

# **Diseño E Implementación De Un Controlador De Posición En Z Para Un Propulsor Brushless De Aeromodelo**

## **Anexos**



**Delio Alexander Idrobo Tintinago  
Wilfredo Rolando Quiroz Morán**

*Universidad del Cauca*

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control  
Ingeniería en Automática Industrial**

Popayán, Septiembre de 2013

# **Diseño E Implementación De Un Controlador De Posición En Z Para Un Propulsor Brushless De Aeromodelo**



**Delio Alexander Idrobo Tintinago  
Wilfredo Rolando Quiroz Morán**

**Monografía presentada como requisito para optar por el título de  
Ingeniero en Automática Industrial**

Director  
Ing. Vladimir Trujillo Arias

*Universidad del Cauca*  
**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control  
Ingeniería en Automática Industrial**  
Popayán, Septiembre de 2013

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. INSTRUCCIONES DE PROGRAMACIÓN DE CONTROLADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD. ....	6
ANEXO B. PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN CON BALANCEADOR DE HÉLICES MASTER AIRSCREW.....	10
ANEXO C. BANCO DE PRUEBAS MEDICION DE EMPUJE ESTATICO.....	14
ANEXO D. PLANOS SOLID EDGE DE LA PLANTA DE POSICIÓN EN Z PARA UN PROPULSOR BRUSHLESS DE AEROMODELO.....	24
ANEXO E PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DE LAS GUAYAS GUÍA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL DE LA ESTRUCTURA.....	28
TRABAJOS CITADOS.....	31

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura B.1 Balanceador de hélices .....	10
Figura B.2 Hélice instalada en el eje del balanceador.....	11
Figura B.3 Posición del balanceador entre las yemas del dedo pulgar e índice .....	11
Figura B.4 Posibles posiciones de la hélice en el balanceador .....	12
Figura B.5 Posición que nos indica que la hélice esta balanceada .....	13
Figura C.1 Diseño en Solid Edge banco de pruebas.....	14
Figura C.2 Banco de pruebas final.....	15
Figura C.3 Grafica de empuje vs corriente de los 3 tipos de hélices .....	18
Figura C.4 Grafica de empuje Vs Corriente de las 3 hélices en los 3 ciclos .....	22
Figura C.5 Valores de empuje Vs ancho de pulso (PWM) .....	23
Figura D.1 Planos y medidas bando de pruebas .....	24
Figura D.2 Planos y medias de la plataforma de vuelo .....	25
Figura D.3 Planos y medidas de tabla límite inferior .....	26
Figura D.4 Planos y medidas de estructura de la planta de posicionamiento.....	27
Figura E.1 Circunferencia en un extremo de la guaya asegurada con un perro .....	28
Figura E.2 Posición inicial del tensor .....	29
Figura E.3 Guaya enganchada en el tensor e insertada en los orificios de la plataforma. ....	29
Figura E.4 Guaya insertada a través de los resortes y platina de límite superior. ....	30
Figura E.5 Circunferencia del extremo superior para asegurar la guaya.....	30
Figura E.6 Forma de sostener el tensor para tensionar la guaya .....	30

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla C.1 Valores de corriente Vs corriente con la hélice 10.4 .....	16
Tabla C.2 Valores de corriente Vs corriente con la hélice 10.6 .....	17
Tabla C.3 Valores de corriente Vs corriente con la hélice 10.7 .....	17
Tabla C.4 Valores de corriente Vs voltaje en los 3 ciclos, con las 3 hélices.....	19
Tabla C.5 Valores de empuje Vs PWM con la hélice 10.6 .....	22

## ANEXO A. INSTRUCCIONES DE PROGRAMACIÓN DE CONTROLADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD.

### Fase 1. Entrar Al Modo De Programación.

1. Conecte el motor y el receptor para el control de velocidad, pero no conecte la batería todavía.
2. Encienda el transmisor y mueva el stick del acelerador a la posición de máxima aceleración (full up). Nota: La mayoría de los controles transmisores de Futaba tienen el canal del acelerador invertido por defecto.
3. Conecte la batería y el controlador se inicializará un tono musical.

### Fase 2. Programación

Después de 3 segundos, el controlador comenzará a emitir una secuencia de tonos seguidos de uno o más pitidos. Cada secuencia representa un parámetro que se puede programar el cual se repite 3 veces.

Los parámetros son:

Tabla A.1 Parámetros de programación

♪-	Tono musical + 1 pitido	Opción 1. Tipo y numero de celdas
♪- -	Tono musical + 2 pitido	Opción 2. Ajustes de la aceleración
♪- - -	Tono musical + 3 pitido	Opción 3. Configuración del freno / tipo de aceleración(para helicópteros)
♪- - - -	Tono musical + 4 pitido	Opción 4. Dirección y tipo de corte
♪- - - - -	Tono musical + 5 pitido	Opción 5. Modo de intervalo

Fuente: Ifligh [2], junio 2013

### Paso 1. Inicio, acceder a las sub-opciones.

Cuando escuche la secuencia para el parámetro que desee programar, mueva la palanca del acelerador a la posición central para entrar en sub-opciones, el controlador entonces comenzará a emitir una secuencia de código Morse de sonidos cortos y largos que representan las posibles opciones que se pueden elegir para el parámetro seleccionado. Ver Tabla A.2, para la lista de todas las opciones programables. Cada opción de secuencia se repite 3 veces.

### **Paso 2. Seleccionar y guardar.**

Cuando escuche la secuencia para el opción que desea seleccionar mueva el gatillo de nuevo a la posición de máxima aceleración (full up), El controlador entonces guardara la opción seleccionada y sonará un pitido largo como confirmación. A continuación, se remonta al comienzo de la secuencia de programación (**Fase 2.**).

### **Paso 3. Completar la programación y guardar las opciones.**

Cuando haya terminado la configuración de todos los parámetros que necesita cambiar, mueva la palanca del acelerador a la posición mínima (full down) para que el controlador guarde todas las opciones y volver a iniciar en el modo normal de funcionamiento para que pueda iniciar su motor.

La siguiente tabla resume los diferentes valores que por defecto vienen para cada parámetro de programación.

Tabla A.2 Configuraciones de tipo y número de celdas

<b>2. Configuraciones de tipo y numero de celdas ♪ -</b>	
<b>1.1♪ para (2S-7S)-ESC Tipo y numero de celdas</b>	<b>Para 45A/60A/80-LV/125A-LV</b>
♪ - 1 corto + 1 largo	NiMh/NiCD celdas de recuento - 0.8V/celdas con corte de voltaje
♪ - - 1 corto + 2 largos	7S Li-Po (25.9V) – 21V voltaje de corte
♪ - - - 1 corto + 3 largos	6S Li-Po (22.2V) – 18V voltaje de corte
♪ - - - - 1 corto + 4 largos	5S Li-Po (18.5V) – 15V voltaje de corte
♪ - - - - - 1 corto + 5 largos	4S Li-Po (14.8V) – 12V voltaje de corte
♪ - - - - - - 1 corto + 6 largos	3S Li-Po (11.1V) – 9V voltaje de corte
♪ - - - - - - - 1 corto + 7 largos	2S Li-Po (7.4V) – 8V voltaje de corte
<b>1.2♪ para (2S-7S)-ESC</b>	<b>Tipo y numero de celdas – 70<sup>a</sup></b>
♪ - 1 corto + 1 largo	NiMh/NiCD celdas de recuento - 0.8V/celdas con corte de voltaje
♪ - - 1 corto + 2 largos	8S Li-Po (29.6V) – 24V voltaje de corte
♪ - - - 1 corto + 3 largos	7S Li-Po (25.9V) – 21V voltaje de corte
♪ - - - - 1 corto + 4 largos	6S Li-Po (22.2V) – 18V voltaje de corte
♪ - - - - - 1 corto + 5 largos	5S Li-Po (18.5V) – 15V voltaje de corte
♪ - - - - - - 1 corto + 6 largos	4S Li-Po (14.8V) – 12V voltaje de corte

<b>1.3</b> ♪ para (6S-10S)-ESC Tipo y numero de celdas	<b>Para 80A-HV/100A/125A-HV-10S/200A-10S</b>
♪ - 1 corto + 1 largo	NiMh/NiCD celdas de recuento - 0.8V/celdas con corte de voltaje
♪ - - 1 corto + 2 largos	10S Li-Po (37V) – 30V voltaje de corte
♪ - - - 1 corto + 3 largos	9S Li-Po (33.3V) – 27V voltaje de corte
♪ - - - - 1 corto + 4 largos	8S Li-Po (29.6V) – 24V voltaje de corte
♪ - - - - - 1 corto + 5 largos	7S Li-Po (25.9V) – 21V voltaje de corte
♪ - - - - - - 1 corto + 6 largos	6S Li-Po (22.2V) – 18V voltaje de corte
<b>1.4</b> ♪ para (8S-12S)-ESC Tipo y numero de celdas	<b>Para 125-12S/200A-12S</b>
♪ - 1 corto + 1 largo	NiMh/NiCD celdas de recuento - 0.8V/celdas con corte de voltaje
♪ - - 1 corto + 2 largos	12S Li-Po (45.4V) – 39V voltaje de corte
♪ - - - 1 corto + 3 largos	11S Li-Po (41.7V) – 33V voltaje de corte
♪ - - - - 1 corto + 4 largos	10S Li-Po (37V) – 30V voltaje de corte
♪ - - - - - 1 corto + 5 largos	9S Li-Po (33.3V) – 27V voltaje de corte
♪ - - - - - - 1 corto + 6 largos	8S Li-Po (29.6V) – 24V voltaje de corte
<b>1.4</b> ♪ para (8S-12S)-ESC Tipo y numero de celdas	<b>Para 125-12S/200A-12S</b>
♪ - 1 corto + 1 largo	NiMh/NiCD celdas de recuento - 0.8V/celdas con corte de voltaje
♪ - - 1 corto + 2 largos	12S Li-Po (45.4V) – 39V voltaje de corte
♪ - - - 1 corto + 3 largos	11S Li-Po (41.7V) – 33V voltaje de corte
♪ - - - - 1 corto + 4 largos	10S Li-Po (37V) – 30V voltaje de corte
♪ - - - - - 1 corto + 5 largos	9S Li-Po (33.3V) – 27V voltaje de corte
♪ - - - - - - 1 corto + 6 largos	8S Li-Po (29.6V) – 24V voltaje de corte

Fuente: Ifligh [2], junio 2013

Tabla A.3 Configuraciones de acelerador

<b>2. Configuraciones de acelerador</b> ♪ - -	
♪♪ - 2 cortos + 1 largo	Rango de aceleración automático *
♪♪ - - 2 cortos + 2 largos	1.1ms to 1.8ms
♪♪ - - - 2 cortos + 3 largos	El arranque es duro
♪♪ - - - - 2 cortos + 4 largos	El arranque es suave

Fuente: Ifligh [2], junio 2013

Tabla A.4 Configuraciones de freno para aeromodelos normales

<b>3. Configuraciones de freno para aeromodelos normales</b> ♪ - - -	
♪♪♪ - 3 cortos + 1 largo	Sin freno
♪♪♪ - - 3 cortos + 2 largos	Freno suave *



♪♪♪ - - - 3 cortos + 3 largos	Freno medio
♪♪♪ - - - - 3 cortos + 4 largos	Freno duro

Fuente: Ifligh [2], junio 2013

Tabla A.5 Configuraciones de freno para helicópteros

<b>3.1 Configuraciones de freno para helicópteros ♪ - - -</b>	
♪♪♪ - 3 cortos + 1 largo	Normal *
♪♪♪ - - 3 cortos + 2 largos	Modo gobernado para motores con 2 – 4 polos
♪♪♪ - - - 3 cortos + 3 largos	Modo gobernado para motores con 6 – 10 polos
♪♪♪ - - - - 3 cortos + 4 largos	Modo gobernado para motores con 12 – 14 polos

Fuente: Ifligh [2], junio 2013

Tabla A.6 Configuraciones dirección y tipo de corte

<b>4. Configuraciones dirección y tipo de corte ♪ - - - -</b>	
♪♪♪♪ - 4 cortos + 1 largo	Giro en sentido horario*
♪♪♪♪ - - 4 cortos + 2 largos	Giro en sentido contrario al horario
♪♪♪♪ - - - 4 cortos + 3 largos	Corte suave
♪♪♪♪ - - - - 4 cortos + 4 largos	Corte duro *

Fuente: Ifligh [2], junio 2013

Tabla A.7 Configuraciones de modo intervalo

<b>5. Configuraciones de modo intervalo ♪ - - - - -</b>	
♪♪♪♪♪ - 5 cortos + 1 largo	1° para motores Inrunner de 2 – 4 polos*
♪♪♪♪♪ - - 5 cortos + 2 largos	7° para motores de 6 – 8 polos
♪♪♪♪♪ - - - 5 cortos + 3 largos	15° para motores Outrunner de 10 – 14 polos
♪♪♪♪♪ - - - - 5 cortos + 4 largos	30° para motores Outrunner High-RPM de 10 – 14 polos

Fuente: Ifligh [2], junio 2013

Tabla A.8 Configuraciones de la modulación del ancho de pulso PWM

<b>6. Configuraciones de la modulación del ancho de pulso PWM ♪ - - - - - -</b>	
♪♪♪♪♪♪ - 6 cortos + 1 largo	Para motores con bajas RPM y bajo conteo de polos
♪♪♪♪♪♪ - - 6 cortos + 2 largos	Para la mayoría de motores Outrunner

Fuente: Ifligh [2], junio 2013

## **ANEXO B. PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN CON BALANCEADOR DE HÉLICES MASTER AIRSCREW.**

Una hélice desbalanceada es la causante de generar vibración en un sistema de vuelo. Esta vibración se transmitirá a todo el sistema a través de la estructura a la cual está sujeto el Propulsor Brushless De Aeromodelo, generando interferencias en la lectura del sensor de altura y provocando daños a la estructura.

Las hélices son balanceadas para obtener la mayor eficiencia del motor y evitar que durante el vuelo se generen vibraciones como consecuencia de la diferencia de peso que pueda existir en las hojas de la hélice, una hélice vibra cuando el peso de una de las hojas es mayor que el de la otra, debido a que la hoja más pesada tiene mayor fuerza centrífuga mientras gira, esto hace que sistema se vuelva inestable.

Una hélice balanceada es fundamental para que el sistema sea estable, brindando menor vibración y un menor consumo de corriente, lo que se ve reflejado en un mayor tiempo de vuelo, para balancear las hélices utilizamos un balanceador de hélices tipo manual Como el de la Figura B.1

Figura B.1 Balanceador de hélices



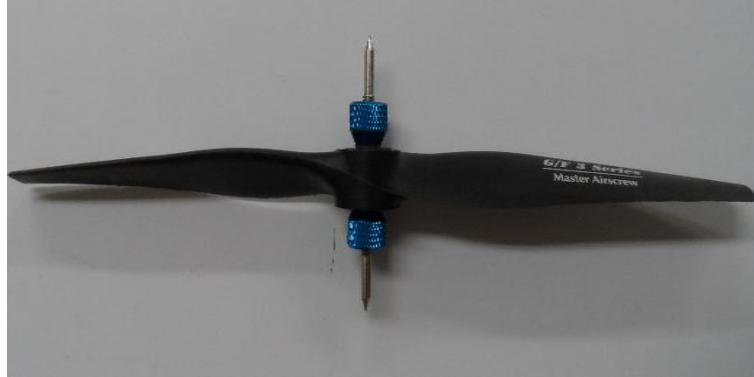
Fuente: Propia, junio 2013

### **Procedimiento Para El Balance De Las Hélices**

1. La principal característica a tener en cuenta a la hora de seleccionar las hélices es mirar que la distribución del grosor de las hojas sean iguales, luego de verificar el grosor retiramos los conos del balanceador y colocamos la hélice en el eje del balanceador como el de la Figura B.2 La

hélice se debe colocar perpendicularmente al eje del balanceador justamente en la mitad de eje.

Figura B.2 Hélice instalada en el eje del balanceador



Fuente: Propia, junio 2013

2. La hélice se asegura enroscando los conos alrededor de esta hasta que quede completamente inmóvil. Por lo general las hélices este tipo vienen con un exceso de material sobrante en los extremos de las hojas el cual retiramos si es necesario luego de comprobar si la hélice se encuentra balanceada.
3. Tomamos el eje del balanceador con las yemas de los dedos pulgar e índice como se aprecia en la Figura B.3 aplicando una leve presión de tal forma que el conjunto de la hélice con el eje pueda girar libremente.

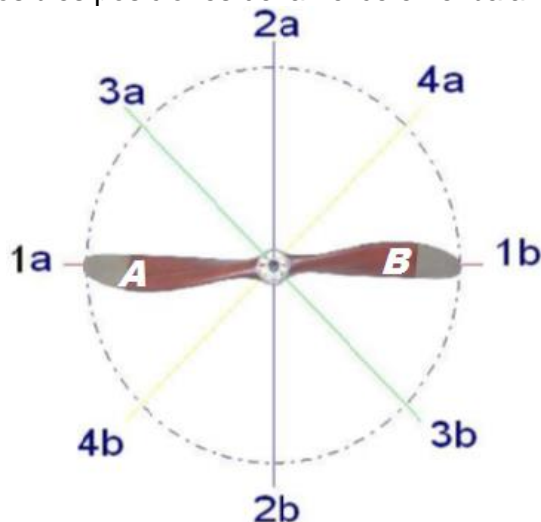
Figura B.3 Posición del balanceador entre las yemas del dedo pulgar e índice



Fuente: Propia, junio 2013

4. Para verificar si la hélice está balanceada, se le da un pequeño giro con suavidad a la hélice que está en el balanceador partiendo desde la posición (1a – 1b) Figura B.4, esta vendrá a descansar en cualquier posición, dependiendo de si el peso de las hojas esta igual o no.

Figura B.4 Posibles posiciones de la hélice en el balanceador



Fuente: RC Aero Products LLC [1], junio 2013

5. En la Figura B.5 observamos las diferentes posiciones que puede tomar la hélice, Si la posición de la hoja A de la hélice queda ubicada en la posición 4b y la hoja B de la hélice se ubica en la posición 4a de la figura, nos indica que la hoja A tiene un mayor peso que la hoja B. como primera medida con la ayuda de un exacto o bisturí retiremos los bordes sobrantes de la hoja A. Con ayuda del balanceador nuevamente partiendo desde la posición (1a – 1b) Figura B.4 le damos un giro suavemente al conjunto de la hélice para observar que nueva posición adquiere.
6. Caso contrario es que Si la posición de la hoja A de la hélice queda ubicada en la posición 3a y la hoja B de la hélice se ubica en la posición 3b de la Figura B.4, nos indica que la hoja B tiene un mayor peso que la hoja A. con la ayuda de un exacto o bisturí retiremos los bordes sobrantes de la hoja B. Con ayuda del balanceador nuevamente partiendo desde la posición (1a – 1b) Figura B.4 le damos un giro suavemente al conjunto de la hélice para observar que nueva posición adquiere.
7. Luego de realizar los pasos 6 o 7 en el primer giro del conjunto de la hélice y el eje en el balanceador, se utilizara para retirar el material sobrante de

las hojas más pesadas un papel de lija muy fino de número 320, con el cual se lija de manera uniforme sobre toda la hoja, teniendo en cuenta de no lijar la punta de la hélice porque esto causara un desequilibrio dinámico cuando el motor este girando.

8. Después de la eliminación de una cantidad muy pequeña de material del lado pesado de la hoja de la hélice, probar de nuevo usando el balanceador.
9. Repita los pasos 7 y 8 hasta que la hélice se mantenga en una posición horizontal como la posición (1a – 1b) mostrada en la Figura B.4, cuando la hélice adquiera la posición como la mostrada en la Figura B.5 nos indica que la hélice esta balanceada y ya la podemos colocar en el motor para que nos brinde un óptimo funcionamiento.

Figura B.5 Posición que nos indica que la hélice esta balanceada

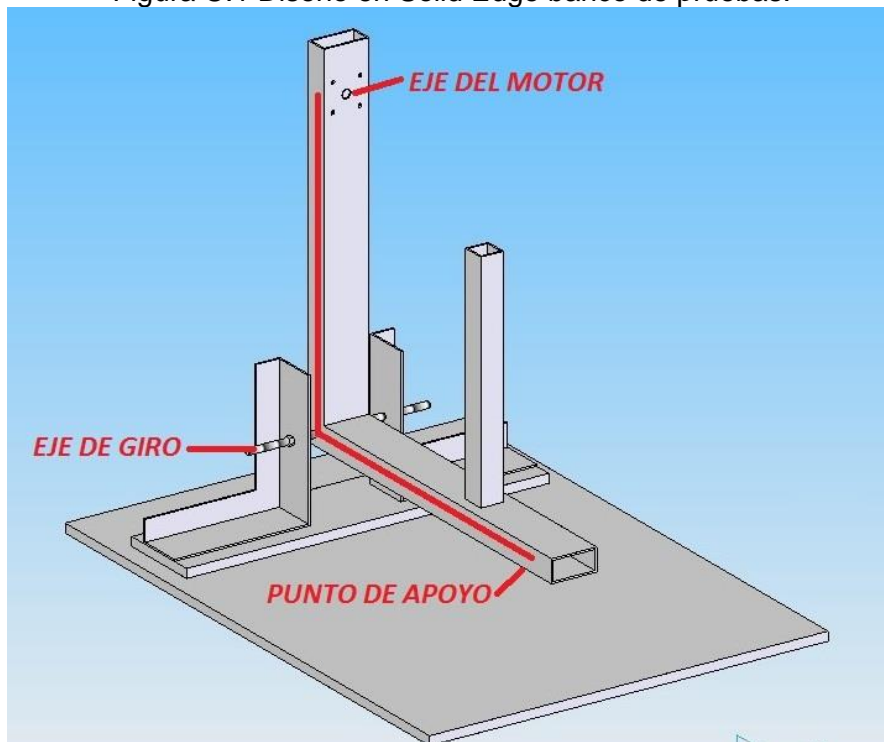


Fuente: Propia, junio 2013

## ANEXO C. BANCO DE PRUEBAS MEDICION DE EMPUJE ESTATICO.

Para calcular el empuje estático generado por el propulsor de aeromodelo, se construyó un banco de pruebas en forma de L como se aprecia en la Figura C.1, usando la fuerza producida por la hélice en movimiento se puede hacer una estimación del empuje en gramos.

Figura C.1 Diseño en Solid Edge banco de pruebas.



Fuente: Propia, mayo 2013

Para la ubicación del motor debe tener en cuenta una característica muy importante, la distancia desde eje del motor al centro de giro debe ser la misma distancia que existe desde el punto de apoyo en la balanza hasta el centro de giro, debido a que la fuerza que se aplica en un extremo, es la misma fuerza que se verá reflejada en el otro extremo con esto podremos obtener una estimación del empuje en gramos.

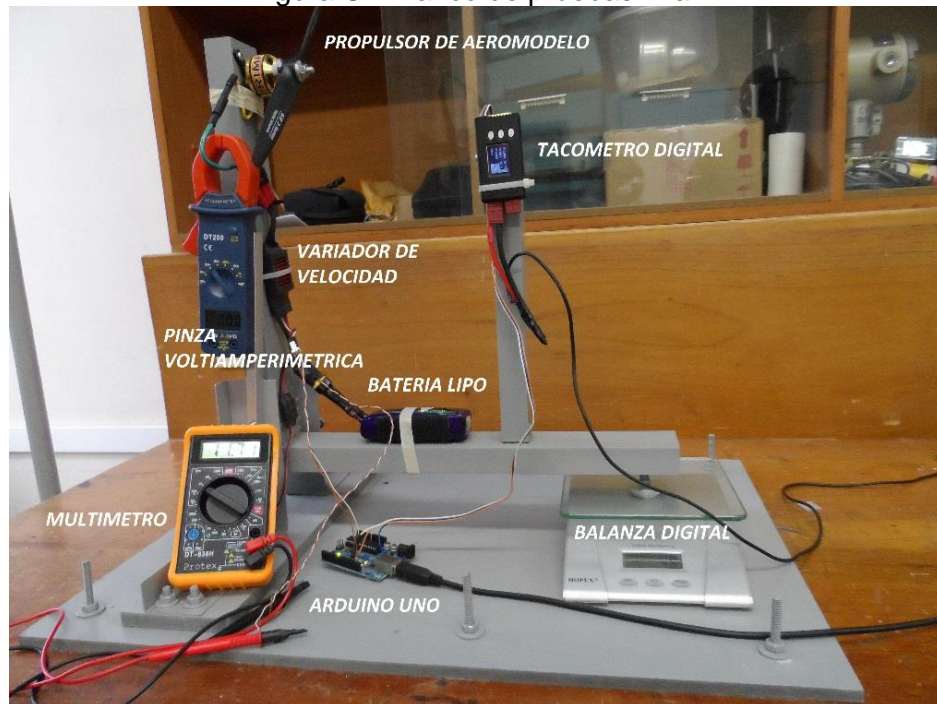
### Medición Del Empuje Del Propulsor

En el banco de pruebas se le realizó la medición de la corriente eficaz que circula en una de las 3 fases del motor con una pinza voltiamperimétrica, al igual que la medición de la velocidad de rotación del propulsor, la toma de esta medida se hizo

con un tacómetro digital. El empuje generado por el propulsor se midió en gramos con una balanza digital.

El control de la velocidad giro del motor básicamente se basa en la modificación de la cresta y el ancho de pulso de la señal del PWM generada, los dispositivos que componen el banco de pruebas se observan en la Figura C.2.

Figura C.2 Banco de pruebas final.



Fuente: Propia, mayo 2013

#### Componentes Del Banco De Pruebas

- Propulsor De Aeromodelo
- Variador De Velocidad
- Tacómetro Digital
- Pinza Voltiamperimetrica
- Multímetro
- Batería LiPo
- Arduino Uno
- Balanza Digital

Las pruebas realizadas al propulsor de aeromodelo tuvieron como propósito seleccionar cuál de los 3 tipos de hélices genera un mayor empuje con un menor

consumo de corriente, lo que se vería reflejado en una mayor duración de la batería LiPo.

En la Tabla C.1 encontramos los valores obtenidos luego de realizar pruebas al propulsor con una hélice 10.4, modificando el PWM de la señal de entrada.

Tabla C.1 Valores de corriente Vs corriente con la hélice 10.4

<b>Corriente (Amp) Hélice 10.4</b>	<b>Empuje en (Gr)</b>
0	0
0,3	10
0,8	32
1,6	63
2,3	97
3,1	135
4,1	192
4,9	241
5,7	287
6,5	326
7,4	370
8,8	437
9,7	498
11,1	563
12	631
13,1	687
14,7	750
15,8	816
16,4	883
17,5	949
18,6	1004
18,8	1021
19	1015
19,6	1004
19,7	1005

Fuente: Propia, junio 2013

En la Tabla C.2 encontramos los valores obtenidos luego de realizar pruebas al propulsor con una hélice 10.6, modificando el PWM de la señal de entrada.



Tabla C.2 Valores de corriente Vs corriente con la hélice 10.6

<b>Corriente (Amp) Hélice 10.6</b>	<b>Empuje en (Gr)</b>
0	0
0,6	91
1,3	122
1,9	158
2,5	198
3,4	249
4,2	300
5,1	351
5,8	391
6,5	433
7,2	484
8,2	535
8,9	598
10	661
11,3	722
12,4	786
13,4	850
14,3	908
15,4	973
16,4	1040
17,1	1064

Fuente: Propia, junio 2013

En la Tabla C.3 encontramos los valores obtenidos luego de realizar pruebas al propulsor con una hélice 10.7, modificando el PWM de la señal de entrada.

Tabla C.3 Valores de corriente Vs corriente con la hélice 10.7

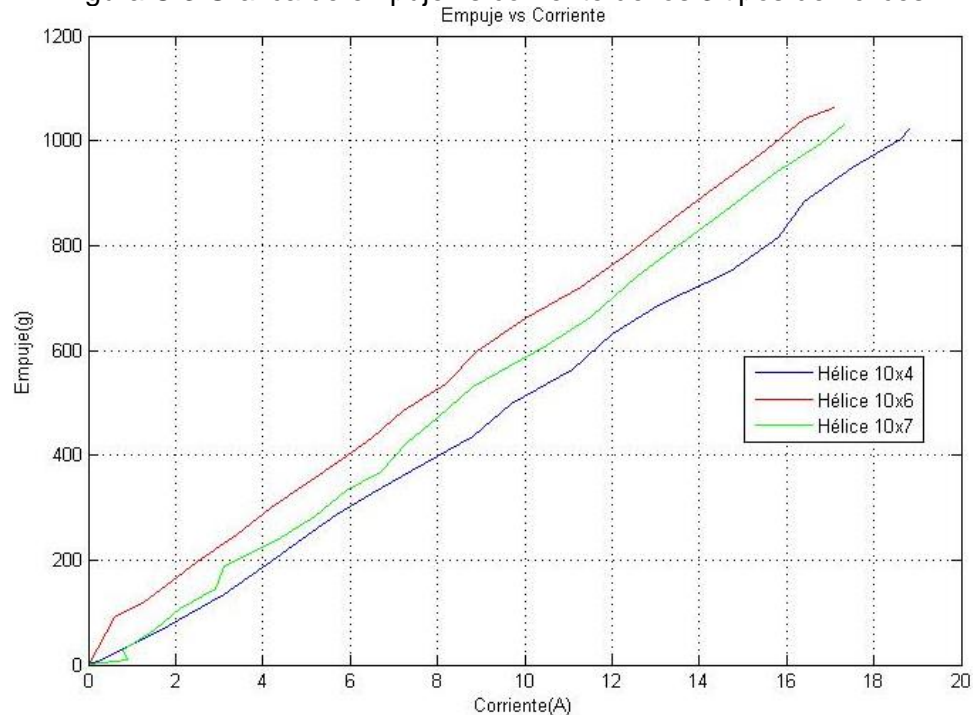
<b>Corriente (Amp) Hélice 10.7</b>	<b>Empuje en (Gr)</b>
0	0
0,9	9
0,8	28
1,5	66
2,1	106
2,9	145
3,1	189
4,3	238
5,2	284
5,9	332
6,7	369

7,3	424
8	471
8,8	531
10,5	609
11,5	665
12,6	742
13,6	804
14,7	874
15,7	935
16,8	994
17,3	1031

Fuente: Propia, junio 2013

Para determinar cuál de las hélices es la más apropiada para ser instalada en el propulsor, graficamos los resultados obtenidos anteriormente en una sola grafica como se aprecia en la Figura C.3

Figura C.3 Grafica de empuje vs corriente de los 3 tipos de hélices



Fuente: Propia. Enero 2013.

De la anterior grafica concluimos que la hélice más apropiada para ser instalada en el propulsor de aeromodelo es la hélice 10.6, debido a que esta genera un mayor empuje con una menor demanda de corriente, haciendo que la carga de la

batería se prolongue, permitiendo que la plataforma de vuelo se sostenga en el aire por un mayor tiempo.

Otra prueba realizada al propulsor fue la de hacer que el motor experimentara los diferentes requerimientos de corriente para su funcionamiento durante 3 ciclos consecutivos.

Tabla C.4 Valores de corriente Vs voltaje en los 3 ciclos, con las 3 hélices

<b>Corriente (Amp) Hélice 10.4</b>	<b>Empuje en (Gr)</b>	<b>Corriente (Amp) Hélice 10.6</b>	<b>Empuje en (Gr)</b>	<b>Corriente (Amp) Hélice 10.7</b>	<b>Empuje en (Gr)</b>
0	0	0	0	0	0
0,3	10	0,6	91	0,9	9
0,8	32	1,3	122	0,8	28
1,6	63	1,9	158	1,5	66
2,3	97	2,5	198	2,1	106
3,1	135	3,4	249	2,9	145
4,1	192	4,2	300	3,1	189
4,9	241	5,1	351	4,3	238
5,7	287	5,8	391	5,2	284
6,5	326	6,5	433	5,9	332
7,4	370	7,2	484	6,7	369
8,8	437	8,2	535	7,3	424
9,7	498	8,9	598	8	471
11,1	563	10	661	8,8	531
12	631	11,3	722	10,5	609
13,1	687	12,4	786	11,5	665
14,7	750	13,4	850	12,6	742
15,8	816	14,3	908	13,6	804
16,4	883	15,4	973	14,7	874
17,5	949	16,4	1040	15,7	935
18,6	1004	17,1	1064	16,8	994
18,8	1021	16,7	1047	17,3	1031
19	1015	16,5	1032	17,1	1025
19,6	1004	16,3	1019	17	1010
19,7	995	13,6	866	16,8	1004
19,5	990	12,4	789	16,7	995
19,3	984	10,9	698	16,6	990
19,2	976	9,3	618	16,4	983
19	968	8	532	15,4	918
18,5	941	7	466	14,4	858
16,8	849	5,9	401	13,6	813



16,1	813	5	339	12,9	755
14,4	715	4,1	289	12	701
12,2	624	3,2	236	11,3	655
10,6	534	2,2	180	10,3	606
9,2	446	1,4	136	9,4	560
7,9	380	0,6	97	8,6	511
6,4	309	0,1	75	8,1	467
5,4	258	1,1	111	7,4	422
4,3	196	1,8	157	6,9	386
3,2	144	2,8	211	6,7	368
2,6	109	3,7	263	5,8	327
1,7	66	4,6	319	5,3	296
0,7	26	5,6	376	4,9	265
1,8	61	6,8	441	4,3	238
2,7	105	7,7	505	3,7	201
3,9	177	8,9	586	3,4	173
5	230	10,3	674	2,8	150
6	289	12	772	2,2	113
7,5	361	13,2	844	1,6	94
9	425	14,7	935	1,2	70
10,4	509	16,2	1021	1,3	59
11,9	606	16,1	1014	0,7	38
13,9	690	15	953	0,3	23
15,4	781	13,5	862	0,7	28
16,3	827	12,6	776	1,8	87
17,1	870	10,8	695	2,8	149
17,8	905	9,2	614	3,1	202
18,7	954	8,2	541	5	264
19	962	7,1	472	5,9	328
18,9	962	6,2	415	7	394
18,7	956	5,1	348	8,2	479
18,6	939	4,3	301	10,1	579
18	914	3,5	250	11,5	679
17,3	879	2,6	205	13,2	778
16,3	829	1,7	150	14,7	879
14,8	652	0,8	103	16,3	972
13,8	611	0,1	70	16,6	987
12,9	563	0,7	95	16,5	985
12	525	1,2	116	16,4	984
11,5	486	1,5	138	16,3	974
10,6	443	1,9	163	15,1	899
9	370	2,8	214	13,5	804
7,4	302	3,7	260	12	702

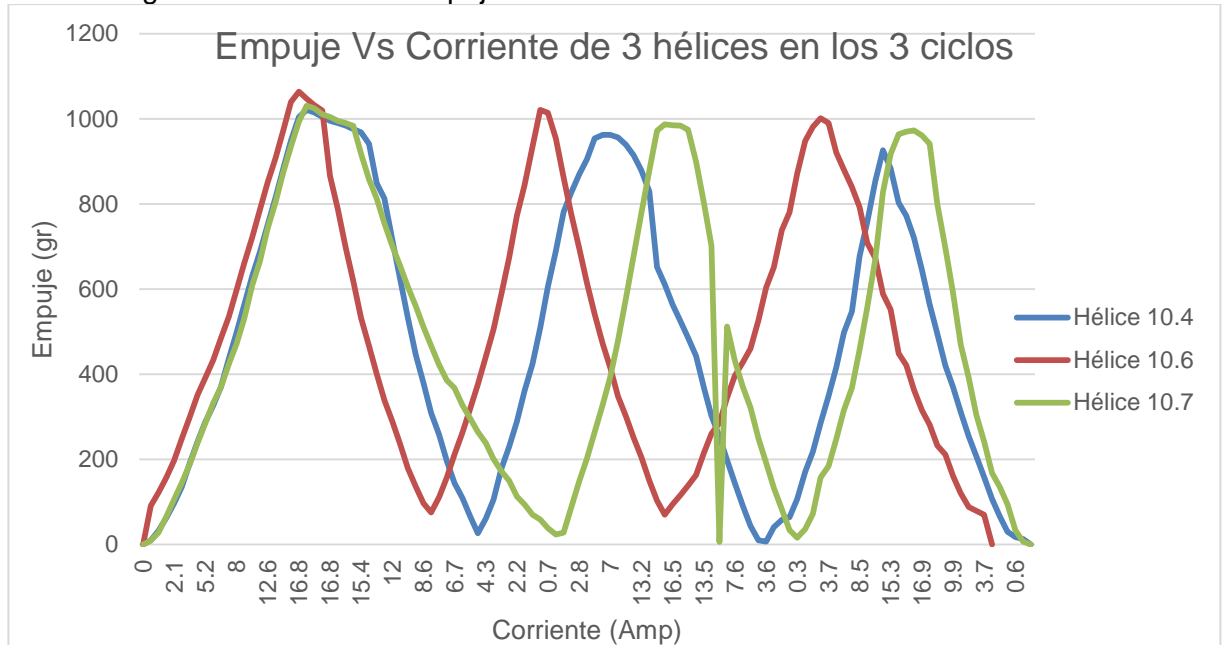


6,36	253	4	286	10,1	5,9
5,1	198	5,1	345	8,6	512
3,9	144	5,9	396	7,6	432
2,8	91	6,5	428	6,7	371
1,7	44	7,2	460	5,4	322
0,7	10	8	527	4,5	249
0,6	7	9	604	3,6	192
1,7	41	9,8	651	2,5	133
2,3	58	11,7	738	1,6	83
2,4	64	12,2	780	0,7	34
3,3	107	13,6	871	0,3	16
4,6	171	14,9	948	1,3	36
5,8	218	15,5	981	1,6	72
6,9	285	16	1001	3,1	157
8,5	349	15,7	990	3,7	184
10	416	14,4	921	4,5	247
11,5	498	13,8	880	6	316
13,1	547	13,2	840	6,7	368
14,9	677	12,3	792	8,5	458
16,7	758	11,2	708	9,5	557
18,5	853	10,2	673	11,5	670
17,3	926	8,8	589	13,8	828
16,7	883	8,4	552	15,3	917
15,3	803	6,9	449	16,1	964
14,6	772	6,3	421	16,3	970
13,6	720	5,3	363	16,2	973
12,2	644	4,5	315	16,9	961
10,8	564	3,8	281	15,7	941
9,8	495	3,2	232	13,4	799
8,5	420	2,8	211	11,7	697
7,9	370	1,9	161	9,9	591
6,2	311	1,2	120	8,1	470
5,4	254	0,7	88	6,9	392
4,6	207	0,3	79	5,3	304
3,5	159	0,1	70	3,7	242
2,5	107	0	0	3	168
1,8	66			2,5	135
1	30			1,4	95
0,6	17			0,6	33
0,2	13			0,1	7
0	0			0	0

Fuente: Propia. Enero 2013

Luego de tabular los datos encontrados graficamos los resultados obtenidos, en la Figura C.4 corroboramos que la hélice 10.6 nos proporciona un mayor empuje con un menor consumo de corriente en los tres ciclos donde probaron los diferentes requerimientos de corriente para su funcionamiento.

Figura C.4 Grafica de empuje Vs Corriente de las 3 hélices en los 3 ciclos



Fuente: Propia. Enero 2013

Con la hélice para el sistema de propulsión brushless ya elegida, se construyó una curva de empuje versus ancho de pulso Tabla C.5, con la Ecuación lineal característica aproximada mostrada en 1.1 que permite calcular el empuje producido en gramos (E) ante una señal de entrada de entre 1200 y 1800 $\mu$ s (PWM), que corresponde al formato de tramo útil de señal PPM generada por la tarjeta Arduino UNO para el ESC Birdie 50A, con una batería LiPo 3S totalmente cargada.

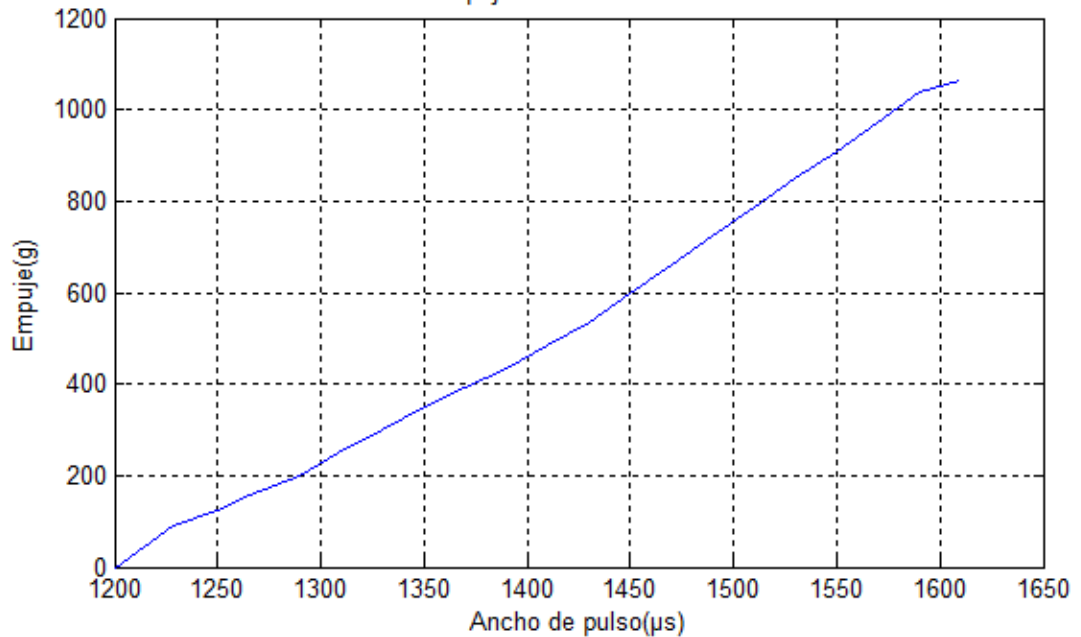
Tabla C.5 Valores de empuje Vs PWM con la hélice 10.6

PWM ( $\mu$ s) Hélice 10.6	Empuje en (Gr)
0	1200
91	1228
122	1250
158	1266
198	1290

249	1308
300	1330
351	1350
391	1370
433	1390
484	1410
535	1430
598	1450
661	1470
722	1490
786	1510
850	1530
908	1550
973	1570
1040	1590
1064	1610

Fuente: Propia. Junio 2013

Figura C.5 Valores de empuje Vs ancho de pulso (PWM)  
Empuje vs Ancho de Pulso



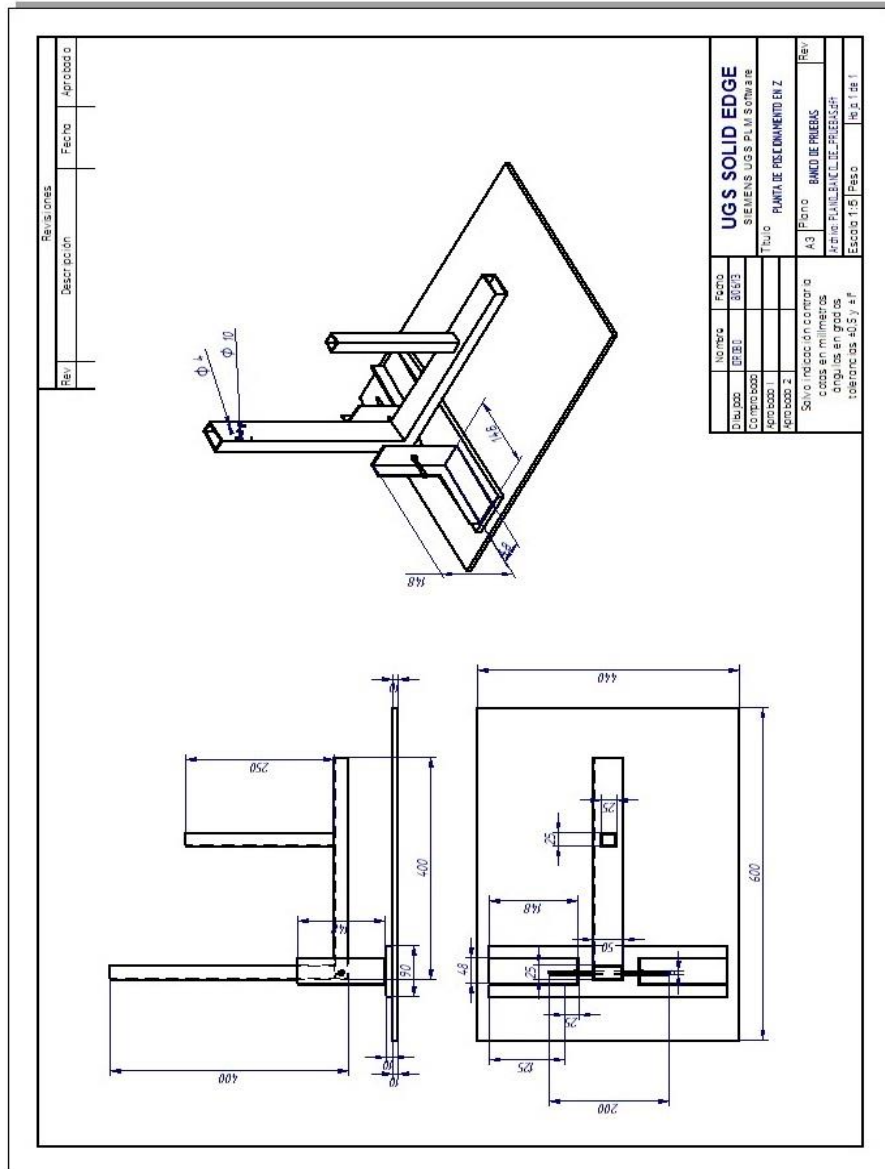
Fuente: Propia. Enero 2013.

$$E = 2.6 * PWM - 3200 \quad (1.1)$$

La importancia de esta ecuación radica en que permite conocer la capacidad que tiene el sistema de propulsión BrushLess para levantar peso en vuelo.

## ANEXO D. PLANOS SOLID EDGE DE LA PLANTA DE POSICIÓN EN Z PARA UN PROPULSOR BRUSHLESS DE AEROMODELO.

Figura D.1 Planos y medidas bando de pruebas

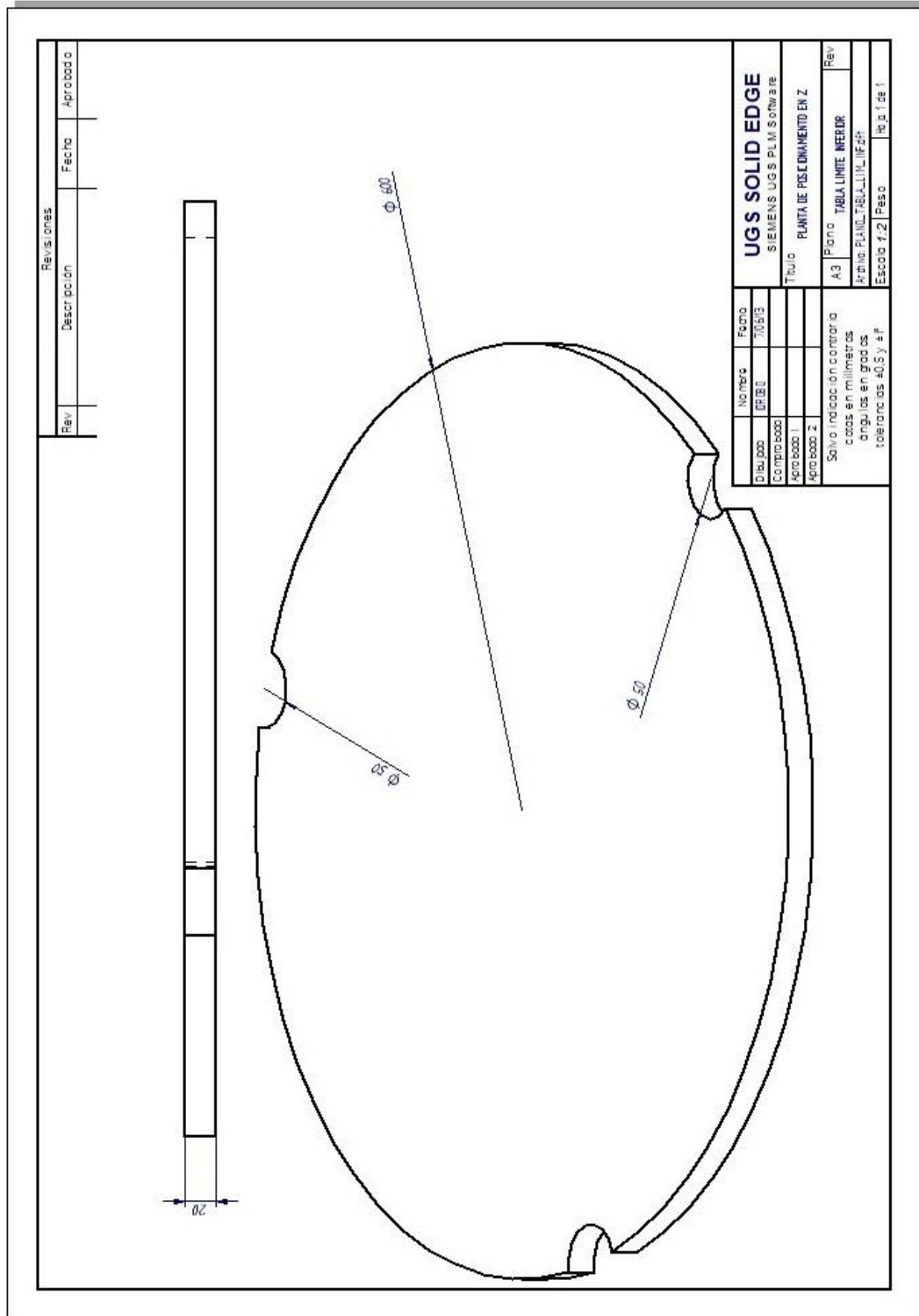


Fuente: Propia, marzo 2013





Figura D.3 Planos y medidas de tabla límite inferior



Fuente: Propia, marzo 2013



## **ANEXO E PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DE LAS GUAYAS GUÍA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL DE LA ESTRUCTURA.**

Luego de plomar y fijar la estructura al piso, el siguiente procedimiento en la construcción la planta de posicionamiento en Z para un propulsor brushless de aeromodelo, es la disposición de las guayas guías de desplazamiento vertical en la estructura.

El motivo de la instalación de los cables guías en la estructura, es el de limitar el movimiento resultante a la fuerza de empuje generada por el BLPS en una región vertical, permitiéndole a la plataforma de vuelo que está sujeta a los cables guía ascender, descender o conservar una determinada altura o posición en Z, brindando seguridad a los estudiante que se encuentren interactuando con la planta, impidiendo que el propulsor salga proyectado mientras este es manipulado.

### **Procedimiento De Instalación De Cables Guías**

1. Se toman cada una de las 3 guayas de 330 cm de largo y en un extremo hacer dos circunferencias de 6 cm de diámetro, las cuales se aseguran con un perro como se aprecia en la Figura E.1

Figura E.1 Circunferencia en un extremo de la guaya asegurada con un perro



Fuente: Propia, junio 2013

2. Se desenroscan los tensores que están ubicados en la parte inferior de la estructura hasta dejarlos como muestra la Figura E.2, quedando listos para enganchar las guayas para ser tensionadas.

Figura E.2 Posición inicial del tensor



Fuente: Propia, junio 2013

3. Se enganchan las circunferencias hechas en las guayas en las medias lunas del tensor, se pasan las guayas a través de los orificios de los soportes inferiores de la de la estructura y a su vez en los orificios de la tabla que es límite inferior de la plataforma de vuelo.

Figura E.3 Guaya enganchada en el tensor e insertada en los orificios de la plataforma



Fuente: Propia, junio 2013

4. Luego de insertar las guayas en los orificios inferiores de la estructura, se insertan las guayas a través de los tubos de cobre de la plataforma de vuelo, luego a través de los resortes y las platina del límite superior de la estructura.

Figura E.4 Guaya insertada a través de los resortes y platina de límite superior.



Fuente: Propia, junio 2013

5. Para asegurar las guayas en la parte superior se hace una circunferencia de 4cm de diámetro y se aseguran con perros para que la guaya no se regrese al momento de tensionar las guayas.

Figura E.5 Circunferencia del extremo superior para asegurar la guaya



Fuente: Propia, junio 2013

6. Para tensionar las guayas se sujeta el tenor por la parte superior o media luna y se gira el cuerpo del tenor en sentido contrario de las manecillas del reloj hasta que las guaya quede completamente tensionada.

Figura E.6 Forma de sostener el tenor para tensionar la guaya



Fuente: Propia, junio 2013

## **TRABAJOS CITADOS**

- [1] Great Southwest Aero Modelers, «phprc.net,» [En línea]. Available:  
[http://www.phprc.net/images/RC\\_Aero\\_-\\_Two\\_Blade\\_Prop\\_Balancing\\_Technique.pdf](http://www.phprc.net/images/RC_Aero_-_Two_Blade_Prop_Balancing_Technique.pdf).  
[Último acceso: 6 Junio 2013].
- [2] «iflighth,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.iflight-rc.com/upload/2013-04-13/20130413013145800.pdf>. [Último acceso: 17 Junio 2013].