



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CAMPUS ARAGÓN

*“DISEÑO Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE UN  
FRAME DE CARRIZO (ARUNDO DONAX) PARA UN  
DRONE CUADRICOPTERO”*

T E S I S

Que para obtener el Título de:  
Ingeniero Mecánico

P r e s e n t a :

**Neftali Elorza López**

Asesor de Tesis: M. en I. José Antonio Souza Jiménez



Nezahualcóyotl, Edo. de Méx.

2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Índice

Capítulo 1 .....	4
<b>1.1 Resumen</b> .....	4
<b>1.2 Introducción</b> .....	5
<b>1.2.1.- Partes básicas de un cuadricóptero</b> .....	7
<b>1.2.2.- Partes avanzadas de un cuadricóptero</b> .....	8
<b>1.2.3.- Materiales usados en marcos (Frame)</b> .....	9
<b>1.3.- Objetivo general</b> .....	16
<b>1.3.1.- Objetivos particulares</b> .....	16
<b>1.4.- Hipótesis</b> .....	16
<b>1.5.- Justificación</b> .....	17
Capítulo 2.....	18
<b>2.1.- Configuraciones Cuadricóptero</b> .....	19
<b>2.1.1.- Configuración en X</b> .....	19
<b>2.1.2.- Configuración en +</b> .....	20
<b>2.1.3.- Configuración Y4</b> .....	20
<b>2.1.4.- Configuración VTail</b> .....	21
<b>2.2.- Fundamentos de Vuelo</b> .....	21
<b>2.2.1.- Ángulos de Vuelo</b> .....	22
<b>2.2.3.- Maniobras Básicas</b> .....	24
Capítulo 3.....	27
<b>3.2.- Sustainable minds (mentes sostenibles)</b> .....	28
<b>3.2.1.- Fibra de carbono</b> .....	30
<b>3.2.2.- Aluminio</b> .....	31
<b>3.2.3.- Madera</b> .....	32
<b>3.2.4.- Carrizo</b> .....	33

Capítulo 4.....	35
<b>4.1.- Caracterización mecánica del carrizo.....</b>	<b>35</b>
<b>4.2.- Anisotropía Mecánica.....</b>	<b>38</b>
<b>4.3.- Prueba de Flexión.....</b>	<b>39</b>
<b>4.4.- Mediciones con galgas extensométricas.....</b>	<b>42</b>
<b>4.5.- Sección transversal de la muestra.....</b>	<b>44</b>
<b>4.6.- Caracterización del carrizo.....</b>	<b>46</b>
<b>4.7.- Caracterización mecánica resultados.....</b>	<b>48</b>
Capítulo 5.....	49
<b>5.1 Propuestas para frame de carrizo.....</b>	<b>49</b>
<b>5.2.- Construcción de frames.....</b>	<b>49</b>
<b>5.3.1 Análisis de Elemento Finito.....</b>	<b>52</b>
<b>5.3.2.- Análisis experimental.....</b>	<b>55</b>
<b>5.3.2.1.- Instrumentación.....</b>	<b>55</b>
<b>5.3.3 Pruebas en vuelo.....</b>	<b>61</b>
<b>5.3.4 Caída libre e Impacto.....</b>	<b>63</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>66</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>67</b>

# Capítulo 1

## 1.1 Resumen.

Los drones son vehículos autónomos o dirigidos a control remoto, son aplicados en envío de paquetes, reconocimiento de terrenos (cartografía), sofocación de incendios, toma de fotos o videos, etc. Una parte fundamental del vehículo es el frame (marco), ya que sobre este están acopladas todas las partes electrónicas que conforman al mismo (Computadora de vuelo, ESC, radio control, batería, entre otros). Los materiales generalmente utilizados en frames son: fibra de carbono, madera, aluminio y plástico, en general presentan resistencia mecánica, rigidez y ligereza, sin embargo, tienen un determinado efecto nocivo hacia el medio ambiente. En la presente tesis se realizó un análisis de distintos tipos de frames elaborados de la planta Arundo Donax (Carrizo) como una propuesta en pro del medio ambiente ya que el material no le genera daño alguno. Se determinaron las propiedades mecánicas del carrizo utilizado mediante la caracterización del mismo a través de la técnica experimental extensometría eléctrica. Se realizaron simulaciones en CAD de los distintos tipos de frames considerados para encontrar las zonas que sufren mayor deformación y que pueden ser susceptibles de falla, así mismo se elaboraron los frames de carrizo para realizar pruebas experimentales y de campo y así determinar la viabilidad del material en éste tipo de aplicación. Con el fin de evaluar el impacto ambiental de los materiales mencionados anteriormente se realizó un Análisis de Ciclo de Vida y demostrar que este aspecto se inclina a favor del carrizo. Los resultados fueron alentadores ya que el material hasta el momento se concibe como adecuado para la elaboración de dron cuadricóptero.



Figura 1.1.- Drone cuadricóptero. [1]

## 1.2 Introducción.

El primer antecedente sobre la construcción de un cuadrirotor data de 1907, apenas cuatro años después del primer vuelo exitoso de los hermanos Wright, cuando los hermanos Brèguet de nacionalidad francesa diseñaron, construyeron y realizaron las primeras pruebas de una maquina a la que denominaron Giroplano No. 1. De acuerdo a datos presentados por Leishman, la nave pesaba 578 kg (incluido el piloto), las cuatro hélices de la nave tenían un diámetro de aproximadamente 8.1 m y eran accionadas por un solo motor de combustión interna por medio de un sistema de poleas. El único medio de control disponible para el piloto era el acelerador del motor, por lo que la nave era inherentemente inestable. Sin embargo, los reportes dicen que durante las pruebas el Giroplano No. 1 alcanzó una altura de vuelo máxima de 1.5 m durante un periodo breve. Uno de los primeros registros que se tienen de un vuelo exitoso con un cuadrirotor es el de M. Oehmichen (también francés) quien con su Oehmichen No. 2 logro realizar vuelo vertical y horizontal realizando un recorrido circular a una altura de entre 3 y 5 m. [2]

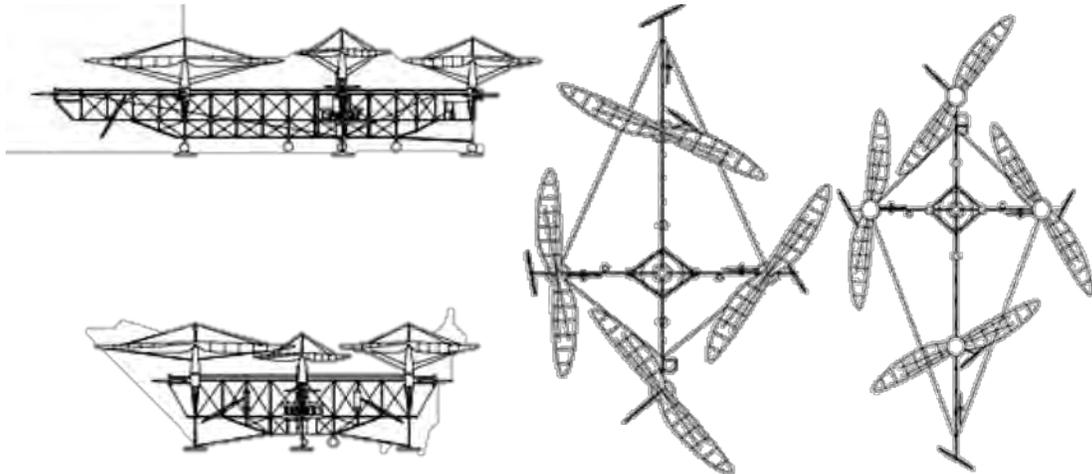


Figura 1.2.- Oehmichen No. 2 [3]

Los drones o también llamados Vehículos aéreos no tripulados (UAV) son aviones autónomos o dirigidos por control remoto. Pueden ser impulsados por motores de gasolina, turbinas de gas y motores eléctricos, pueden ser de ala fija y de ala rotatoria. [4]



Figura 1.3.- Dron de ala fija. [5]

Los drones o UAV tienen un gran potencial en áreas muy diversas, ya que puede desplazarse rápidamente sobre un terreno irregular o accidentado y superar cualquier tipo de obstáculo ofreciendo imágenes a vista de pájaro y otro tipo de información recogida por diferentes sensores.

A modo de ejemplo se exponen algunas de las aplicaciones donde los UAVs pueden ser muy útiles:

- ✘ Uno o más drones de tipo helicópteros pueden buscar personas desaparecidas en lugares abiertos o de difícil acceso como zonas montañosas o nevadas. El reducido tamaño de estos UAV, permite tenerlos siempre disponibles en estaciones de montaña, reduciendo considerablemente el tiempo de búsqueda.
- ✘ La realización de fotografías y vídeos publicitarios de carácter comercial para inmuebles, campos de golf, hoteles, etc.
- ✘ Contar con un vehículo aéreo no tripulado puede ser útil en misiones de reconocimiento, para planear tácticas, observar instalaciones desde el aire o realizar tareas de escolta a un convoy militar. Son en particular especialmente interesantes las tareas de vigilancia de fronteras y zonas de acceso restringido con la posibilidad de establecer una patrulla constante en la zona a proteger y realizar una detección automática de las situaciones de riesgo, disparando una alarma de supervisión manual.
- ✘ En el caso del medio ambiente nos ayuda en la parametrización del índice de contaminación lumínica para elaborar mapas de polución lumínica y monitorizar la eficiencia de medidas ecoenergéticas: control y seguimiento de accidentes industriales con vertidos tóxicos en medios acuáticos y terrestres; control de áreas de depósito y almacenaje de residuos industriales y de su tratamiento. [6]

Mayormente, hay dos tipos o configuraciones de cuadricópteros, los de tipo x (en aspa o equis) y los de tipo + (en cruz). Estas denominaciones se deben a lo que consideremos como la parte delantera de la aeronave, pero últimamente, han aparecido otros dos tipos de cuadricópteros, cuyos rotores no están colocados formando un cuadrado, los del tipo Y4 y los VTail. Por definición son cuadricópteros (pues son aeronaves de ala móvil y propulsadas por cuatro rotores), pero su comportamiento y forma es similar al de los tricópteros (multicópteros de 3 rotores), aunque aumentan la estabilidad de estos últimos gracias a tener un número par de rotores [4].

### 1.2.1.- Partes básicas de un cuadricóptero.

Los elementos que conforman a un dron cuadricóptero se observan en la figura 1.4, cada una de sus partes se describen a continuación.

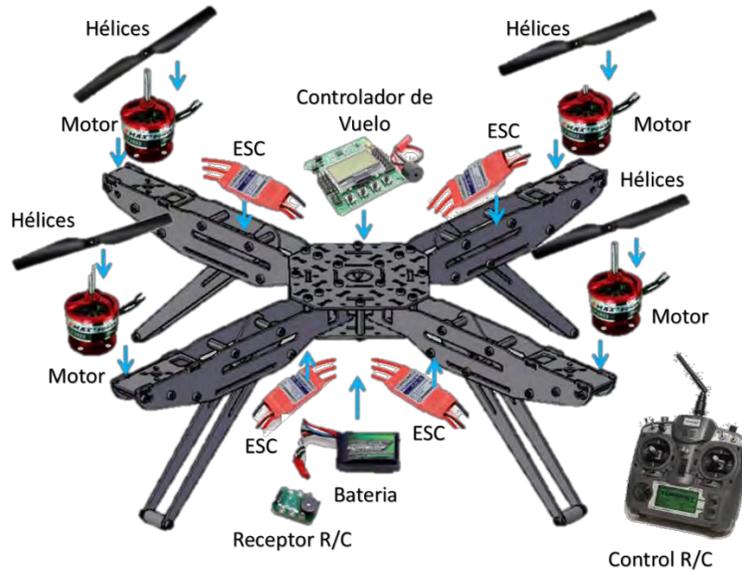


Figura 1.4.- Partes básicas de un dron cuadricóptero. [7]

#### a) El marco

El bastidor lleva todos los componentes del cuadricóptero, consiste en una placa de montaje unida con sus cuatro barreras o brazos para el montaje de los rotores.

#### b) Los motores y hélices.

Los motores y hélices proporcionan elevación y dirección al cuadricóptero. (Bernal, 2013).

#### c) El controlador de vuelo.

En términos más simples, el controlador de vuelo no es nada más que el cerebro de un multirrotor. Es el ordenador principal a bordo del cuadricóptero o multirrotor.

#### d) ESC (Controladores Electrónicos de Velocidad)

Son los que controlan la velocidad de cada motor, los CES individualmente se encuentran conectados a cada motor por una placa de distribución de potencia común y el controlador de vuelo.

#### e) Módulo de alimentación o distribución de alimentación del tablero.

Una placa de módulo de alimentación o distribución de energía proporciona energía de la batería a cada ESC, así como otros componentes tales como un controlador de vuelo, equipo de video, etc. [4]

f) Batería

Consta de una batería LiPo el cual proporciona toda la energía al cuadricóptero. Estas baterías van desde 2S A 6S (la “S” es el número de 26 células en su interior) y una variedad de capacidades nominales en miliamperios.

g) Controlador de radio (R/C)

El controlador de radio da al usuario, la capacidad de manejar y volar el cuadricóptero. Los controladores están conformados de dos partes, un receptor que se monta en el cuadricóptero y un transmisor que el piloto tiene en sus manos en el control de mando. Se pueden controlar con un controlador de radio, una estación de tierra o algunos casos ambas. [4]

### 1.2.2.- Partes avanzadas de un cuadricóptero.

Los elementos que le proporcionan a un cuadricóptero autonomía se aprecian en la figura 1.5, los componentes son identificados con letras y se describen a continuación.

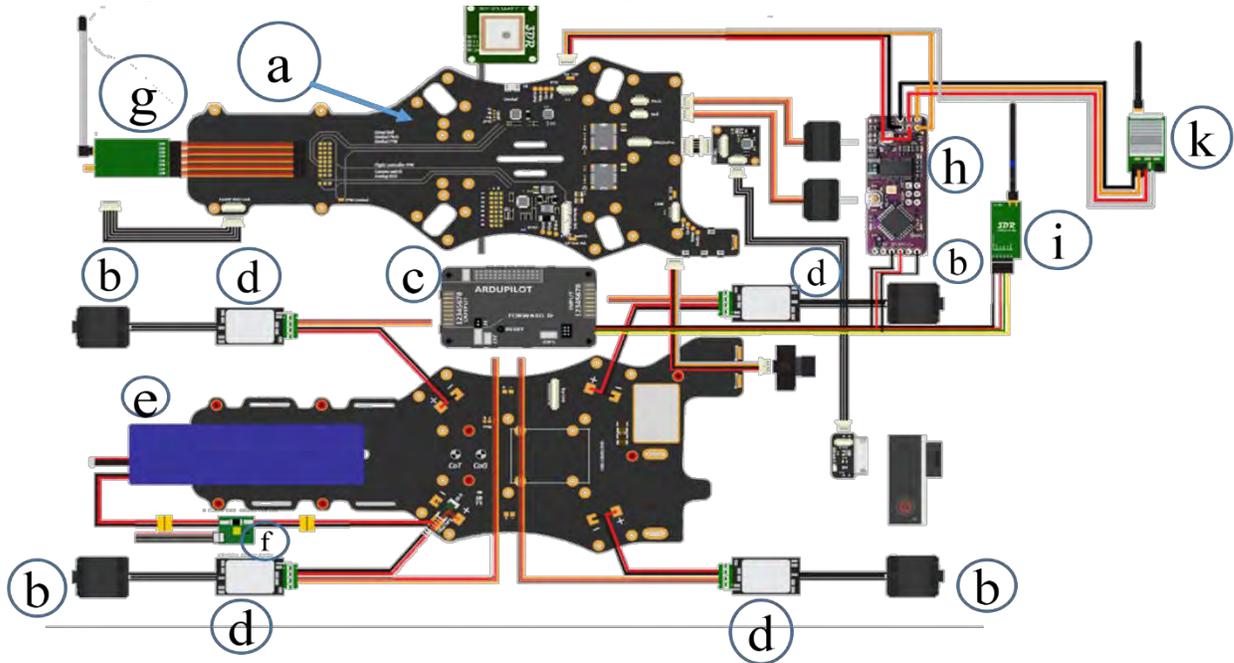


Figura 1.5.- Dron con partes básicas y avanzadas. [8]

h) GPS / Brújula

Un GPS / Brújula proporciona datos de navegación y posicionamiento en el controlador de vuelo a bordo o en la estación de tierra.

i) Telemetría de radio.

Un par de radios de telemetría conecta el cuadricóptero o el multirroto a la estación terrestre. Una se encuentra montada en el cuadricóptero y conectado al controlador de vuelo, mientras que el otro está conectado a cualquier equipo sea este una computadora portátil, Tablet o un teléfono como estación de tierra.

j) FPV (First Person Video).

Primer Video en Primera Persona, da al piloto una vista en primera persona de la aeronave. Su sistema consiste en un FPV generalmente montado en la parte delantera de la aeronave, un transmisor y un receptor a una pantalla de monitor.

k) Telemetría de radio.

Un par de radios de telemetría conecta el cuadricóptero o el multirrotor a la estación terrestre. Una se encuentra montada en el cuadricóptero y conectado al controlador de vuelo, mientras que el otro está conectado a cualquier equipo sea este una computadora portátil, Tablet o un teléfono como estación de tierra.

l) Estación Terrena.

Una estación de base de tierra contiene algún tipo de software de navegación. Algunas estaciones terrestres más avanzadas tienen la capacidad de establecer rutas de vuelo con navegación waypoints, retorno autónomo de casa o recibir información de vuelo al cuadricóptero tales como altitud, orientación, velocidad, estado de batería, GPS, etc.

m) Tren de aterrizaje.

Cuando una cámara de video está montada en la parte inferior de un cuadricóptero a menudo es necesario añadir tren de aterrizaje apropiado para evitar que la cámara toque el suelo. [4]

### 1.2.3.- Materiales usados en marcos (Frame).

El material del frame debe presentar resistencia, rigidez y ligereza para que sea capaz de hacer frente a las solicitaciones a las que estará expuesto el cuadricóptero. A continuación, se da una breve descripción de algunos de los materiales principalmente utilizados en frames de drones.

#### ● Fibra de carbono.

La fibra de carbono se incluye en el grupo de los materiales compuestos, es decir, aquellos que están hechos a partir de la unión de dos o más componentes, que dan lugar a uno nuevo con propiedades y cualidades superiores, que no son alcanzables por cada uno de los componentes de manera independiente. En el caso particular de la fibra de carbono, básicamente se combina un tejido de hilos de carbono (refuerzo), el cual aporta flexibilidad y resistencia, con una resina termoestable (matriz), comúnmente de tipo epoxi, que se solidifica gracias a un agente endurecedor y actúa uniendo las fibras, protegiéndolas y transfiriendo la carga por todo el material; por su parte el agente de curado ayuda a convertir la resina en un plástico duro. [9]

**Tabla 1.- Características y aplicaciones de la fibra de carbono.**

Características y aplicaciones de las fibras de carbono	
Propiedades	Aplicaciones
Resistencia, tenacidad y densidad.	Transporte y artículo deportivos.
Estabilidad.	Tecnología aeroespacial.
Amortiguaciones de vibraciones.	Maquinaria textil, ingeniería en general.
Resistencia la fatiga y autolubricación.	Industria química y nuclear.
Resistencia química y térmica.	Componentes de equipos electrónicos.
Compatibilidad bilógica.	Medicina (prótesis, equipamiento quirúrgico).



**Figura 1.6.- Frame de Fibra de Carbono. [10]**

### ● **Aluminio.**

El aluminio es uno de los principales componentes de la corteza terrestre conocida, de la que forma parte en una proporción del 8,13%, superior a la del hierro, que se supone es de un 5%, y solamente superada entre los metales por el silicio (26,5%). El aluminio no se encuentra puro en la naturaleza, sino formando parte de los minerales, de los cuales los más importantes son las bauxitas, que están formadas por un 62-65% de alúmina ( $Al_2O_3$ ), hasta un 28% de óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ), 12-30% de agua de hidratación ( $H_2O$ ) y hasta un 8% de sílice ( $SiO_2$ ).

El aluminio es un metal blanco brillante, que pulido semeja a la plata. Cristaliza en red cúbica centrada en las caras (FCC). Su peso específico es igual a 2,699, es decir, casi 1/3 del hierro (7,87). El único metal industrial más ligero que el aluminio es el magnesio, de peso específico 1,74. Su conductividad eléctrica es un 60% de la del cobre y 3,5 veces mayor que la del hierro. Su punto de fusión es  $660^{\circ}C$  y el de ebullición  $2.450^{\circ}C$ . Este punto de fusión relativamente bajo, unido a su punto de ebullición bastante alto facilita su fusión y moldeo.

Las propiedades mecánicas del aluminio son más interesantes son su débil resistencia mecánica, y su gran ductilidad y maleabilidad, que permite forjarlo, trefilarlo en hilos delgadísimo y laminarlo en láminas o panes tan finos como los del oro, hasta de un espesor de 0,0004 mm (0,4 micras). A la temperatura de 500°C se vuelve frágil y se puede pulverizar fácilmente. [11]



Figura 1.7.- Marco (Frame) de aluminio. [12]

Tabla 2.- Características y Aplicaciones del Aluminio.

Características y aplicaciones de las fibras de carbono	
Propiedades	Aplicaciones
Ligero	Transporte como material estructural
Blando pero resistente	Embalaje
Densidad 1/3 con respecto al acero o cobre	Construcción: ventanas, puertas, perfiles estructurales, etc.
Maleable	Recipientes criogénicos.

### ● Madera

De todos los materiales usados por el ser humano a lo largo de la historia, la madera fue el primero de ellos, gracias a una serie de propiedades como facilidad de conformado, bajo peso específico, agradable apariencia exterior, propiedades térmicas y mecánicas.

Las maderas pueden clasificarse de muy diversas formas, según el criterio que se considere. Así, podemos clasificarlas atendiendo a su:

🪵 Dureza

🪵 Humedad

Según su dureza (es la más usual):

Maderas blandas.

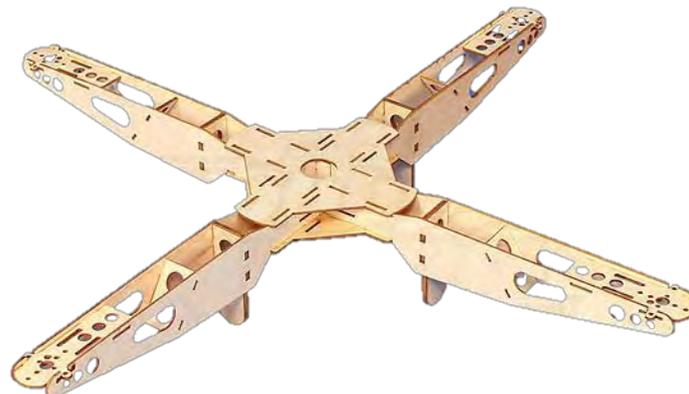
Cuyos árboles tienen hoja perenne, son resinosos. Ej: pino, ciprés, abeto, cedro. Son maderas ligeras, de crecimiento rápido (se observan bien los anillos), de color claro, nudos pequeños, fáciles de trabajar y de bajo coste. Se emplean para trabajos en los que no se necesita gran solidez: embalajes, cajas, tablas, mueble funcional sencillo, pasta de papel.

Maderas duras.

Cuyos árboles tienen hoja caduca. Ej: roble, castaño, nogal, olmo, caoba. Madera compacta, poca resina y escasos nudos, amplia gama de colores, de mayor densidad, de crecimiento lento (anillos anuales muy juntos, casi no se diferencian), más difíciles de trabajar, y en general de mayor calidad y precio. Se emplean en trabajos de ebanistería, muebles más compactos, instrumentos musicales, interiores de barco, andamios de obra. [13]

**Tabla 3.- Características y aplicaciones de la madera.**

Características y aplicaciones de la madera	
Propiedades	Aplicaciones
Baja densidad	Muebles
Resistencia	Carpintería
Retracción o contracción	Esculturas
Dureza	Estructuras
Conductividad térmica baja	Ventanas
Flexibilidad	Puertas



**Figura 1.8.- Frame de Madera,**

### ● Carrizo (Arundo Donax).

Cerca del año de 1800, los colonizadores españoles trajeron a nuestro continente una especie vegetal que, sin saberlo ellos, ocultaba una doble realidad; por un lado, son evidentes sus beneficios potenciales como elemento útil para la conservación del suelo de las riberas de los ríos o bancos riparios, su uso como material para la construcción de techos de casas y la fabricación de instrumentos de viento, como flautas y oboes; sin embargo, por otro lado, nadie imaginaba que esta especie aguardaba el momento oportuno para aprovechar todas las condiciones idóneas de los nuevos sitios y expandirse y dominar los ecosistemas riparios, trayendo consigo cambios sustanciales en la ecología de estos sistemas. Así inicia la historia de una de las especies de plantas exóticas invasoras más antiguas de las que se tiene referencia; se trata de Arundo donax. [15]

Coloquialmente conocido como carrizo gigante, caña brava, caña gigante, caña bambú, caña de bambú o vara de río, *Arundo donax* es una especie que pertenece a la familia de las gramíneas, la cual se caracteriza por formar grandes masas, con rizomas cortos. Es originaria del continente asiático en su porción occidental y durante miles de años se ha dispersado a lo largo de Asia, el sureste de Europa y el norte de África. Desde su introducción al continente americano, se han documentado sus impactos. [15]

Existen referencias que ilustran su comportamiento invasor en la costa oeste de Estados Unidos, particularmente en el área de la Cuenca de Santa Ana, California. Hoy en día esta especie es considerada invasora de los cuerpos de agua dulce de ambas costas de la Unión Americana, lo cual da muestra de su enorme capacidad de colonización de nuevos sitios. En nuestro país es frecuente observar la proliferación y el desarrollo de *Arundo donax* en los diversos sistemas riparios, llegando al grado de amenazar la integridad de diversos ecosistemas acuáticos frágiles, como Cuatrociénegas, Coahuila.

Una de las ventajas competitivas del *Arundo donax*, con respecto a las plantas nativas, es su gran potencial de crecimiento y alta productividad de biomasa, características que la posicionan como una de las especies con mayor rango de desarrollo y producción primaria en todo el planeta. Se ha registrado que bajo condiciones óptimas crece hasta 5 cm por día, generando una biomasa de al menos 3.4 toneladas de peso seco por hectárea. Parte de su éxito como competidor se debe a su capacidad para adaptarse a suelos de baja calidad; su tolerancia a valores de pH que van desde lo ácido hasta lo alcalino; su flexibilidad fisiológica, que le permite desarrollarse en áreas cuyas precipitaciones varían desde los 300 mm hasta los 4000 mm anuales; y su capacidad para sobrevivir en áreas donde se presentan altas salinidades. En estudios de laboratorio se ha comprobado su habilidad para soportar diversas concentraciones de sales, lo que la sitúa como un riesgo potencial de invasión de marismas. Otro factor no menos importante es el hecho de que como colonizadora oportunista de nuevos hábitats esta especie aprovecha eficientemente las alteraciones ambientales producidas por impactos antropogénicos y los ocurridos por causas naturales. De esta manera, tanto los incendios como las crecientes en los ecosistemas riparios han contribuido a su expansión. En el caso de los incendios, la presencia de un sistema radicular estolonífero proporciona a la especie una protección, pues a pesar de que la parte aérea resulta afectada, los estolones no sólo no perecen, sino que continúan viables, permitiendo la supervivencia y posterior establecimiento de las plántulas. En segunda instancia, la clave de su potencial dispersor es su particular medio de propagación: aun cuando produce floración y semillas, estas últimas resultan inviables en el medio natural, por lo que su reproducción es exclusivamente vegetativa, y los estolones y tocones que son transportados durante las crecientes de los ríos se dispersan aguas abajo, desarrollándose así cada segmento como un propágulo capaz de establecer una nueva planta. Este medio de propagación establece el éxito de la planta como hábil invasor de nuevos hábitats.



**Figura 1.9.- Banco de Ripario Arundo Donax. [15]**

Durante los primeros años, la diversidad y cobertura de la flora riparia contribuyen a que la infestación de Arundo se mantenga retardada; sin embargo, una vez establecida, tiende a formar masas de raíces largas y continuas, algunas veces extendiéndose en grandes superficies, usualmente a expensas de la vegetación nativa que no puede competir contra ella.

En la actualidad el principal uso del carrizo es para manufacturar aros para coronas de muertos, cruces, chiquihuites, canastos y armazones para los castillos de juegos pirotécnicos. Como actividad secundaria está el aprovechamiento de los brotes tiernos como forraje para el ganado a través del pastoreo directo. Cabe mencionar que el trabajo con carrizo también se puede considerar como una actividad que contribuye al fortalecimiento de la unión familiar. [16]

**Ripario** es también utilizado como nomenclatura de una de los quince tipos de biomas terrestres. Los hábitats vegetales y comunidades a lo largo de márgenes y orillas del río son denominados vegetación riparia.



**Figura 1.10.- Artesanías Fabricadas de Carrizo.**

Funciones del Carrizo	
Tipo de función	Función.
Ambiental	Preservación de variedades criollas.
	Equilibrio natural.
	Captación de agua.
Economía	Conservación de paisaje.
	Ahorro.
	Mano de obra familiar.
Social	Productividad diversa.
	Conservación de sabiduría
	Ocupación del territorio
	Organización social.
	Transmisión de conocimiento.
	Identidad cultural.

**Tabla 4.- Funciones del carrizo.**

**Propágulo** en biología es cualquier germen, parte o estructura de un organismo, producido sexual o asexualmente, capaz de desarrollarse de manera separada para dar lugar a un nuevo organismo idéntico al que lo formo

**Estolón** es un brote lateral, normalmente delgado, que nace en la base del tallo de algunas plantas herbáceas y que crece horizontalmente con respecto al nivel del suelo, de manera epigea (surge perpendicular al suelo) o subterráneo.

### 1.3.- Objetivo general.

Desarrollo de un frame de carrizo para un dron cuadróptero, aprovechando sus características de ligereza, resistencia y amortiguamiento, como una propuesta a favor del medio ambiente.

#### 1.3.1.- Objetivos particulares.

-  Desarrollar un dron ligero, debido a la configuración estructural y al material del cual está fabricado el frame para hacer un robot móvil aéreo más eficiente, esto es que requiera menos energía para desplazarse.
-  Sustituir materiales convencionales que son usados dentro de este tipo de robots por uno más amigable con el medio ambiente.
-  Implementar el uso de vehículos aéreos no tripulados para sobrevolar un área geográfica determinada para realizar vigilancia de una manera práctica y eficiente.

### 1.4.- Hipótesis.

El carrizo puede ser utilizado para conformar el frame del vehículo encontrando una configuración estructural adecuada debido a las propiedades físicas que presenta.

Es capaz de proporcionar:

-  Resistencia mecánica para hacer frente a las sollicitaciones a las que estará sujeto el vehículo.
-  Rigidez para soportar y proteger los componentes frágiles del vehículo.
-  Capacidad de absorción de impactos por el amortiguamiento que presenta el material.
-  Ligereza para hacer al vehículo más eficiente.
-  La realización de este proyecto permitirá en un futuro encontrar y desarrollar más aplicaciones elaboradas con carrizo.

## **1.5.- Justificación.**

El uso de drones ha tenido un gran impulso en los dos últimos años con un fuerte desarrollo en el ámbito de la investigación. Los avances tecnológicos ayudan para ampliar el rango de aplicaciones de los sistemas autónomos en acciones civiles; pero por su alto costo hace que no tenga un uso masivo en actividades cotidianas. Por lo tanto, desarrollar su estructura mecánica (frame) con carrizo permite un desarrollo a bajo costo, ligero y sustentable; aprovechando las propiedades mecánicas que ofrece el material.

El desarrollo sustentable hoy en día es esencial para la conservación de los recursos naturales y de los ecosistemas para preservar la vida de futuras generaciones.

El carrizo es un recurso renovable y sostenible que puede sustituir a materiales utilizados en diversas estructuras. Presenta amortiguamiento estructural, es flexible, resistente, ligero y de muy bajo costo. Sus aplicaciones han sido básicamente artesanales las cuales aprovechan estas cualidades, pero sin ningún sustento científico, por todo esto se vislumbra adecuado para su uso en estructuras de determinados vehículos aéreos y terrestres.

Los análisis que se han realizado actualmente determinan su viabilidad para desarrollar todo el frame de carrizo para un vehículo aéreo no tripulado.

Con éste proyecto se está ampliando el campo de aplicaciones elaboradas con éste material, lo que irremediamente llevará en un futuro a encontrar más en beneficio del medio ambiente

El carrizo es una planta gramínea que es bastante común en toda la República Mexicana. Es un material muy accesible, que presenta ventajas al no necesitar ser cultivado, pues se da abundantemente en cualquier tipo de clima o de altitud.

Cabe resaltar que actualmente es considerado como una planta invasora de ecosistemas riparios ya que amenaza la integridad de diversos ecosistemas acuáticos frágiles. Algunos de los problemas causados por la especie en el ámbito socioeconómico son: la invasión y el azolve de los canales de riego, que hacen necesarias las labores de limpieza frecuentes, la contaminación biológica y las subsecuentes acciones encaminadas para su manejo y control. Los daños a la infraestructura social, por ejemplo, los puentes, caminos, etcétera. El aprovechamiento del carrizo permite contribuir a mejorar los ecosistemas que daña.

Desarrollar tecnología mexicana contribuye a disminuir la dependencia tecnológica que tenemos con otros países.

# Capítulo 2

## Marco Teórico.

La mecánica de sólidos es el campo del conocimiento que estudia las relaciones entre los esfuerzos, deformaciones y cargas externas. Para poder estudiar a los sólidos, éstos se consideran como cuerpos en equilibrio sujetos a fuerzas externas. Debido a estas cargas el cuerpo reacciona, de manera que en su interior se generan esfuerzos. Mediante las ecuaciones de equilibrio estático, se consideran las fuerzas aplicadas que actúan sobre una parte del cuerpo para obtener una relación entre las fuerzas externas actuando sobre el cuerpo y los esfuerzos oponiéndose a la acción de las cargas externas. De esta manera consideramos en un inicio que el sólido está en equilibrio de fuerzas. Los esfuerzos se pueden analizar si seccionamos el cuerpo sometido a estudio. Para poder lograr esta sección del cuerpo, se debe colocar un plano que atraviese al sólido en un punto de interés, de esta manera se retira una parte del cuerpo, y se reemplaza por los esfuerzos que están actuando en el mismo. Debido a que todo el cuerpo está en equilibrio, se sabe que sea una sección entera o sólo una pequeña parte del sólido, ésta estará en equilibrio de fuerzas. Por lo tanto, las ecuaciones de equilibrio se pueden aplicar a este tipo de problema.

Las fuerzas internas de oposición, comúnmente llamadas esfuerzos, actúan sobre una cierta área, por lo que la fuerza resultante es la integral del esfuerzo en el área diferencial sobre el cual actúa.

Para evaluar esta integral es necesario saber la distribución del esfuerzo sobre el área del plano de corte. La distribución del esfuerzo puede ser aproximada observando y midiendo la deformación en el elemento ya que el esfuerzo no puede ser medido físicamente. Sin embargo, dado que el esfuerzo es proporcional a la deformación, la determinación de la distribución de las deformaciones provee la distribución del esfuerzo. La expresión obtenida para el esfuerzo es luego sustituida dentro de las ecuaciones de equilibrio, y son resueltas para esfuerzo en términos de las cargas y las dimensiones del miembro. Si la expresión para los esfuerzos que se obtuvo de alguna manera, es correcta y satisface las ecuaciones de equilibrio para cualquier parte del cuerpo incluyendo las fronteras donde se encuentran las fuerzas externas y/o las restricciones de desplazamiento.

Un Cuadricóptero o Cuadrirotor, es una aeronave de ala giratoria, propulsada por cuatro rotores. Normalmente éstos se encuentran colocados simétricamente, formando cada uno un vértice de un cuadrado imaginario. Al ser un tipo de helicóptero, tanto la sustentación como la propulsión se basan en el aire impulsado por las hélices de sus rotores.

En cambio, a diferencia de los helicópteros que varían el ángulo de incidencia (inclinación) de las palas de las hélices para maniobrar (tanto las palas del rotor principal como las del rotor de cola), los cuadricópteros (como los demás multicopteros modernos) basan sus maniobras en el cambio de revoluciones de sus distintos motores, usando así hélices con palas de paso fijo que simplifican en gran medida la mecánica de este tipo de aeronaves.

Las solicitaciones deben de ser tomadas en cuenta para poder realizar un análisis estructural adecuado que permita evaluar el comportamiento del frame para evitar fallas en el mismo, modificando la geometría en caso de ser necesario.

## 2.1.- Configuraciones Cuadricóptero.

Mayormente, hay dos tipos o configuraciones de cuadricópteros, los de tipo x (en aspa o equis) y los de tipo + (en cruz). Estas denominaciones se deben a lo que consideremos como la parte delantera de la aeronave, pero últimamente, han aparecido otros dos tipos de cuadricópteros, cuyos rotores no están colocados formando un cuadrado, los del tipo Y4 y los VTail. Por definición son cuadricópteros (pues son aeronaves de ala móvil y propulsadas por cuatro rotores), pero su comportamiento y forma es similar al de los tricópteros (multicopteros de 3 rotores), aunque aumentan la estabilidad de estos últimos gracias a tener un número par de rotores, los materiales más usados dentro del marco (Frame) es la madera, aluminio y fibra de carbono. [2]

### 2.1.1.- Configuración en X.

En un cuadricóptero configurado en x, tendremos dos rotores delanteros y dos rotores traseros (y redundantemente, dos rotores izquierdos y dos rotores derechos). Por hacer una analogía podríamos compararlos con el posicionamiento de las ruedas de un automóvil. Este tipo de montaje es más popular para llevar cámaras en ellos, pues la cámara no tiene 12 ningún brazo en su campo de visión (contando que las cámaras suelen apuntar hacia adelante, aunque hay algunas rotatorias).

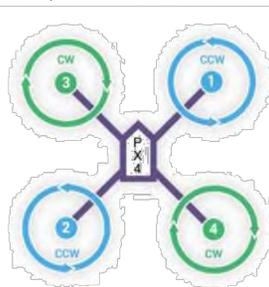


Figura 2.1.- Configuración en X (QUAD X). [17]

### 2.1.2.- Configuración en +.

La configuración en + conlleva tener un rotor delantero, uno trasero, uno izquierdo y uno derecho. Podemos comparar este tipo de configuración con las partes de un avión siendo el rotor delantero la cabeza, el rotor trasero la cola y los rotores laterales las alas del avión. Este tipo de montaje es más popular entre los aficionados al aeromodelismo y las acrobacias, sobre todo para los que tienen aviones de radiocontrol por su similitud con estos, y por ser más sencillo de programar y entender.

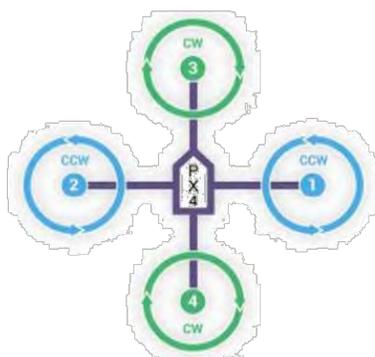


Figura 2.2.- Configuración en + (QUAD +).[18]

### 2.1.3.- Configuración Y4.

La configuración Y4 consiste en una estructura en forma de Y, teniendo en su parte delantera dos rotores (uno en cada punta de los brazos de la Y) y otros dos rotores coaxiales en la cola (dos rotores sobre el mismo eje vertical, uno encima del otro). Esta forma es una evolución de los tricópteros convencionales, pero evitando el servo necesario para el giro sobre el eje vertical (guiñada o yawing), usando los dos rotores coaxiales, girando en dirección contraria el uno del otro. Con esto se logra alrededor de 1/3 más de fuerza de sustentación (pues el peso no varía mucho al ser la estructura similar al tricóptero), y una mayor estabilidad y fiabilidad, pues no se depende de ningún servo.

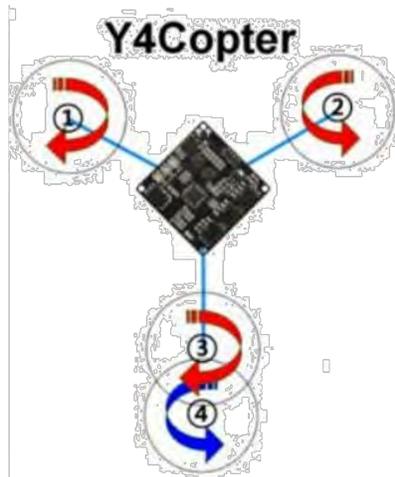


Figura 2.3.- Configuración Y4, [19]

#### 2.1.4.- Configuración VTail.

La configuración VTail corresponde a una mezcla entre los cuadricópteros en x y los tricópteros. Como los cuadricópteros, tiene dos rotores delanteros y dos traseros, pero estando los delanteros colocados cada uno sobre un brazo (como en la configuración x convencional), los traseros se encuentran sobre un único brazo trasero (a modo de cola) colocado uno a cada lado de su extremo, he inclinados alrededor de él en un ángulo determinado.

Esta configuración no es muy popular, debido a que es menos eficiente que la Y4 (puesto que el aire propulsado por los rotores de cola no se entrecruza y no se destina todo a la sustentación debido a su inclinación) y a que su control de motores es algo más complicado, pero por otra parte, es una configuración más estable (gracias a la parte de empuje lateral de sus rotores de cola), y su orientación es más reconocible a distancia gracias a su clara distinción entre cabeza y cola.

#### 2.2.- Fundamentos de Vuelo.

El vuelo de los Cuadricópteros se basa (como hemos mencionado anteriormente) en la sustentación obtenida mediante el impulso del aire por sus hélices, y en las maniobras logradas mediante el cambio de velocidad de sus rotores. Podemos ver los cuadricópteros como máquinas voladoras con 6 Grados de Libertad, ya que se pueden desplazar y rotar sobre los 3 ejes del espacio tridimensional. Aunque esto sea así, en un instante de tiempo dado, sólo podemos indicarle al cuadricóptero 4 movimientos diferentes.

### 2.2.1.- Ángulos de Vuelo

Como toda aeronave, para conocer su orientación espacial sólo necesitamos tres valores, los Ángulos de Euler (o ángulos de vuelo). Estos ángulos son la diferencia de orientación que hay entre el sistema de referencia de tierra (eje X apuntando al Norte, eje Y al Este y eje Z hacia abajo) o NED, y el sistema de referencia de vuelo (eje X apuntando a la cabeza de la aeronave, eje Y a la derecha, y eje Z, perpendicular a ambos, apuntando hacia la parte de abajo de la aeronave).

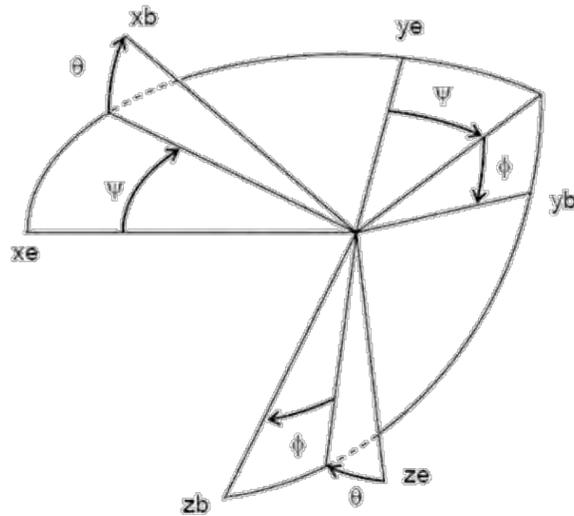


Figura 2.4.- Ángulos de Vuelo o Ángulos de Euler. [20]

Para entender los denominados ángulos de vuelo, supongamos una situación inicial en la que los dos sistemas de referencia (tierra y vuelo) están alineados. El ángulo Yaw ( $\psi$ ) es el ángulo girado sobre el eje Z (de ambos sistemas pues están alineados), logrando girar los ejes X e Y del sistema de referencia de vuelo respecto al de tierra. Esto nos lleva a tener los ejes  $X_{v1}$  e  $Y_{v1}$ .

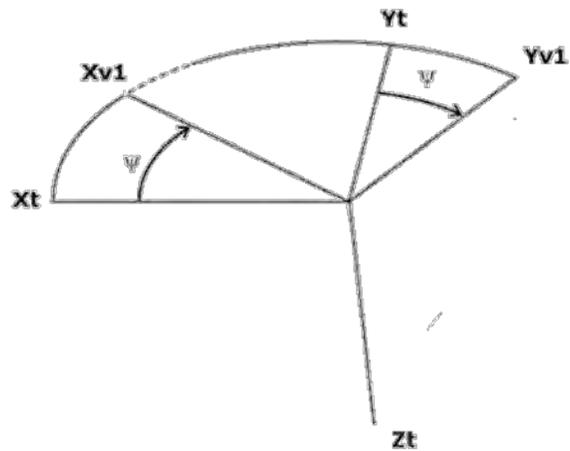


Figura 2.5.- Giro en Angulo Yaw. [21]

Ahora procedemos a girar sobre el eje Yv1, dando como resultado un determinado Pitch ( $\theta$ ) y logrando girar los ejes X y Z del vuelo, dando como resultado los ejes Xv2 y zv2.

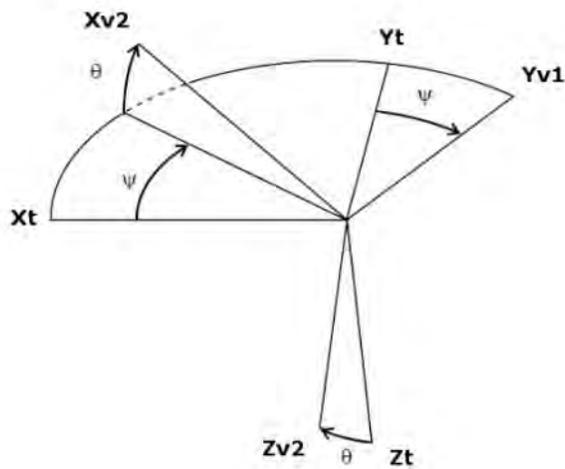


Figura 2.6.- Giro en Angulo Pitch. [22]

Por último, giramos alrededor del eje Xv2 dando como resultado un determinado Roll ( $\phi$ ), y los ejes Yv3 y zv3.

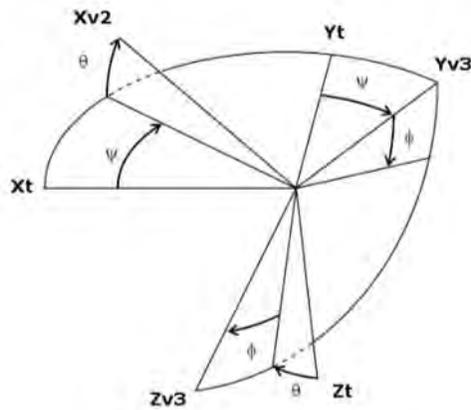


Figura 2.7.- Giro en Angulo Roll. [23]

### 2.2.3.- Maniobras Básicas.

Las cuatro maniobras básicas de un cuadricóptero son las siguientes:

#### Desplazamiento vertical.

Como su nombre indica, consiste en la traslación sobre el eje Z del espacio tridimensional (el eje vertical). Se logra incrementando o disminuyendo la velocidad de todos los rotores a la vez, siempre y cuando mantengamos la misma velocidad de rotación en los cuatro rotores. Para elevar el cuadricóptero se requiere incrementar la rotación, y para descenderlo, disminuirla.

#### Alabeo.

Esta maniobra consiste en la rotación sobre el eje longitudinal de la aeronave (eje que va de la parte delantera a la parte trasera del cuadricóptero). En nuestro caso (configuración en +) se logra aplicando un determinado incremento en la velocidad del rotor contrario al lado hacia el que se quiere girar, y disminuyendo el mismo nivel de velocidad en el rotor contrario (el rotor del lado hacia el que queremos girar).

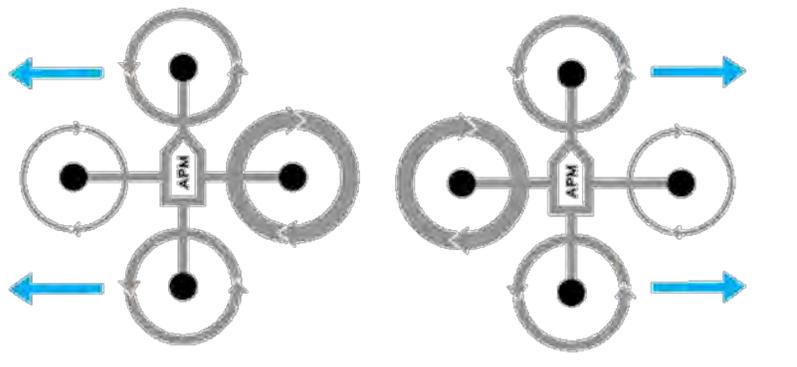
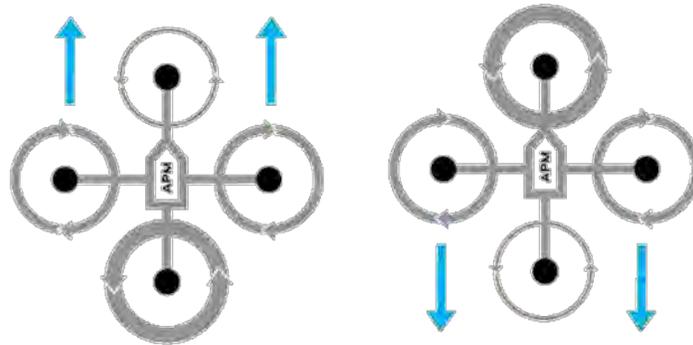


Figura 2.8.- Movimiento Lateral. [24]

### 📌 Cabeceo.

Esta maniobra consiste en la rotación sobre el eje transversal de la aeronave (eje lateral, que va de izquierda a derecha de la aeronave, aunque en el caso de un cuadricóptero al ser simétrico, sólo se distingue del eje longitudinal por lo que consideremos como parte delantera del aparato), o lo que es lo mismo, elevar o bajar la cabeza (parte delantera) del cuadricóptero. En nuestro caso (configuración en +) se logra elevar la cabeza incrementando en un nivel determinado la velocidad del rotor delantero y disminuyendo en el mismo nivel la del trasero; y viceversa para hacerla descender. [referencias]

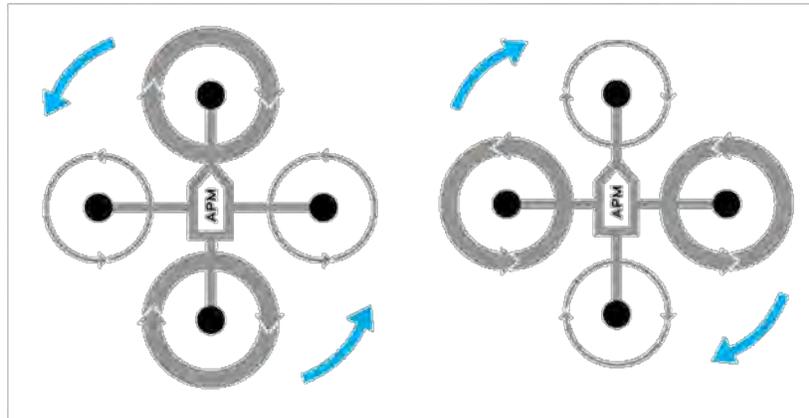


**Figura 2.9.- Movimiento Longitudinal. [25]**

### 📌 Guiñada.

Esta maniobra consiste en rotar la aeronave sobre el eje vertical, haciéndola girar sobre sí misma a izquierda o derecha. En nuestro caso (y en el de la configuración en x también), se logra esta maniobra gracias a que los rotores del eje longitudinal giran en un sentido y los del eje lateral en otro.

Mientras giran a la misma velocidad, el efecto torque (o momento de fuerza) a derechas creado sobre el eje por los motores a izquierdas, es contrarrestado por el torque a izquierdas creado sobre el eje por los motores a derechas, logrando un momento de fuerza nulo sobre el conjunto del cuadricóptero. Por eso, para girar a la derecha, debemos incrementar la velocidad de los rotores que giran a la izquierda (pues los ejes, y con ellos el conjunto, tienden a girar al lado contrario) y disminuir en la misma medida los rotores que giran a la derecha. Y viceversa para girar a la izquierda.



**Figura 2.10.- Guiñada o Yawing. [26]**

Estos son los tres giros y el desplazamiento que podemos indicarle al cuadricóptero que haga en un determinado instante de tiempo, pero ¿cómo hacemos para desplazarnos hacia adelante, atrás o hacia los lados? No tenemos más que mantener inclinado el aparato durante un espacio de tiempo para lograrlo. Para el desplazamiento sobre el eje longitudinal (adelante/atrás), debemos mantener un cabeceo en el sentido que queramos desplazarnos (cabecear hacia abajo para avanzar, hacia arriba para retroceder), y volver a una posición horizontal cuando deseemos detener el desplazamiento. Lo mismo ocurre con el desplazamiento sobre el eje transversal (izquierda/derecha), aunque en este caso, lo que debemos mantener es un alabeo a izquierdas o a derechas, depende del sentido en el que queramos desplazarnos. Con todas las maniobras anteriormente comentadas, podemos desplazar el cuadricóptero con total libertad por el aire. [2]

# Capítulo 3

## Sustentabilidad.

### 3.1.- Análisis del Ciclo de Vida del Producto.

El análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de cómo se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Por tal motivo, la conservación de recursos privilegia la reducción de la cantidad de residuos generados (a través del producto), pero ya que éstos se seguirán produciendo, el ACV plantea manejar los residuos en una forma sustentable – desde el punto de vista ambiental minimizando todos los impactos asociados con el sistema de manejo (Forum Ambiental, 2003). [8]

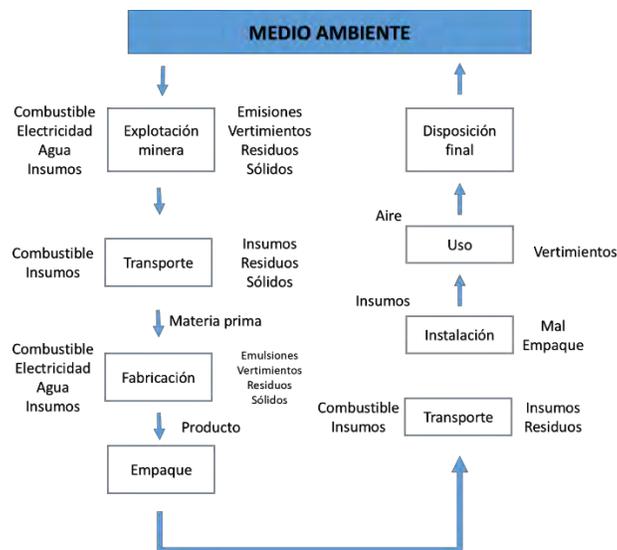


Figura 3.1.- Análisis del ciclo de vida (ACV).

### **3.2.- Sustainableminds (mentes sostenibles)**

Sustainableminds tiene que ver con el diseño de productos ecológicos. Es una compañía de software y servicios en la nube, cuya misión es la de poner en práctica el desempeño ambiental en el desarrollo de productos y la fabricación convencional de una manera accesible, autorizada, y fidedigna.

Para ello, integra conocimiento de diseño de producto, análisis del ciclo de vida y el diseño de sistemas del medio ambiente con experiencia en el negocio basado en la Web, diseño de software y la experiencia del cliente. El resultado que entrega es la funcionalidad de diseño de gran alcance más verde cuando y donde lo necesitan.

Usando la plataforma de Sustainableminds aplicada a cada uno de los frames de los materiales más usados en los drones (madera, policarbonato, aluminio) arrojé los siguientes resultados:

#### **“Dron Sustentable”.**

**Cliente o Grupo:** UNAM.

**Categoría:** Aeronave.

**Metodología SM 2013.**

**Creado:** 15 de marzo del año 2016.

#### **Descripción:**

Diseñar un marco (Frame) para un vehículo aéreo no tripulado del tipo cuadricóptero que sea sustentable, aprovechando las propiedades mecánicas que nos brinda la planta Arundo Donax (Carrizo) las cuales son: Ligereza, resistencia y amortiguamiento.

#### **Objetivos de la empresa y las políticas ambientales**

Contribuir al Desarrollo Sostenible del entorno.

Reducir contaminantes dentro de los vehículos no tripulados cuadricópteros.

Implementar nuevos materiales dentro de los marcos para cuadricópteros.

Realizar un estudio de propiedades mecánicas.

#### **Unidad Funcional**

Impactos por cada 1 año de uso

*Año de uso es una unidad estándar de medida cuando el servicio entregado se mide por el tiempo.*

#### **Sistema producto**

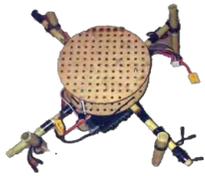
Describir el sistema de producto y los límites del sistema.

El sistema está conformado por tres placas de MDF las cuales se les hicieron varios barrenos por medio de corte laser, se unen las bases por medio de 4 tornillos y cuatro tuercas, los brazos donde estarán fijos los motores son de carrizo los cuales están fijados a la placa inferior por medio de cinchos de plástico.

El sistema solo se limita a cargar los componentes del Dron Cuadricóptero y además soportar los esfuerzos provocados por los motores y el peso de cada componente.

*Exclusiones del sistema del producto*

El Estudio No incluye: Computadora de Vuelo Motores, GPS, ESC (Control de velocidad). Transmisor y Receptor

<p><b>Referencia</b></p>  <p>Fibra de Carbono</p>	<p><b>290</b> MPTS Unidad / Funcional</p>	
<p><b>Concepto Final</b></p> 	<p><b>0.71</b> MPTS Unidad / Funcional</p>	<p><b>100%</b> La mejora del rendimiento de la referencia</p>
<p><b>Menor Impacto</b></p> 	<p><b>0.71</b> MPTS Unidad / Funcional</p>	<p><b>100%</b> La mejora del rendimiento de la referencia</p>

**Figura 3.2.- Resultado de sustentabilidad (Sustainableminds).**

**Las unidades de Impacto Por Unidad Funcional (MPTS) son las que determinan el impacto ambiental que se genera al momento de desechar algún material.**

### 3.2.1.- Fibra de carbono.

#### Descripción

Frame para dron de fibra de carbono

Impactos por unidad funcional **290** MPTS por un año de uso

Importe total del servicio prestado durante la vida útil del producto **1x1 año de uso**

Impactos de servicio total entrega **290 MPTS**

El nivel de evaluación Metodología **Estimar SM 2013**

Impactos mayores

de entrada SBOM categoría de impacto etapa del ciclo de vida **Aluminio, primaria Cancerígenos Fabricación**

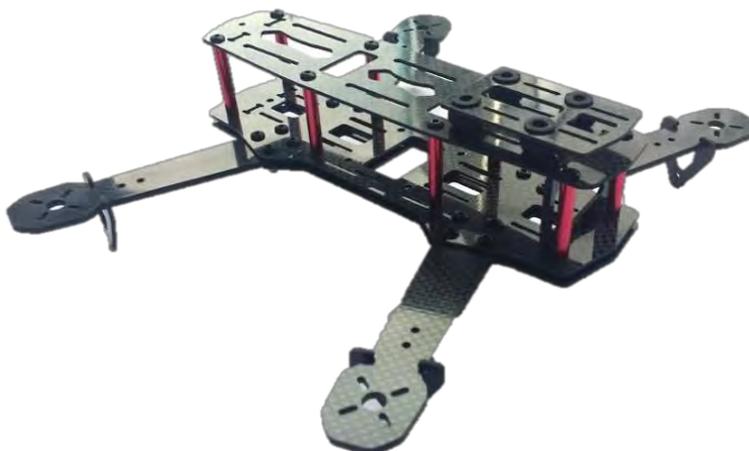


Figura 3.3.- Resultado Sustainableminds fibra de carbono.

Tabla 5.- Partes del frame de fibra de carbono.

Fibra de carbono								
Nombre	Material	Cantidad	Amt.	Unidades	mPts	CO <sub>2</sub> Eq. Kg	MS	Part ID
Separadores	Aluminio	12	20	lb	231	0.00137	ml	4
Base	Fibra de carbono	2	40	gramos	0.0463	1	ml	3
Brazos	Fibra de carbono	4	80	gramos	0.153	2.93	ml	1
Tornillos	Hierro fundido	12	200	gramos	56.2	6.68	ml	2
<b>Toda la manufactura</b>					<b>288</b>	<b>0.00138</b>	<b>ml</b>	

Categoría de impacto %

Daño ecológico	
Acidificación	0.88
Ecotoxicidad	4.05
Eutrofización	0.31
Calentamiento global	6.92
Agotamiento del ozono	0.01
Falta de recursos	
Agotamiento de combustibles fósiles	2.91
Daños a la salud humana	
Cancerígenos	77.67
No cancerígenos	5.01
Efectos respiratorios	1.57
Niebla tóxica	0.68

Total de impactos por categoría de impacto

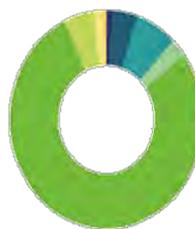


Figura 3.4.- Análisis sustainableminds fibra de carbono.

### 3.2.2.- Aluminio.

#### Descripción

Frame para dron de aluminio

Impactos por unidad funcional

**6.3** MPTS por un año de uso

Importe total del servicio prestado durante la vida útil del producto

1x1 año de uso

Impactos de servicio tot entrega

6.3 MPTS

El nivel de evaluación Metodología

Estimar SM 2013

Impactos mayores

de entrada SBOM categoría de impacto etapa del ciclo de vida

Hierro fundido  
Cancerígenos  
Fabricación



Figura 3.5.- Resultado Sustainableminds aluminio.

Tabla 6.- Partes del frame de aluminio.

Aluminio								
Nombre	Material	Cantidad	Amt.	Unidades	mPts	CO <sub>2</sub> Eq. Kg	MS	Part ID
Tornillos	Hierro fundido	16	200	gramos	4.88	0.00137	ml	22
Tuercas	Hierro fundido	16	35	gramos	0.855	2.93	ml	3
Chasis	Aluminio	1	280	gramos	0.596	6.68	ml	2
		<b>Toda la manufactura</b>			<b>6.33</b>	<b>9.69</b>	<b>ml</b>	



Figura 3.6.- Análisis sustainableminds aluminio.

### 3.2.3.- Madera.

#### Descripción

Frame para dron de madera

Impactos por unidad funcional **1.1** MPTS por un año de uso

Importe total del servicio prestado durante la vida útil del producto 1x1 año de uso

Impactos de servicio tot entrega 1.1 MPTS

El nivel de evaluación Metodología Estimar SM 2013

Impactos mayores

de entrada SBOM categoría de impacto etapa del ciclo de vida Hierro fundido Cancerígenos Fabricación



Figura 3.7.- Resultado Sustainableminds madera.

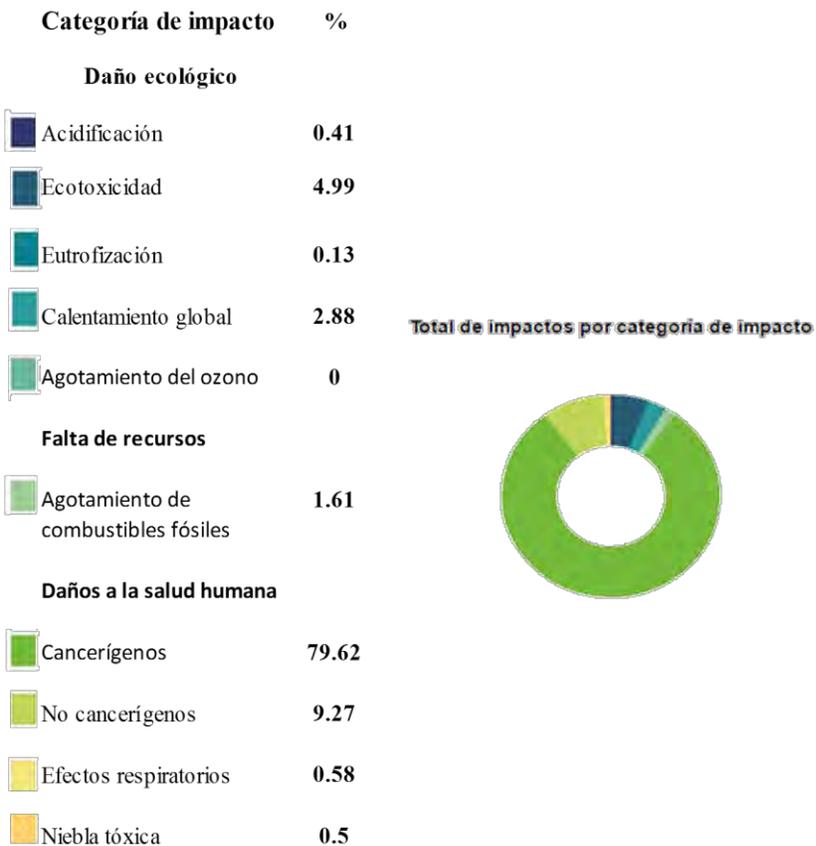


Figura 3.8.- Análisis Sustainableminds madera.

**Tabla 7.- Partes del frame de madera.**

Madera								
Nombre	Material	Cantidad	Amt.	Unidades	mPts	CO <sub>2</sub> Eq. Kg	MS	Part ID
Tuerca	Hierro fundido	4	10	gramos	0.611	0.0656	ml	4
Tornillos	Hierro fundido	4	150	gramos	0.916	0.984	ml	2
Base	Balsa	1	350	gramos	0.085	1.05	ml	1
Brazos	Carrizo	1	20	gramos	0.00209	0.0274	ml	3
<b>Toda la manufactura</b>					<b>288</b>	<b>0.00138</b>	<b>ml</b>	

### 3.2.4.- Carrizo.

Frame para dron de madera

Impactos por unidad funcional

**0.7**

MPTS por un año de uso

Importe total del servicio prestado durante la vida útil del producto

1x1 año de uso

Impactos de servicio tot entrega

0.71 MPTS

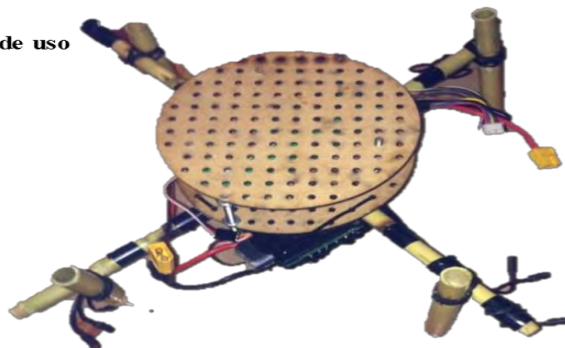
El nivel de evaluación Metodología

Estimar SM 2013

Impactos mayores

de entrada SBOM categoría de impacto etapa del ciclo de vida

Hierro fundido  
Cancerígenos  
Fabricación



**Figura 3.9.- Resultado Sustainableminds carrizo.**

Lo que nos dice el análisis de la Figura 3.9 es que los índices de Impacto por unidad funcional son menores a los del resto, debido a que contamina menos el medio ambiente, el carrizo se puede convertir en composta cuando es desechado.

**Tabla 8.- Partes del frame de aluminio.**

Carrizo								
Nombre	Material	Cantidad	Amt.	Unidades	mPts	CO <sub>2</sub> Eq. Kg	MS	Part ID
Tuerca	Hierro fundido	4	20	gramos	0.122	0.131	E	3
Tornillos	Hierro fundido	4	80	gramos	0.488	0.525	E	2
Base	Balsa	3	80	gramos	0.0583	0.721	E	1
Brazos	Carrizo	4	15	gramos	0.00812	0.152	E	5
Sincho	Polipropileno alta densidad	12	12	gramos	0.0345	0.189	E	4
<b>Toda la manufactura</b>					<b>288</b>	<b>0.00138</b>	<b>ml</b>	



**Figura 3.10.- Análisis Sustainableminds carrizo.**

Como se puede observar en la Figura 3.2 el carrizo (Arundo Donax) es un material ecológico ya que la manufactura de este no incluye uso de combustibles fósiles o de algún otro para su conformado, al ser desechado se entrega composta y dentro de su composición solo se hace uso algunos tornillos y tuercas metálicos, así como dos pequeñas bases de madera.

En el caso del frame de fibra de carbono el cual se tomó como referencia debido a la preferencia que se tiene dentro del uso en frames para dron cuadricóptero, tenemos que este es el que tiene mayor índice de contaminación debido a la composición del polímero, además que el uso de metales es mayor que el frame de carrizo.

# Capítulo 4

## **Análisis del Comportamiento Mecánico del Carrizo.**

### **4.1.- Caracterización mecánica del carrizo**

Para analizar el comportamiento mecánico de un material es necesario someterlo a una carga y medir las deformaciones que se generan en él, para esto se utilizó el método de extensometría eléctrica.

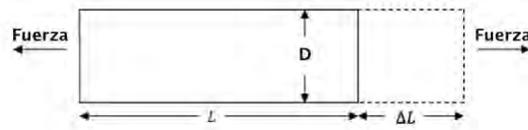
Es muy importante la selección de la galga extensométrica para poder caracterizar la probeta del material (Tamaño, STC “Temperatura de compensación” y su geometría).

Teniendo en cuenta las medidas de la probeta y el perfil que esta tenía, se seleccionó la galga, considerando que la deformación máxima al pegado de una galga no se debe de exceder un 6%.

En la práctica las mediciones con strain gages, la sensibilidad mínima de la galga es de  $1 \times 10^{-6}$  ( $\mu\epsilon$ ). Esto está basado en el cambio de resistencia que se obtiene al someter la probeta a tensión o compresión.

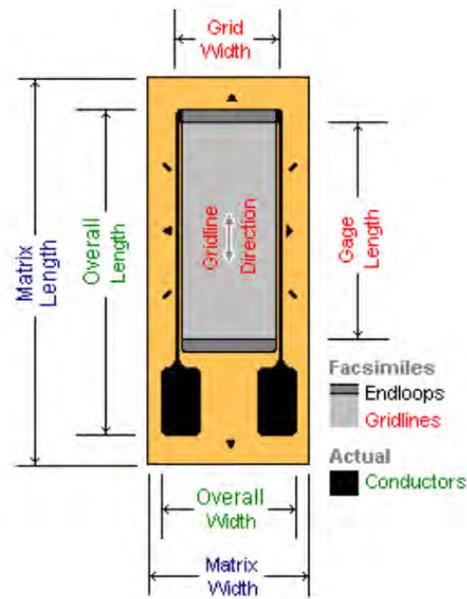
Los strain gages, son colocados longitudinal y transversalmente a la carga, con el objetivo de determinar la flexión introducida durante el ensayo y poder hacer los cálculos correspondientes y poder determinar las propiedades del material en este caso “carrizo” (Arundo Donax)

Un extensómetro o “strain gage” (en inglés) es un accesorio de medición que nos sirve para determinar las deformaciones de una probeta sujeta a una carga y utilizando la ley de Hooke. Se entiende por deformación a la cantidad de desplazamientos en un cuerpo debido a la fuerza aplicada sobre él. Si se pone en términos matemáticos, deformación ( $\epsilon$ ) se define como la fracción de cambio en longitud, como lo demuestra la figura a continuación:



$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Definición de deformación unitaria.  
**Figura 4.1.- Diagrama de un extensómetro.**



**Figura 4.2.- Extensómetro Acompañado de sus Terminales. [27]**

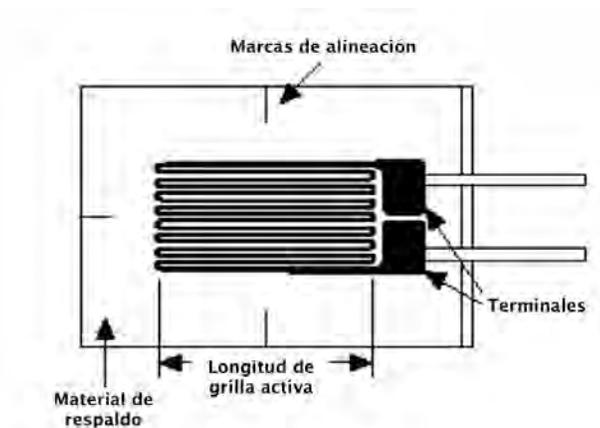
El signo de la deformación es determinado por la dirección ya sea tensión (positivo “+”) o a compresión (Negativo “-”) y es adimensional.

El método utilizado es el método puntual, mediante un extensómetro, dispositivo cuya resistencia eléctrica varía de forma proporcional al esfuerzo a que este es sometido.



**Figura 4.3.- Extensómetro Colocado Sobre Carrizo.**

El extensómetro del tipo Foil se muestra en la figura 4.4.



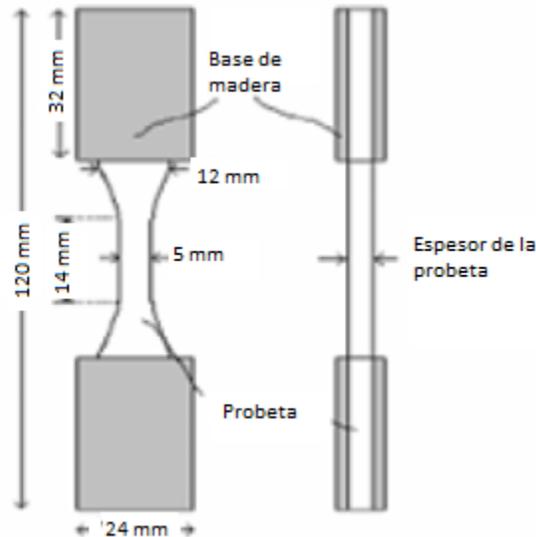
**Figura 4.4.- Galga extensométrica. [28]**

EL factor de galga de un extensómetro es dado por el fabricante, que es el factor de calibración en inglés “Gage Factor”.

El factor de galga para una galga extensométrica de tipo Foil es de aproximadamente 2.

## 4.2.- Anisotropía Mecánica.

En un principio se consideró hacer probetas basadas en la norma ASTM 143-94 y NTC944 como lo muestra la Figura



**Figura 4.5.- Medidas de probeta de madera; normas ASTM 143-94 e ISO TC-165 del INBAR.**  
[29]

Las muestras se colocaron en una máquina para pruebas de tensión, donde se le indujo carga a la primera muestra a una velocidad de 0,25mm/min.

Al momento de la prueba, se observó que la probeta se desplazaba de las mordazas moleteadas con poca fuerza inducida. Las mordazas no se pudieron apretar más alrededor de la muestra pues debido a la presión de las mordazas, se empezaban a abrir las fibras de la muestra.



**Figura 4.6.- Muestra con marcas generadas por la prensa, debido a la presión ejercida.**

En conclusión, se decidió no usar este tipo de probetas, pues debido a la naturaleza del material, fue imposible su anclaje mediante mordazas.

### **4.3.- Prueba de Flexión.**

Se optó por realizar muestras de carrizo en formas de tiras. En la figura 4.7 se observa cómo fueron cortadas las muestras.



**Figura 4.7.- Vista frontal de las muestras ya desbastadas.**

Después de tratar las muestras en tiras, se procedió con el pegado de las galgas, pues es de suma importancia que las galgas estén bien adheridas sobre la pieza para que las deformaciones provocadas por la fuerza sean transmitidas adecuadamente desde la pieza a través del adhesivo

Para el proceso de pegado, debemos tener cuidado con la preparación de la superficie. Las pruebas se realizaron en una configuración de cuarto de puente y en un estado biaxial de deformaciones, de un elemento sujeto a flexión tipo viga en cantiléver, a temperatura ambiente a medio día y carga variable. Pues es una forma de analizar el comportamiento Esfuerzo-Deformación. Dicho arreglo nos permitirá conocer el Esfuerzo de cedencia, el Módulo de Young y la relación de Poisson en el material. Concretamente, el caso estudiado se refiere a un elemento tipo viga en cantiléver con carga puntual en su extremo libre.

Para poder realizar la prueba, la muestra se fijó mediante prensas en “C”, mostradas en la figura, cuidando de colocarlas fuera del nudo siguiente a la colocación de la roseta a  $90^\circ$ , para así evitar que la presión ejercida por la prensa no interfiriera en la medición, ya que en las primeras pruebas se encontró que los extensómetros transversales salían de rango con muy poca presión de la prensa.

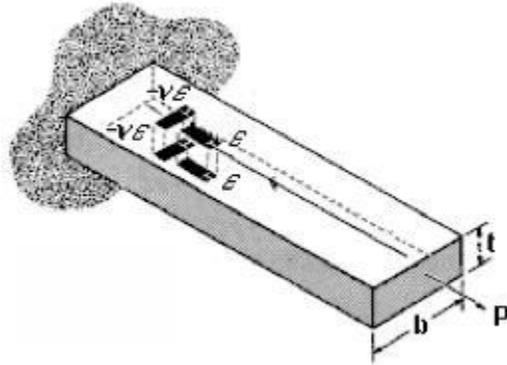


**Figura 4.8.- Vista superior de la muestra empotrada.**

Para poder medir las deformaciones generadas por las cargas se pegaron extensómetros en lugares específicos de la muestra, con el fin de conocer las deformaciones que se generaban debido a las fuerzas aplicadas.

Los extensómetros que se emplearon fueron del tipo EA-06-062TT-120, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a la dimensión de la probeta y al material.

Las muestras fueron cortadas en formas de vigas con sección compuesta, esto debido a la forma natural del carrizo, los extensómetros fueron pegados en la superficie superior e inferior a la misma distancia del empotramiento. En la figura se muestra, mediante un esquema, la ubicación y orientación de los extensómetros en una muestra de las ensayadas en el presente estudio.



**Figura 4.9- Esquema general de una muestra instrumentada. [30]**

En la figura 4.9 se muestran las distancias en la viga, tomando como referencia el empotramiento, a las cuales se colocaron cada uno de los arreglos de extensómetros. En cada una de las muestras se colocaron dos arreglos de extensómetros, los cuales fueron sometidos a tensión y compresión.

**Tabla 9. Tabla de características y distancias a las cuales se colocaron las galgas en las muestras.**

Muestra	Tipo de extensómetro	X1(m) Superior	X2(m) Inferior
1	EA-06-062TT-120.	0.00515	0.006190
2	EA-06-062TT-120.	0.02580	0.02578
3	EA-06-062TT-120.	0.02156	0.02160

Debido a la naturaleza del material, que presentaba dos superficies, se optó por pegar dos arreglos de extensómetros. Los arreglos de extensómetros fueron pegados en la muestra a diferentes distancias mostradas en la figura 4.9, tomando como referencia el empotramiento.

El arreglo de extensómetros está compuesto por un extensómetro colocado de manera horizontal y otro de manera vertical, lo que hizo posible medir las deformaciones en el eje longitudinal y, a la vez, poder medir las deformaciones de manera transversal en la muestra.



**Figura 4.10.- Arreglo de extensómetros. [31]**

#### 4.4.- Mediciones con galgas extensométricas.

En la práctica, las mediciones con extensómetros raramente involucran cantidades mayores que unas pocas microdeformaciones ( $\mu\epsilon$ ). Por lo tanto, para medir las deformaciones y posteriormente aplicar la Ley de Hooke se requiere de máxima precisión sobre pequeños cambios de resistencia. El factor de galga es la calibración que proporciona el fabricante de las galgas. Suponiendo que una pieza de prueba sufre una deformación de  $500\mu\epsilon$ . Un extensómetro con un factor de galga de 2 mostrará un cambio en su resistencia eléctrica de  $2*(500*10^{-6}) = 0.1\%$ . Para una galga de  $120\Omega$ , es un cambio solo de  $0.12\Omega$ . Para medir cambios tan pequeños de resistencia y compensar la sensibilidad térmica, los extensómetros son medibles con un puente de Wheatstone.

El circuito general de puente de Wheatstone, consiste en cuatro brazos resistivos con una excitación de voltaje,  $V_{EX}$ , que se aplica a través del puente. El voltaje de salida del puente,  $V_0$ , es igual a:

$$V_0 = \left[ \frac{R_3 R_3 + R_4 - R_2 R_1 + R_2}{R_1 R_2 + R_3 R_4} \right] * V_{EX} \quad (4.1)$$

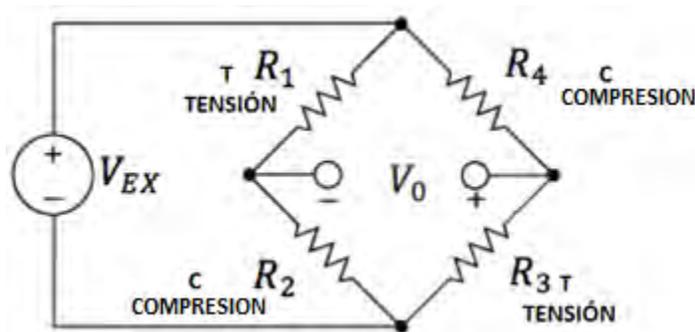
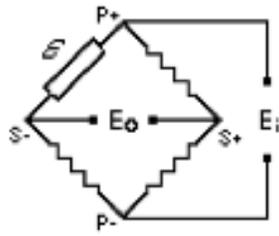


Figura 4.11.- Puente de Wheatstone. [32]

De la ecuación anterior, cuando se da que  $R_1 R_2 = R_4 R_3$ , el voltaje de salida  $V_0$  es nulo. Bajo estas condiciones, se dice que el puente se encuentra balanceado. Cualquier cambio de resistencia sobre cualquier brazo del puente, resultará en una salida del voltaje no nula. Por lo que, si se reemplaza  $R_4$  con un extensómetro activo, cualquier cambio en la resistencia del extensómetro causará el desbalance del puente y producirá una salida no nula proporcional al voltaje producido por la carga aplicada.

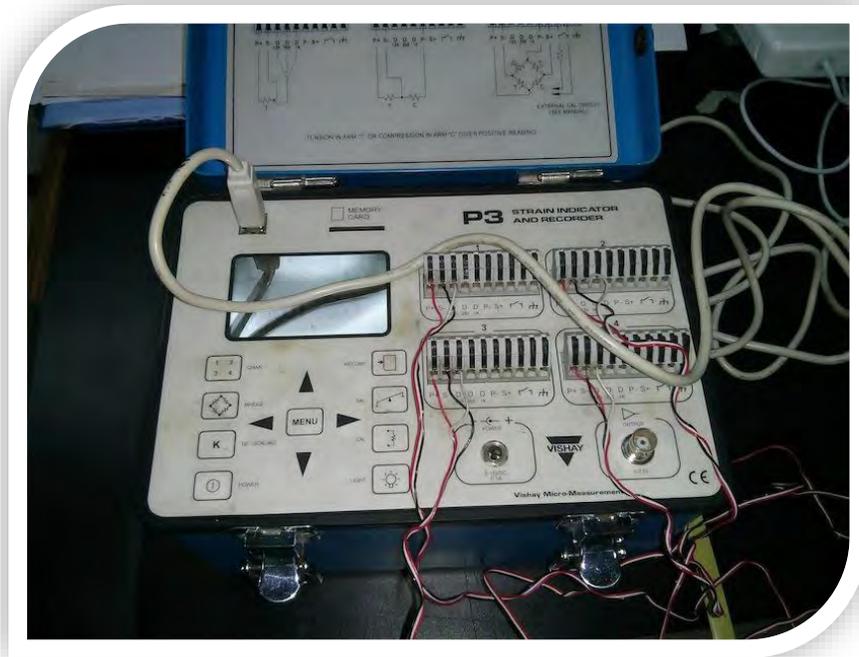
Para realizar las mediciones de la deformación experimentada por cada extensómetro, se utilizó un indicador de deformaciones portátil P-3 para medir las microdeformaciones que se obtenían al variar la carga aplicada a la probeta. La conexión de cada extensómetro al dispositivo de medición fue en un arreglo de cuarto de puente debido a que nos interesaba seguir la evolución de la deformación en cada uno de ellos.



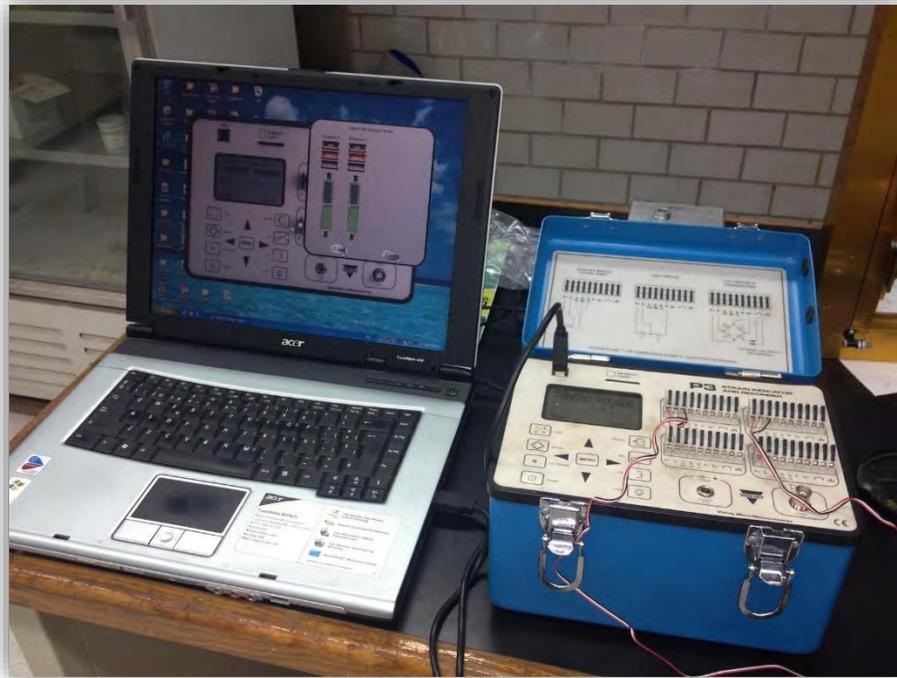
**Figura 4.12.- Arreglo de resistencias en  $\frac{1}{4}$  de puente.**

Esta configuración longitudinal de la galga responderá a las cargas de flexión, pero es inafectada por las cargas torsionales si la galga se monta en la línea central.

Con el P-3 ilustrado en las figuras fue posible registrar de los extensómetros ubicados en la muestra, pues este equipo tiene 4 canales para la conexión de extensómetros, además, gracias a este equipo se hizo posible realizar una captura de datos de cada extensómetro por segundo.



**Figura 4.13.- Medidor portátil de deformaciones modelo P-3 marca Micro-Measurements.**



**Figura 4.14.- Conexión del P-3 vía USB, para el registro de las deformaciones.**

#### **4.5.- Sección transversal de la muestra**

Para poder proceder con el cálculo de los esfuerzos en las muestras instrumentadas, se tuvo que recurrir al uso de un software de CAD, elaborándose un modelo de cada muestra.

Esto debido a que las secciones transversales de cada una de las muestras son irregulares y diferentes entre sí, lo que hizo muy compleja la obtención del centroide y momento de inercia que se aplican en la ecuación

$$\sigma_x = \frac{F(1-x_0)\frac{c}{2}}{I}$$

Dónde: F, fuerza aplicada en el extremo libre

l, distancia del empotramiento hasta el punto de aplicación de la fuerza

$x_0$ , distancia del empotramiento hasta el centro de la galga

$\frac{c}{2}$ , distancia del centroide de la sección transversal hasta la superficie

El proceso para la obtención de estos datos se basó en dos pasos; primero se elaboró un modelo de cada una de las muestras.

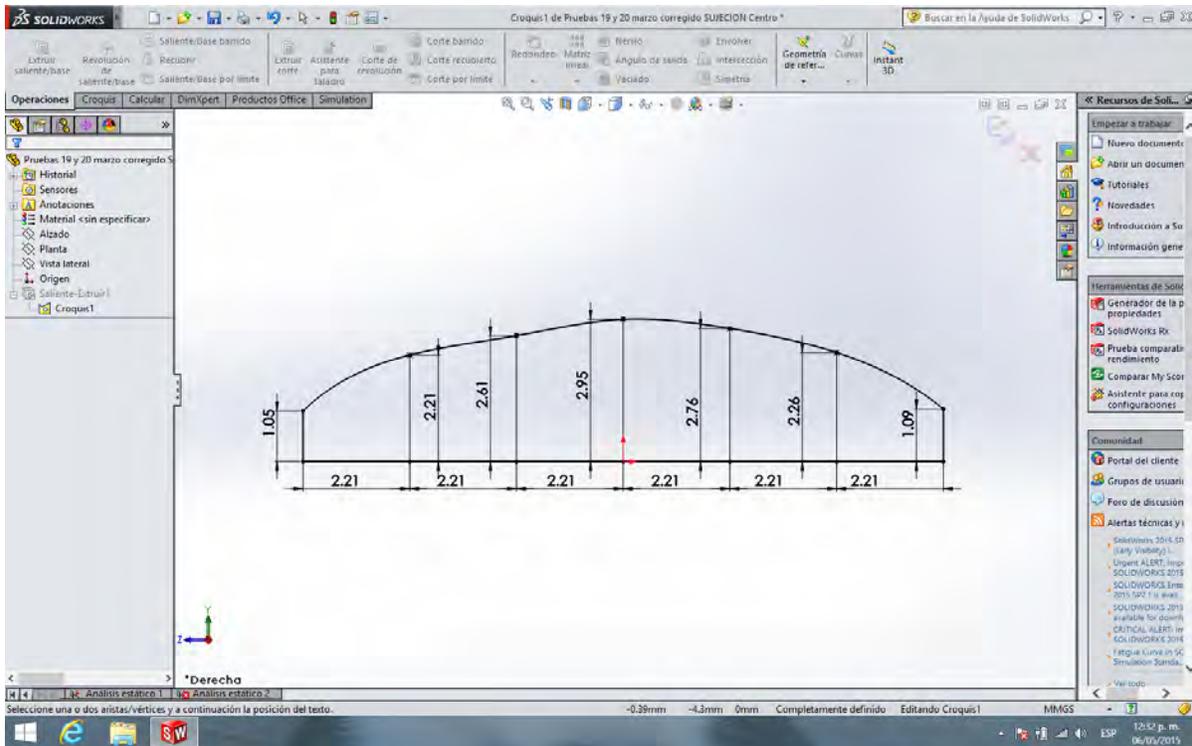


Figura 4.15.- Croquis con medidas de la sección transversal de una muestra de carrizo.

El segundo paso fue usar una herramienta de CAD, que se llama propiedades de la sección transversal.

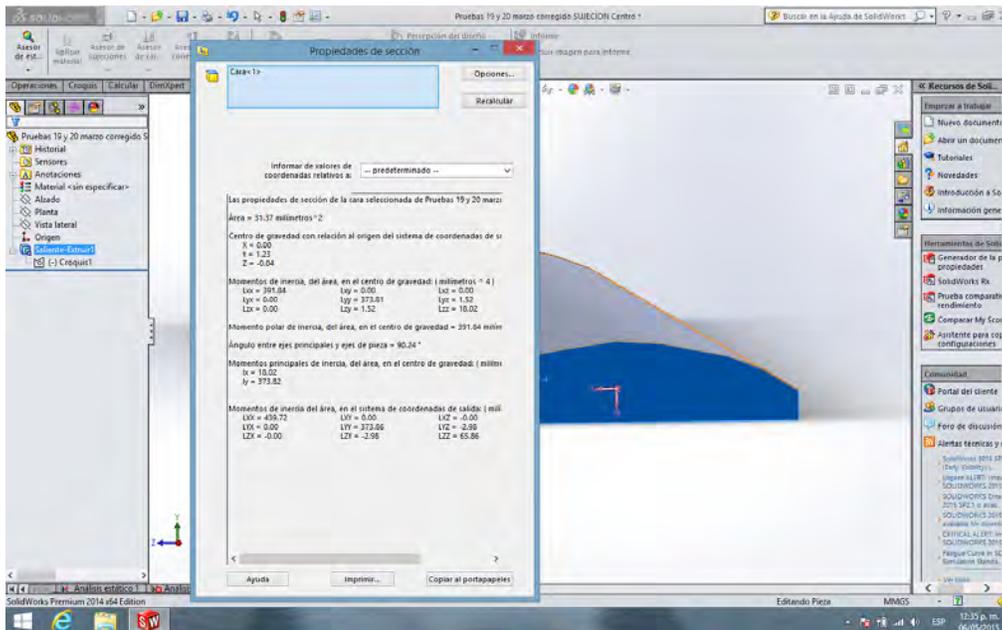


Figura 4.16.- Propiedades se sección transversal de la muestra de carrizo.

Los análisis que se realizan actualmente determinarán la viabilidad para construir el frame completamente de carrizo o de solo algunos de los elementos que los conforman.

La relevancia de este tema está ligada a la protección del medio ambiente, se busca desarrollar vehículos más eficientes que requieran menos energía para desplazarse.

Se busca sustituir materiales convencionales utilizados en la industria del transporte que sean amigables con el medio ambiente.

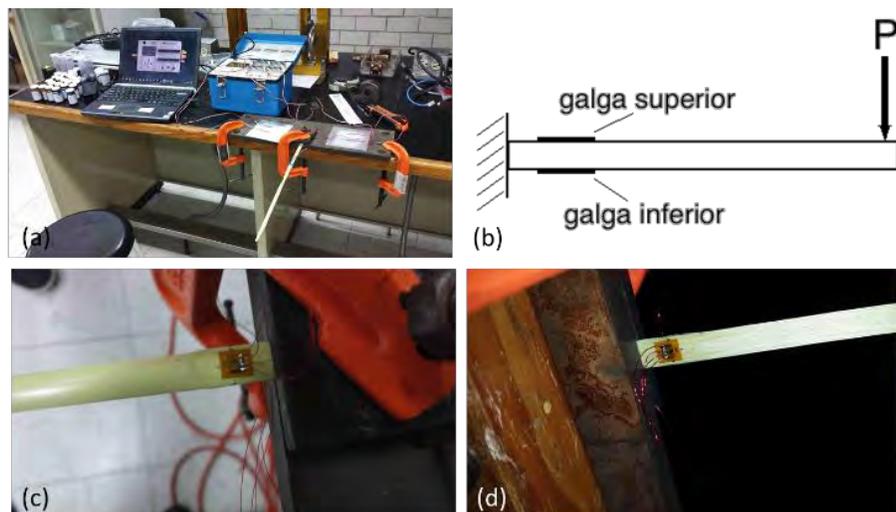
La aplicación que se le está dando al material es innovadora, casi no existe literatura sobre comportamiento mecánico, y su estudio permitirá encontrar aplicaciones diferentes a la presente, lo cual permitirá generar más desarrollos sustentables.

#### 4.6.- Caracterización del carrizo

Se realizaron pruebas de flexión en probetas, del carrizo utilizado en el vehículo, dispuestas en voladizo, se recurrió a la técnica experimental de extensometría eléctrica por lo que se realizó la instrumentación con strain gages de la serie EA-13-062LZ-120 de Micro-Measurements, que miden microdeformaciones longitudinal.

Se pegaron los sensores en la parte superior e inferior de la probeta, Figura 4.17 (b) - (c), es decir en la cáscara del carrizo como en la fibra, respectivamente.

La prueba consistió en colocar paulatinamente pesas de 25 gr en una sección de la viga en voladizo, hasta que se perdiera la proporcionalidad de las microdeformaciones que se iban presentado con cada incremento, Figura 4.17 (d).



**Figura 4.17. – Caracterización del Carrizo (a) probeta, indicador de deformación modelo P3 de Micro-measurements y computadora para adquisición de datos; (b) arreglo en voladizo con carga puntual en el extremo libre de la probeta; (c) roseta colocada en la parte superior de la probeta; (d) arreglo en voladizo con carga puntual en el extremo libre de la probeta.**

El esfuerzo normal se calculó con la ecuación:

$$\sigma_1 = \frac{F(l - x_0) \frac{c}{2}}{I}$$

En donde:

- l – largo
- x – distancia del empotramiento al centro de la galga
- I – momento de inercia
- c - distancia del eje neutro a la galga

Las probetas ensayadas para la caracterización del material fueron obtenidas del carrizo del cual fue elaborado el frame elegido. Como es bien sabido la prueba que resulta bastante común para conocer las propiedades de un material es la de tensión; este fue el primer paso que se dio para caracterizar el material. Se presentó el problema de sujeción con las mordazas del equipo (máquina de ensayo de tensión uniaxial modelo MTS 858 MINIBIONIX), no se pudo aplicar una carga mayor a 40 N debido a que el carrizo se desgarró en dirección longitudinal (en la misma que es aplicada la carga). Se probaron varios tipos de mordaza, pero ninguna logró sujetar la probeta adecuadamente. Por lo anterior se optó por realizar pruebas de flexión en probetas dispuestas en voladizo, se recurrió a la técnica experimental de extensometría eléctrica por lo que se realizó la instrumentación con 4 strain gages rosetas de la serie EA-06-062TT-120 de Micro-Measurements, que miden microdeformaciones longitudinal y transversalmente. Así como con un strain gage longitudinal de la serie EA-13-062LZ-120.

Se pegaron rosetas en la parte superior e inferior de la probeta, es decir en la cáscara del carrizo como en la fibra, respectivamente. Cabe mencionar que se presentó un problema en la primera instrumentación realizada, los strain gages se colocaron cerca del empotramiento lo cual generó que, a la hora de empotrar la probeta con la prensa, las fibras del carrizo se abrieran lo que generó una deformación transversal en el material y por tanto en las galgas, lo que provocó que se salieran de rango y por tanto quedarán inservibles.

Se instrumentó de nuevo, una probeta con una sola roseta (ya que no sé contaba con más) y otra con una galga longitudinal solo que ahora el empotramiento se hizo muy cerca del nudo para que limitara la deformación transversal del material y del otro lado del nudo se pegaron las galgas. Esto solucionó el problema.

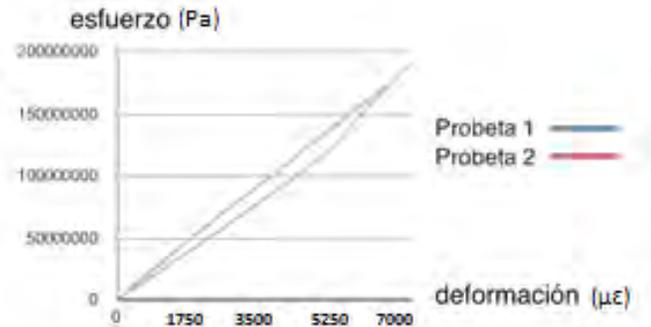


**Figura 4.18.- Nudo en la vara de carrizo.**

#### 4.7.- Caracterización mecánica resultados.

Se analizaron dos muestras del carrizo utilizado para la construcción del chasis. Las dimensiones se muestran en la tabla 10. Los resultados corresponden a la roseta y la galga colocadas en la parte superior de las probetas.

Las gráficas obtenidas de las pruebas se muestran en la figura 6 (solo se graficó la parte lineal).



**Figura.4.19.- Diagrama Esfuerzo-Deformación.**

**Tabla 10. Dimensiones y propiedades mecánicas de las probetas.**

Probeta	$l$ (cm)	$x^*$ (cm)	$h$ (cm)	$b$ (cm)	$\sigma_y$ (MPa)	$E$ (GPa)	$\nu$
<b>1</b>	6.35	0.5	0.15	0.85	190.9	28.5	0.48
<b>2</b>	10	1	0.15	0.9	181.7	26.5	0.65

Donde:

- l – largo
- x – distancia del empotramiento al centro de la galga
- h – altura de la sección transversal
- b – ancho de la sección transversal
- $\sigma_y$  – esfuerzo de fluencia
- E – Módulo Elástico
- $\nu$  – Relación de Poisson
- c – Distancia del eje neutro a la superficie de la probeta
- I – Momento de inercia

El módulo de Young se obtuvo con la pendiente que presentó cada uno de los diagramas.

Es de resaltar que el material presenta un comportamiento lineal en el rango mostrado en los diagramas, después de este el comportamiento es no lineal y plástico ya que después de la descarga el material ya no regresó a su configuración inicial, los diagramas solo comprenden esta parte.

# Capítulo 5

## Análisis Estructural

### 5.1 Propuestas para frame de carrizo.

Con el objetivo de poder predecir en cierto grado si los frames de carrizo iban a ser rígidos presentando una deformación muy pequeña, se realizó el análisis de Elemento Finito en un software de CAD el cual se mostrará en el presente capítulo. Para el frame del cuadricóptero se proponen tres modelos o configuraciones (H simple, H doble y Cruceta).

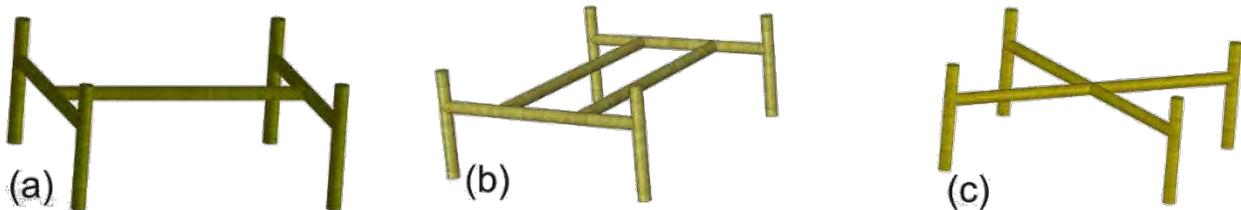


Figura 5.1.- Frames en CAD (a) Forma H simple (b) Forma de H Doble (c) Cruceta.

### 5.2.- Construcción de frames.

La manufactura del marco para el dron fue un proceso por el cual comienza desde la selección del material en este caso el Carrizo que se usará dentro del mismo, el corte y ensamblaje para que este tenga las características necesarias para poder soportar los componentes del mismo, así como las cargas a las que se somete debido a los motores al momento del vuelo, a continuación, se describirá el proceso de manufactura:

- A) Selección de materia prima. – El carrizo es una planta que crece principalmente en lugares donde hay mucha humedad, pero no todo el carrizo cumple con las mismas características, escoger un carrizo para usarlo como frame implica que este al momento de remover la capa de hoja que lo protege este totalmente liso y además sin alguna fractura como se muestra en la siguiente imagen.



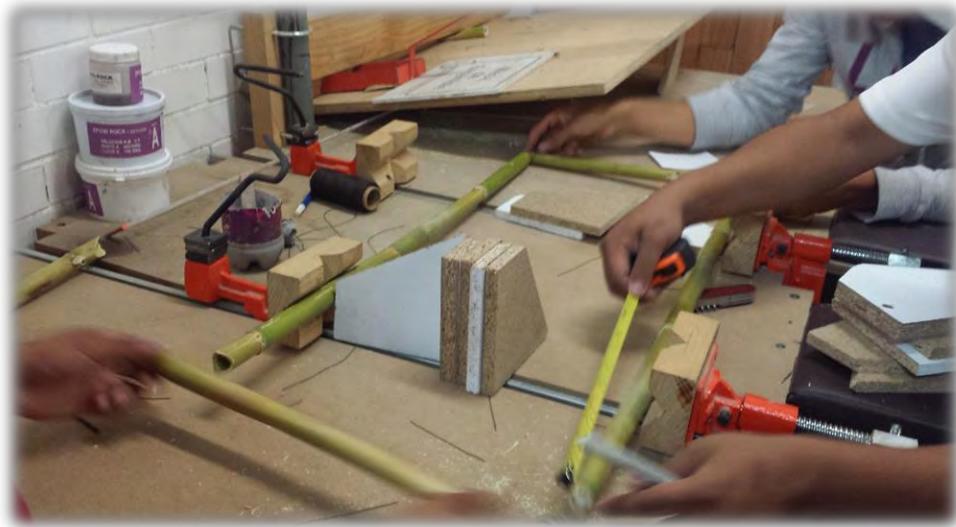
**Figura 5.2.- Carrizo apto para uso en frame.**

B) Después de seleccionar el carrizo lo siguiente es cortar el carrizo a la longitud deseada para el frame.



**Figura 5.3.- Corte longitudinal del carrizo.**

C) Antes de realizar el ensamble del carrizo para darle forma al frame es necesario cuadrar el mismo para que así quede totalmente alineado, ya que es muy importante esto debido a que los motores deben quedar totalmente verticales para que el cuadricóptero pueda volar de manera estable.



**Figura 5.4.- Cuadrando el frame antes de ensamblar.**

- D) Para realizar el ensamble entre tubos de carrizo es necesario hacer uso de un sacabocados para que uno de los tubos pueda embonar con el otro.



**Figura 5.5.- Corte con sacabocados.**

- E) Para ensamblar el frame se utilizó un hilo cáñamo cubierto con chapopote, este hilo es muy usado en la industria de la pirotecnia, el amarre que une al carrizo tiene que pasar de manera diagonal a manera que abrace a las dos piezas a unir, para que este quede más fijo se le atraviesa a una de las dos piezas un pasador de carrizo, al final se realiza un amarre para que este no se vaya a soltar al momento de que el marco este en el aire.



Figura 5.6.- Ensamble con hilo cubierto de chapopote.

### 5.3.1 Análisis de Elemento Finito.

Para el frame en forma de cruceta se puede observar que, sin considerar lo que sucede en los 4 apoyos, la deformación máxima es de 6.769 microdeformaciones y el esfuerzo efectivo de Von Mises no excede 1 MPa de magnitud para una carga en la parte central de la estructura de 0.5 Kg (se consideró el peso de baterías, tarjeta y otros componentes).

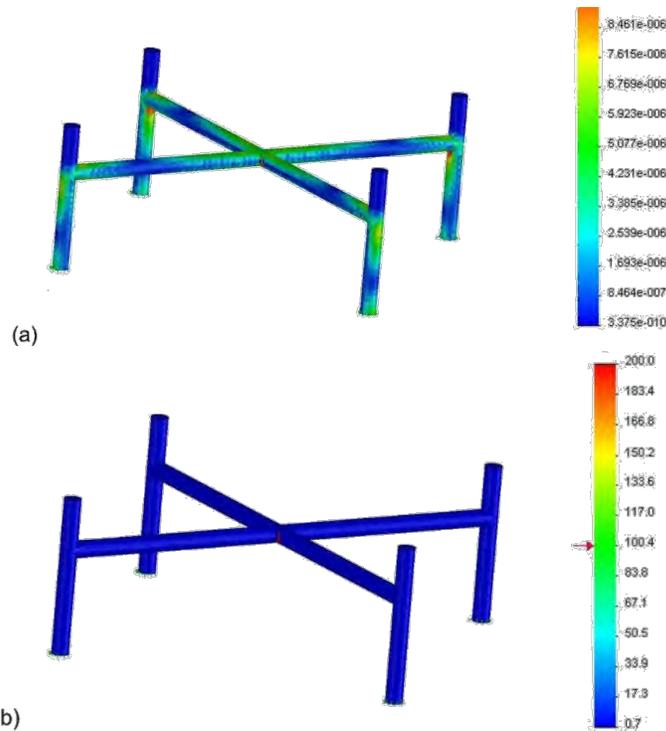
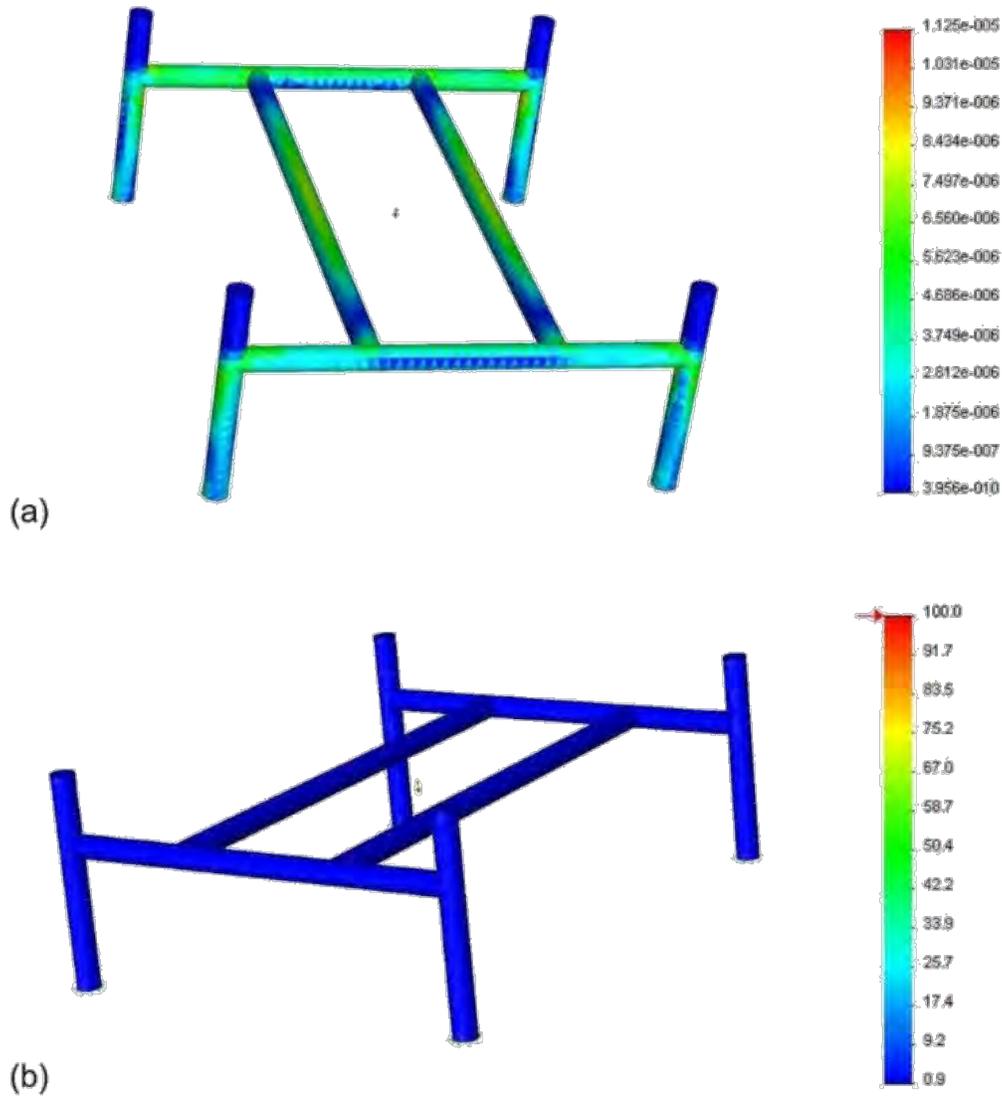
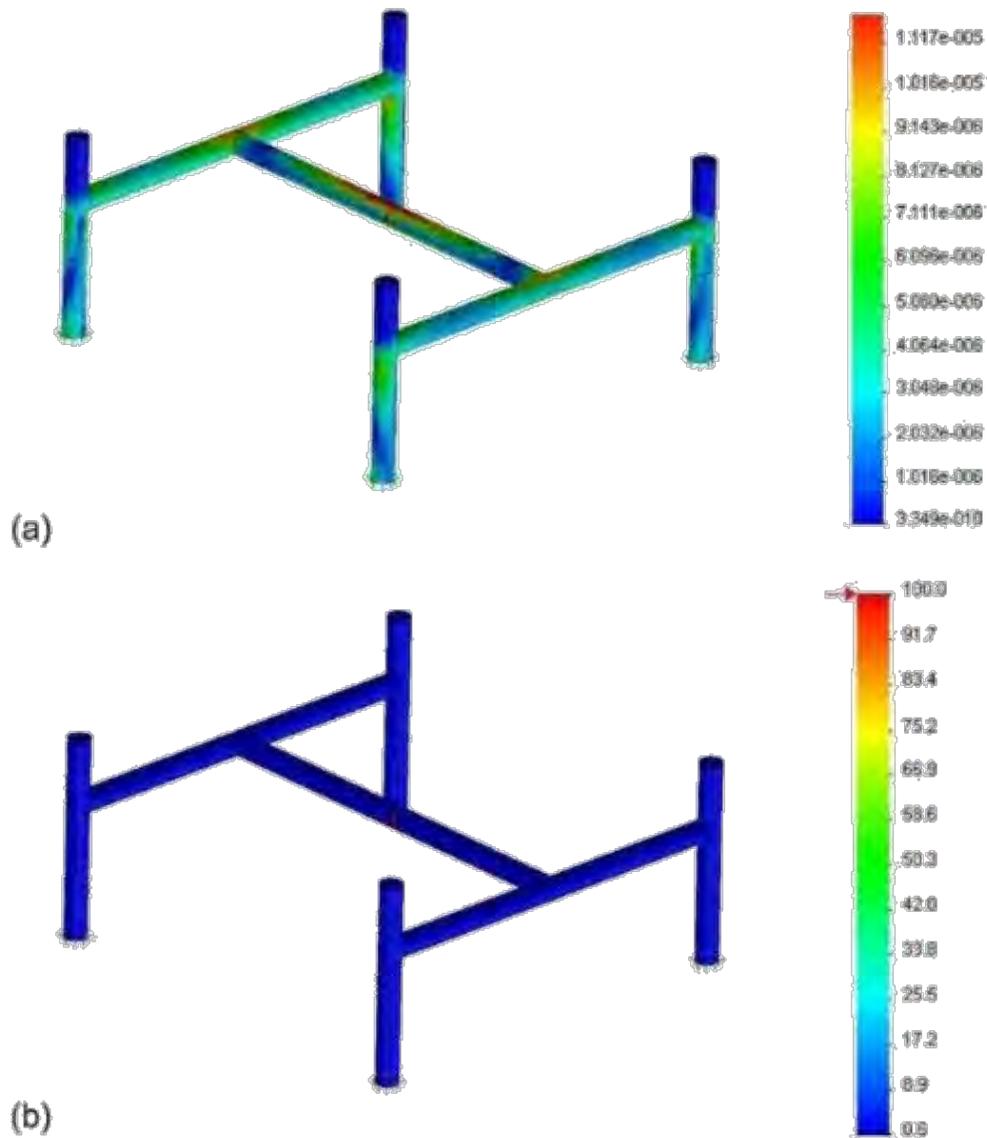


Figura 5.7.- Elemento Finito en cruceta (a) deformaciones y; (b) esfuerzo de Von Mises en MPa.



**Figura 5.8.- Elemento Finito en frame H doble (a) deformaciones y; (b) esfuerzo de Von Mises en MPa.**

Al igual que en el caso anterior tanto esfuerzo como deformaciones son muy bajas para el medio kilogramo de peso colocado en la parte central del frame.



**Figura 5.9.- Elemento Finito en frame H simple (a) deformaciones y; (b) esfuerzo de Von Mises en MPa.**

Debido a que la parte central de éste frame solo cuenta con un travesaño, el esfuerzo y las deformaciones son de mayor magnitud en comparación a los modelos anteriores, aun así se percibe de muy baja magnitud, esto se deberá comprobar una vez que ya esté en funcionamiento.

### 5.3.2.- Análisis experimental

#### 5.3.2.1.- Instrumentación

La instrumentación por medio de galgas extensométricas es una herramienta muy útil que no permite saber las microdeformaciones que tiene el frame al momento de estar en vuelo.

- A) Primero utilizamos un vidrio para colocar ahí la galga antes de colocarla en la zona del frame, por esa razón esta zona tendrá que estar libre de toda impureza que pueda adherirse a la misma.



Figura 5.10.- Limpiando vidrio.

- B) Se le aplica desengrasante para quitarle toda impureza, después se limpia con una gaza.



Figura 5.11.- Desengrasante en spray.

C) Se limpia con desengrasante todo el instrumental que se usara: bisturí, pinzas y tijeras.



**Figura 5.12.- Limpieza de instrumental.**

D) Se saca del empaque la galga extensométrica y se coloca sobre el vidrio.



**Figura 5.13.- Galga sobre el vidrio.**

- E) Se le coloca una cinta adhesiva sobre la galga la cual nos permitirá colocar de mejor manera sobre la superficie del carrizo.



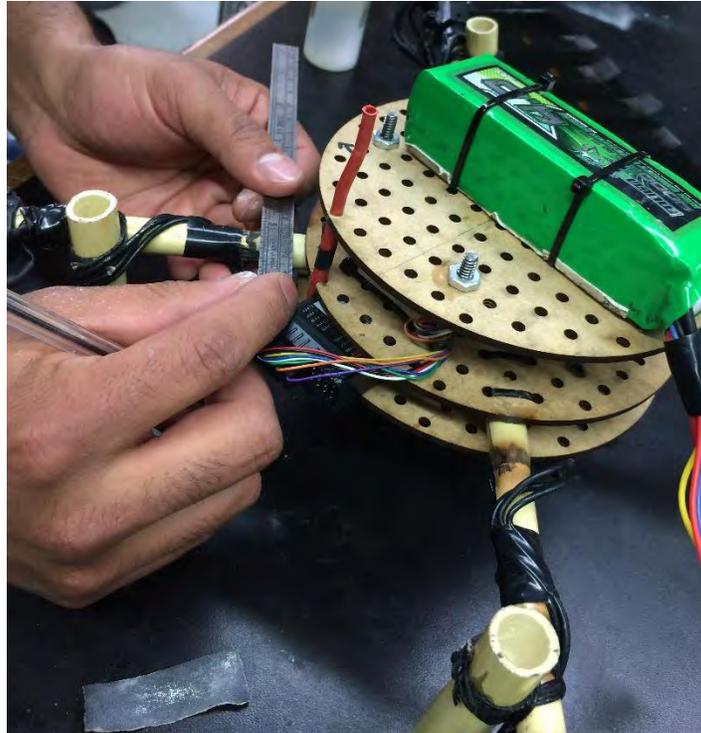
**Figura 5.14.- Cinta adhesiva colocada sobre la galga.**

- F) Se lija sobre la superficie donde se colocará la galga extensométrica.



**Figura 5.15.- Lijando de superficie.**

- G) Se colocan las marcas necesarias para que la galga quede bien orientada sobre la superficie del marco.



**Figura 5.16.- Colocando las marcas para orientar galga.**

- H) Aplicamos neutralizador sobre la superficie para prepararla antes de colocar la galga y el adhesivo que fijara a la galga.



**Figura 5.17.- Colocando las marcas para orientar galga.**

I) Se coloca el adhesivo para fijar la galga a la superficie.



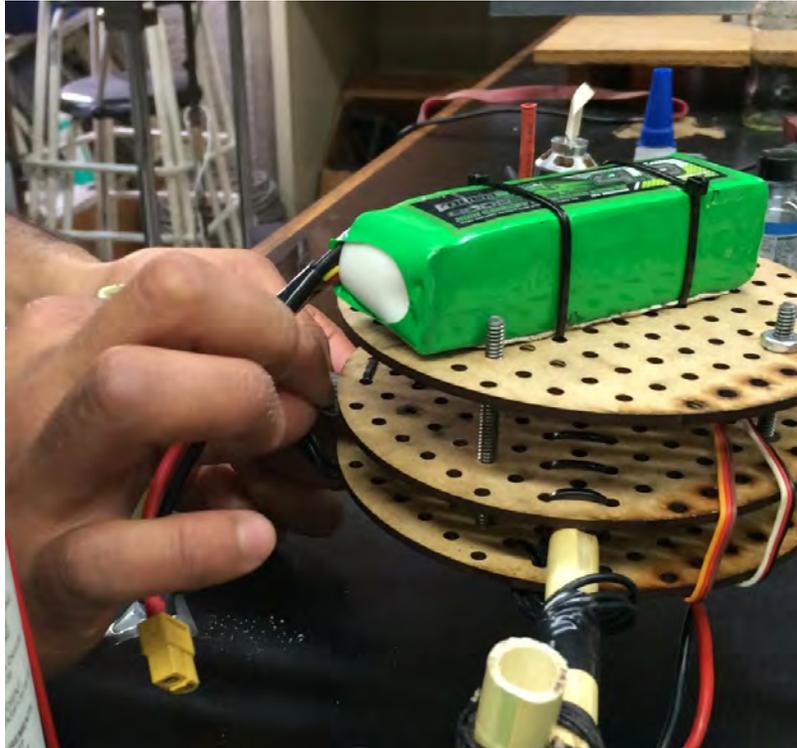
**Figura 5.18.- Colocando adhesivo.**

J) Auxiliados de una gaza mantenemos presionado por unos segundos la galga sobre la superficie teniendo cuidado de no hacer mucha presión.



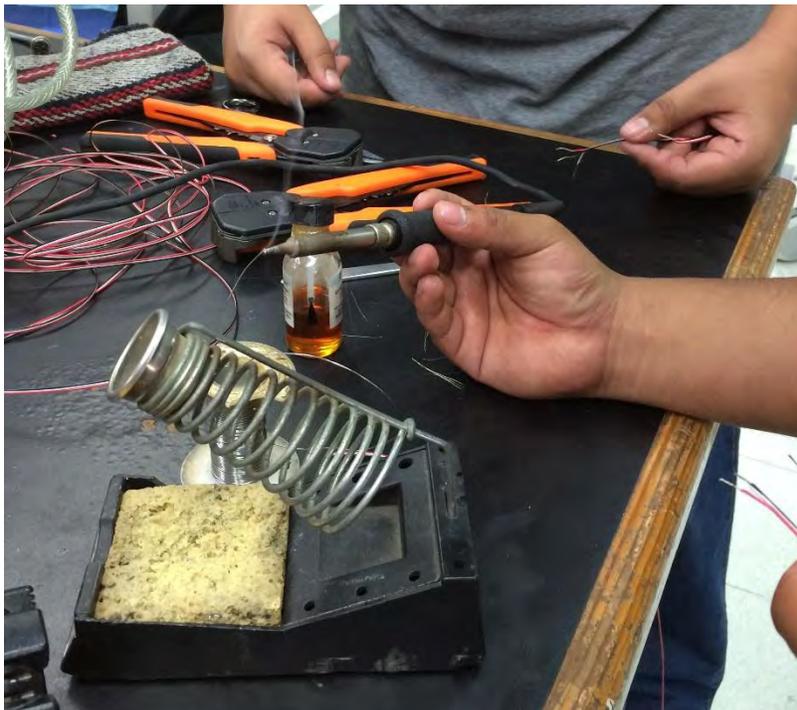
**Figura 5.19.- Colocando adhesivo.**

K) Se retira la cinta adhesiva.



**Figura 5.20.- Retirando cinta adhesiva.**

L) Se preparan las terminales que serán soldadas en la galga.



**Figura 5.21.- Preparando terminales.**

M) Soldamos las terminales en la galga extensométrica.

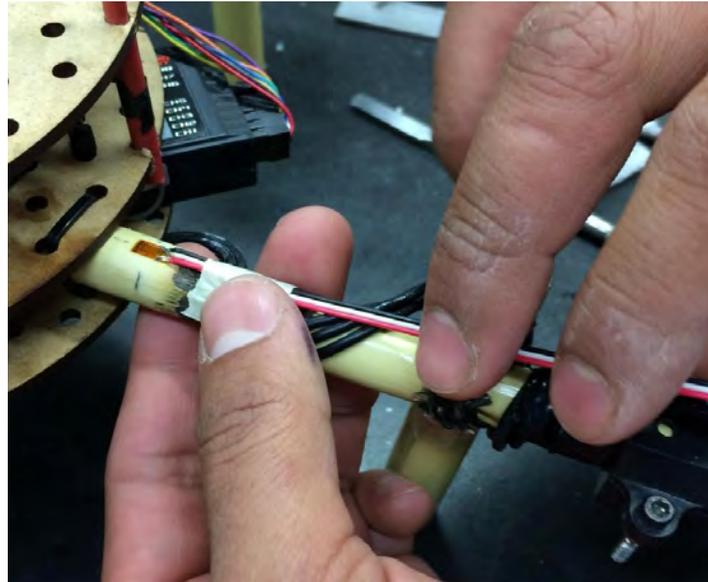


Figura 5.22.- Soldando las terminales.

### 5.3.3 Pruebas en vuelo.

Las figuras 5.23 y 5.25 muestran las gráficas de microdeformación vs tiempo de cada uno de los extensómetros colocados en los frames de las figuras 5.24 y 5.26. La prueba se realizó en vuelo, manteniendo al dron a una altura de 1.10 m, realizando movimientos de alabeo (pitch) y paneo (yaw) con el objetivo de generar deformación en el frame, también se puede observar que las microdeformaciones son realmente bajas lo que nos indica que el frame tiene buena rigidez para ser aplicado en una estructura de cuadricóptero.

#### 5.3.3.1 Resultados

##### Frame Prototipo 1

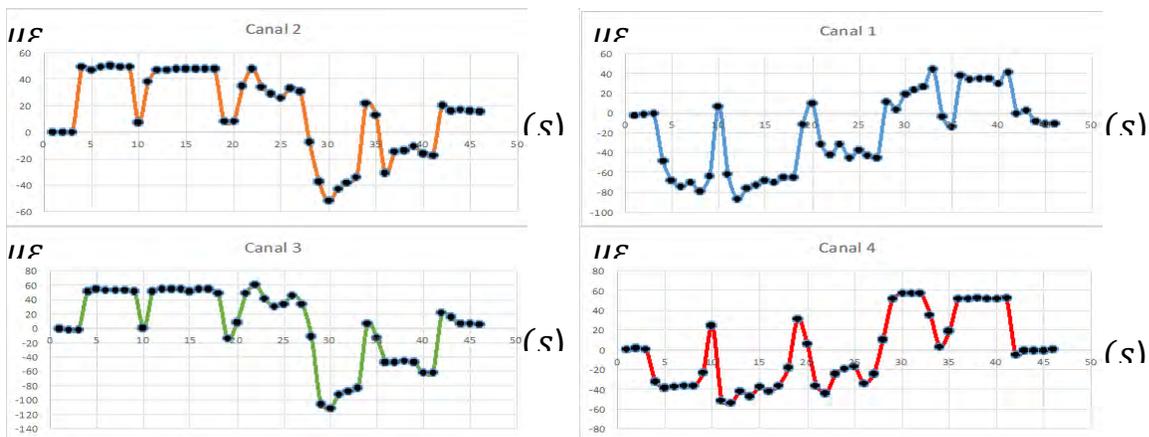


Figura 5.23.- Graficas microdeformación-tiempo.

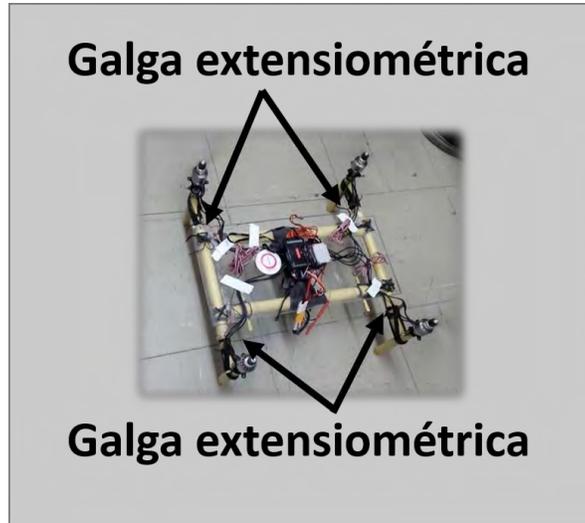


Figura 5.24.- Drone con frame tipo H doble

**Frame Prototipo 2**

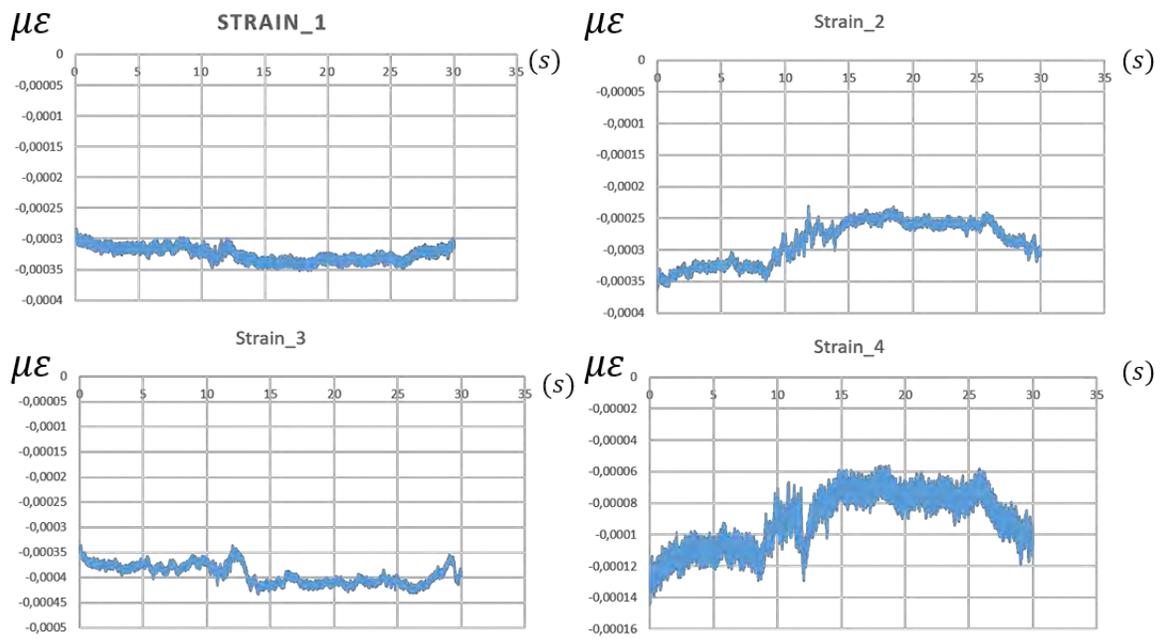


Figura 5.25.- Graficas Extensiométrica a Frame.

**Galga extensiométrica**



**Galga extensiométrica**

**Figura 5.26.- Drone con frame tipo cruzeta**

En las figuras 5.24 y 5.26 se indican con una flecha el lugar donde se han colocado las galgas extensiométricas para poder obtener los valores de las microdeformaciones que se tienen al momento de estar en vuelo un cuadricóptero, también se debe tomar en cuenta que la instrumentación se tiene que colocar lo más cerca posible de la parte central del frame (condición similar al empotramiento de una viga en voladizo) ya que es aquí donde tenemos mayor concentración de esfuerzos.

#### **5.3.4 Caída libre e Impacto.**

El análisis anterior sirve básicamente para determinar qué tan rígidos están los frames ya que si no lo son suficiente habrá problemas en el control dinámico durante el vuelo por problemas de inestabilidad.

Los drones están expuestos a impactos por caídas o choques con alguna edificación, por tal motivo es indispensable determinar que tanta resistencia presentan los frames de carrizo. Se realizaron dos pruebas a cada frame, dejándolos caer en posición horizontal, así como en posición vertical a una distancia de casi 20 m de altura y que corresponde a lo que mide el edificio del Centro Tecnológico Aragón en donde se llevaron a cabo dichas pruebas, Fig. 8. Ninguno de los frames sufrió daño alguno por los impactos de la caída.



**Figura 5.27.- Pruebas de caída libre realizadas en el Edificio del Centro Tecnológico Aragón.**

Las pruebas anteriores no causaron daño alguno a ninguno de los tres frames, por tal motivo se realizó otro tipo de prueba de impacto, nada ortodoxa pero que si embargo muestra la capacidad del carrizo para soportar esta clase de impacto. Los frames fueron golpeados por una persona a través de un bate de béisbol, figura 5.26



**Figura 5.28.- Secuencia del batazo al frame de carrizo.**

Los frames estuvieron sujetos a una fuerza aproximadamente de 3500N, solo se les impactó una vez, aparentemente no sufrieron ningún daño, sin embargo, es necesario realizar una observación más detallada para ver si se formaron grietas. Cabe destacar que, aunque se hayan formado, el frame seguía estando rígido mostrando capacidad para trabajar estructuralmente.

# Conclusiones

- Las deformaciones obtenidas de las pruebas realizadas son muy bajas, lo cual indica que el material presenta buena rigidez.
- El esfuerzo efectivo de Von Mises está alrededor de un 1% del esfuerzo de cedencia del material.
- Las pruebas de impacto por bat y por caída libre a 20 m de altura no generaron daño aparente en el carrizo, la estructura se mantuvo rígida.
- Los impactos recibidos por los frames a 20 m de altura y los no generaron daño alguno en el material, sin embargo, se realizarán más pruebas de este tipo a mayor altura.
- De acuerdo a los resultados arrojados por los análisis de simulación y por las pruebas de impacto, el carrizo se percibe como adecuado para su uso como frame de un dron cuadricóptero y por tanto puede sustituir en cierta medida a materiales convencionales que son usados en este tipo de estructuras (plástico, metal y madera), siendo así una propuesta sustentable.

# Referencias

1. Drone Cuadricóptero, [http://mla-s2-p.mlstatic.com/drone-walkera-cuadricoptero-scout-x4-maletin-case-envio-gtia-21800-MLA20218135775\\_122014-F.jpg](http://mla-s2-p.mlstatic.com/drone-walkera-cuadricoptero-scout-x4-maletin-case-envio-gtia-21800-MLA20218135775_122014-F.jpg), 14/05/2016.
2. Omar Luque Rodríguez (2014), **Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero**, Tesis de Licenciatura, Universidad del País Vasco
3. Oehmichen No. 2, [http://www.aviastar.org/foto/oemichen\\_2.gif](http://www.aviastar.org/foto/oemichen_2.gif), 14/05/2016
4. Pablo Miguel Chiang Sánchez (2015), Implementación y Programación de Vuelo de un Dron Para el Concurso de Robótica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Universidad Católica de Santiago Guayaquil.
5. Dron de ala fija, [http://www.macitynet.it/wpcontent/uploads/2016/01/Parrot\\_DISCO\\_Drone\\_Right1.jpg](http://www.macitynet.it/wpcontent/uploads/2016/01/Parrot_DISCO_Drone_Right1.jpg), 14/05/2016
6. Grupo Inteligencia (2012), [Internet], Granada, España, <[http://www.iuavs.com/pages/aplicaciones\\_y\\_usos](http://www.iuavs.com/pages/aplicaciones_y_usos)> [Acceso 2 mayo 2016].
7. Partes Básicas de un Dron Cuadricóptero, <http://3.bp.blogspot.com/popnn3D7v3s/VFUzdCFdZ5I/AAAAAAAAAE6Y/xk75tYzUuzQ/s1600/partes%2Bdrone%2Bbasico.png>, 14/05/2016
8. Dron con partes básicas y avanzadas, [http://api.ning.com/files/LvNfiSNLzic0-jahztqRFHJazvh\\*Gj5Y1tNUty0-ZpN9bVPZ1DXhO8jE18\\*ZzNH2bvUM-Mfg0suqn47fEjecPGRSo8Ddj763/apm2.6discoprowithminimosd.png](http://api.ning.com/files/LvNfiSNLzic0-jahztqRFHJazvh*Gj5Y1tNUty0-ZpN9bVPZ1DXhO8jE18*ZzNH2bvUM-Mfg0suqn47fEjecPGRSo8Ddj763/apm2.6discoprowithminimosd.png), 14/05/2016
9. Carolina Llano Uribe (2011), Fibra de Carbono "Presente y futuro de un material revolucionario", <WWW.METALACTUAL.COM> [Acceso 2 mayo 2016].
10. Frame de Fibra de Carbono., <https://i.ytimg.com/vi/VRRfqYaTOfE/maxresdefault.jpg>, 14/05/2016
11. Jorge A. Capote Abreu (2015), Aluminio, Apuntes de la Asignatura "Transportes, Tecnología de Proyectos y Procesas", Universidad de Cantabria

12. Marco (Frame) de Aluminio, [http://mla-s2-p.mlstatic.com/drone-frame-en-aluminio-2mm-dc-26-pro-650-tornilleria-inox-405701-MLA20386743808\\_082015-F.jpg](http://mla-s2-p.mlstatic.com/drone-frame-en-aluminio-2mm-dc-26-pro-650-tornilleria-inox-405701-MLA20386743808_082015-F.jpg), 14/05/2016.
13. Belen Fajardo (2010), Tecnología Industrial I. Materiales. Madera, Instituto de Educación Secundaria Villalba Hervás.
14. Frame de Madera, <http://cdn4.parkflyer.ru/static/files/hc/www.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/19596-2.jpg>, , 14/05/2016
15. Flores Maldonado, J.J., A. Prado Navarro, A.L. Domínguez Orozco, R. Mendoza, A.I. González Martínez. 2008, El carrizo gigante, especie invasora de ecosistemas riparios. CONABIO. Biodiversitas 81:6-10
16. Flores Maldonado (2008), El Carrizo Gigante, Especie Invasora de Ecosistemas Riparios, CANABIO.
17. Omar Luque Rodríguez septiembre 2014, Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero, Universidad del país vasco, Pagina 11.
18. Omar Luque Rodríguez septiembre 2014, Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero, Universidad del país vasco, Pagina 12.
19. Omar Luque Rodríguez septiembre 2014, Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero, Universidad del país vasco, Pagina 12.
20. Omar Luque Rodríguez septiembre 2014, Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero, Universidad del país vasco, Pagina 14.
21. Omar Luque Rodríguez septiembre 2014, Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero, Universidad del país vasco, Pagina 15.
22. Omar Luque Rodríguez septiembre 2014, Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero, Universidad del país vasco, Pagina 15.
23. Omar Luque Rodríguez septiembre 2014, Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero, Universidad del país vasco, Pagina 16.
24. Omar Luque Rodríguez septiembre 2014, Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero, Universidad del país vasco, Pagina 17.

25. Omar Luque Rodríguez septiembre 2014, Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero, Universidad del país vasco, Pagina 17.
26. Omar Luque Rodríguez septiembre 2014, Estudio y Desarrollo de un Sistema de Control de un Cuadricóptero, Universidad del país vasco, Pagina 18.
27. Extensometro Acompañado de sus Terminales,  
<http://www.accusystem.com/pic/strain/linear%20pattern.gif>
28. Galga extensométrica,  
[http://nees.buffalo.edu/docs/labmanual/HTML/Chapter%203\\_files/image047.png](http://nees.buffalo.edu/docs/labmanual/HTML/Chapter%203_files/image047.png)
29. Medidas de probeta de madera; normas ASTM 143-94 e ISO TC-165 del INBAR,  
<http://www.scielo.org.co/img/revistas/dyna/v74n153/a09fig02.gif>
30. Esquema general de una muestra instrumentada,  
<http://www.engr.sjsu.edu/bjfurman/courses/ME120/me120pdf/force-torque-strain.pdf>
31. Arreglo de extensómetros, [http://www.npl.co.uk/upload/img\\_400/metalfoil.gif](http://www.npl.co.uk/upload/img_400/metalfoil.gif)
32. Puente de Wheatstone,  
[http://www.ni.com/images/gettingstarted/neutral/sensor\\_53.gif](http://www.ni.com/images/gettingstarted/neutral/sensor_53.gif)