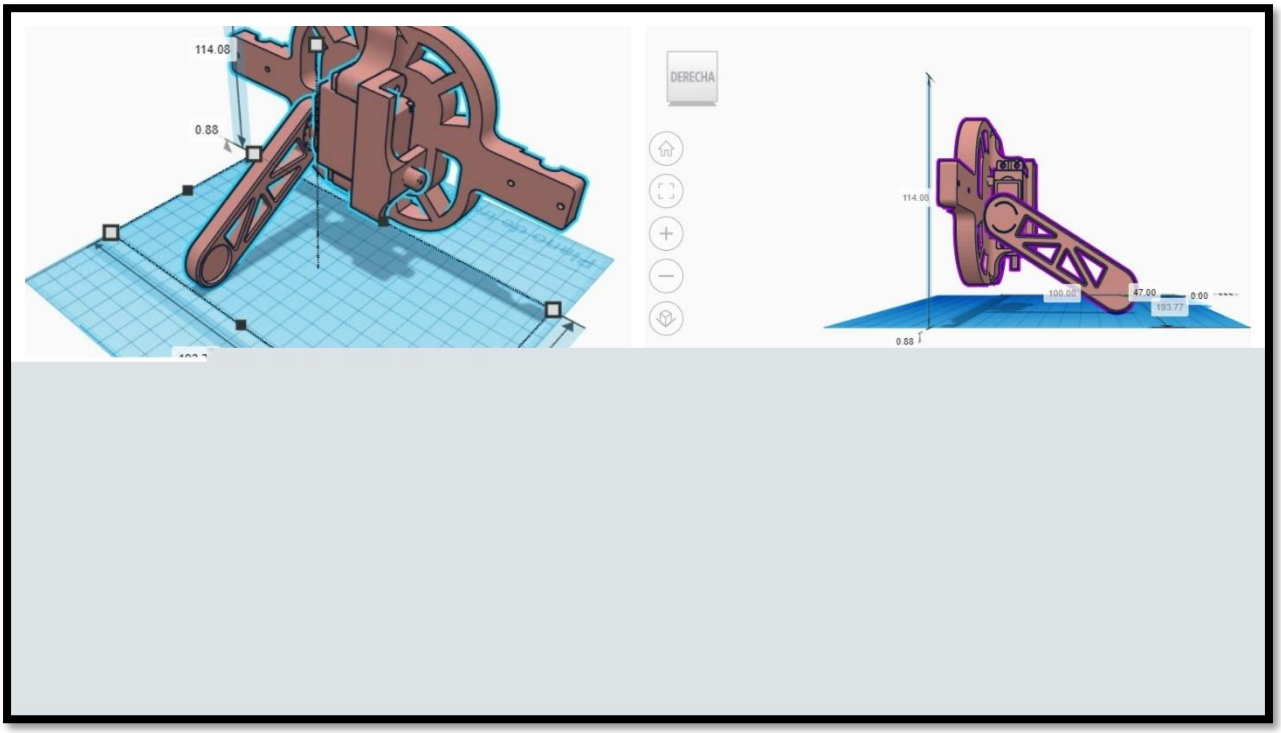


Ilustración 41. Medidas Base principal. Fuente: Tinkercad.

Ilustración 42. Medidas muñeca. Fuente: Tinkercad.

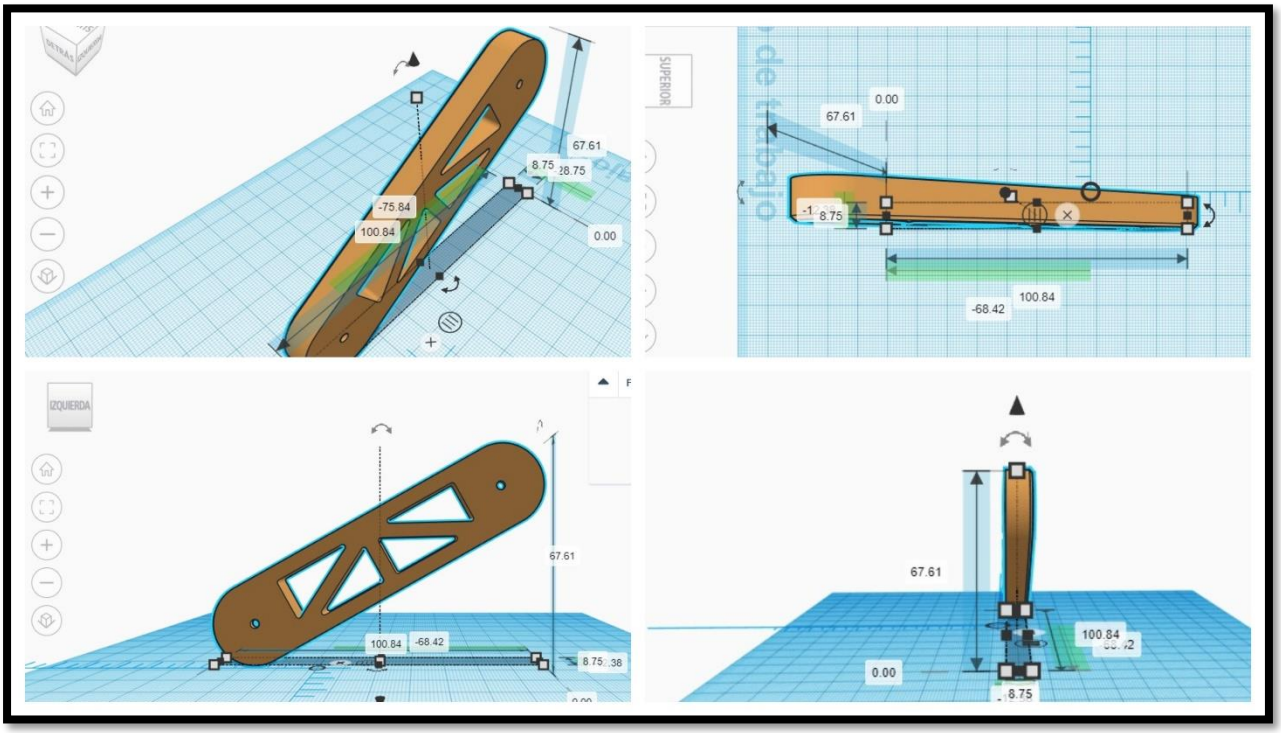


Ilustración 43. Medidas unión soporte-lateral. Fuente: Tinkercad.

Discusión

Observando cada etapa del desarrollo del proyecto, durante su construcción se tomó distintas decisiones para corregir y mejorar el mismo, al inicio, se optó por usar materiales como el MDF o el teflón, pero

resulto que el MDF era impropio para la labor que iba a desempeñar el sistema y el teflón es un material difícil de trabajar y costoso también, por eso se tomó la decisión de recurrir a la impresora 3D la cual arrojo un resultado de una estructura precisa, liviana y resistente para desarrollar la labor requerida.

Otra decisión importante también fue la de optar por una batería Li-Ion debido a que es el tipo de batería óptimo para este tipo de proyectos, y gracias a su alto amperaje de 3500mAh asegura una buena autonomía de funcionamiento y un excelente desempeño del sistema electrónico del proyecto.

Las medidas del brazo son: 39CM de largo (En posición de Encendido o en su máxima extensión) x 7,5CM de ancho. Y en posición de recogido 11CM de largo. *Ilustración*

En cuanto al desarrollo del brazo se inspiró en el diseño de los brazos robóticos, los cuales usan el sistema de hombro y codo los cuales por medio de rodamientos y servomotores facilitan el movimiento y permite que, a la hora de accionar el brazo, sea más cómodo maniobrarlo.

En cuanto a la parte electrónica, se hizo uso del Arduino UNO® como módulo central, conectado al módulo SIM900 el cual se encarga de recibir los respectivos mensajes comando, y darle la orden al Arduino® para activar los motores y poner el brazo en las posiciones previamente programadas.

El drone al momento de acoplarle el brazo, simplemente es unir la base del brazo junto con el Landing del drone mismo y se ajusta con tornillos, en donde una vez implementado el brazo al mismo, se procede a encender el sistema, tanto el drone como el brazo, se esperan 5 minutos para que el módulo SIM900 tome la señal de la simcard instalada en el mismo, y luego se procede a operar el drone con su respectivo control y así poder elevarse junto con el brazo ya instalado.

El control del brazo es un celular que posea mensajes de texto, donde a partir del dispositivo móvil se pueden enviar 3 mensajes de texto que corresponden a tres tipos de comandos que son: Encender, Apagar y Abrir. Los cuales dan la orden al brazo para que tome sus respectivas posiciones a partir de que mensaje fue enviado. Se optó por usar un celular como control por medio de mensajes de texto, ya que la cobertura de la red celular es mucho más amplia a la hora de recorrer grandes distancias con el drone.

Sugerencias

El objetivo de esta sección de la tesis es el de brindarles diversas ideas a los proyectos futuros relacionados con este mismo, en donde una de las sugerencias hechas por el director de proyecto es la de usar un material más resistente aun como lo es el aluminio para la estructura.

Otra sugerencia es la de proponerse el reto de investigar sobre otro tipo de estructura diferente a la de la tijera que pueda ser más fácil de acoplar y de manejar.

También está la de proponer un sistema de control diferente a la de un teléfono celular para enviar los mensajes de texto que recibirá el módulo GSM/GPRS para darle las instrucciones al Arduino.

Fuera de la aplicación del drone para mensajería se pueden pensar muchas otras aplicaciones basadas en un sistema de brazo robótico

Conclusiones

Inicialmente se desarrolló con un sistema de brazo con tijera que no fue efectivo ya que la propia tijera no brindaba el movimiento deseado, puesto que el sistema de brazo con tijera era bastante limitado, no contaba con rodamientos de soporte, con piezas bien definidas en sus curvas y la principal falla fue la limitación de las piezas, así que se optó por un sistema que brindara mucha más elongación hacia el eje vertical y con una resistencia mínima a la fricción, y el sistema definitivo fue el brazo robótico, el cual fue un completo éxito.

Se opto por controlar el brazo por medio de mensajes de texto por sobre llamadas debido a que las llamadas solo permitían hacer una sola acción y su programación seria tipo verdadero o falso limitando solo a dos movimientos programables, el mensaje de texto al llevar un código en palabras permitía programar el Arduino uno para que accionara un tipo de movimiento según el código que recibió.

Se escogió el sistema de GPRS (General Packet Radio Service) que permite la conexión a la red telefónica de un operador cualquiera para la comunicación del usuario sobre el brazo robot debido a que es el sistema mas confiable por sobre sistemas de radio frecuencia e internet ya que los anteriores tienen más posibilidades de sufrir caídas y limitaciones de señal.

Dado que el peso del brazo es de 530 kilos y que el dron solo puede cargar hasta 2 kilos, inmediatamente con el solo peso del mismo brazo entra a limitar la autonomía de vuelo y la estabilidad del dron ya que exige sus motores, lo que hace que el consumo de batería se mayor. Se podría idear algún diseño de brazo con materiales mas livianos para lograr un menor peso y así optimizar mucho mas el tiempo de vuelo del mismo dron.

Referencias.

ciencias, F. d. (2013). *Feria de las ciencias*. Obtenido de https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria361_01_desarrollo_de_brazo_robotico_para_multiples_aplica.pdf

Mecafenix, I. (2017). *Servomotor*. Obtenido de http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/servomotor/

phantom, T. (2016). *Todo phantom*. Obtenido de https://www.todophantom.com/nuevo-phantom-||4-caracteristicas-tecnicas/

prometec. (2016). *prometec*. Obtenido de https://www.prometec.net/gprs-llamar-enviar-sms/#

Securamente. (2014). *Securamente*. Obtenido de http://www.securamente.com/baterias-de-li-ion-ventajas-desventajas-y-mantenimiento/

Uvadoc. (Septiembre de 2012). *Uvadoc*. Obtenido de https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/1749/6/PFC-P1.pdf