



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**VUELO AUTÓNOMO CON
AVIONES DE R/C**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO
P R E S E N T A :
ONÉSIMO PÉREZ JIMÉNEZ



MÉXICO, D. F.

2009

JURADO ASIGNADO

Presidente: ING. JESÚS REYES GARCÍA

Vocal: ING. ABEL VILLANUEVA PEÑA

Secretario: ING. BENJAMÍN RAMÍREZ HERNÁNDEZ

1er. Suplente: DR. PABLO ROBERTO PÉREZ ALCÁZAR

2do. Suplente: ING. DANIEL MARTÍNEZ GUTIÉRREZ

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Y

ONE PC SISTEMAS

Nombre del asesor: Ing. Abel Villanueva Peña. _____

Nombre del sustentante: Onésimo Pérez Jiménez. _____

A mis padres, Epifanía y Onésimo quienes me han apoyado infinitamente en todo, a mis hermanas y a mi hermano, quienes en todo momento vieron por nosotros con cariño y confianza.

A Prócoro, Alicia, Santa y Rosa que en todo momento me han apoyado incondicionalmente, aprendiendo con ellos y de ellos, sabiendo que siempre estaremos unidos.

Por todo esto y más, mil gracias.

One

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Abel Villanueva Peña por su gran disposición y apoyo para poder haber llevado acabo este trabajo.

A la empresa ONE PC SISTEMAS por haberme brindado un espacio en sus instalaciones así como el disponer de sus equipos y vehículos para el trabajo, a Jorge de HOBBY CENTRO SAN ÁNGEL que con sus conocimientos aportados en el armado del primer avión de la tesis, así como sus aportaciones para fases posteriores.

Al Doctor Jorge Escalante de RADIO HALCÓN quien me apoyó enormemente en el desarrollo y aplicaciones así como las técnicas de vuelo y comportamiento de la aeronave, a mi amigo Ulises Romero González, con él aprendí a volar, siendo él, quien ayudó a realizar el primer vuelo y los posteriores.

A FREESCALE, quién generosamente proporcionó la tecnología de los acelerómetros, y experiencias en el tema, a MICROCHIP por sus valiosas aportaciones en microprocesadores (PIC'S) así como

utilerías, a NEWARK por sus aportaciones técnicas en circuitos electrónicos.

Al departamento de control de la Facultad de Ingeniería, a todos mis compañeros y amigos que hicieron mi estancia en la escuela muy placentera, a todas aquellas personas que aunque no mencione de manera directa, me han brindado su apoyo.

Por último, a mí Universidad, la máxima casa de estudios, mi segundo hogar en el transcurso de mi formación académica.

ÍNDICE

| | | |
|-----|---|----|
| | Introducción | 8 |
| | Capitulo 1 Aviones de radio control (R/C) | 10 |
| 1.1 | Aviones de radio control r/c | 11 |
| 1.2 | Introducción a los aviones de r/c | 12 |
| 1.3 | Clasificación por nivel | 16 |
| 1.4 | Partes de un avión | 19 |
| 1.5 | Cuatro reglas básicas | 24 |
| 1.6 | Tipos de control de un modelo de R/C | 27 |
| 1.7 | Factores que influyen en el vuelo | 30 |
| | Capitulo 2 Propuesta e implementación del control automático | 35 |
| 2.1 | Propuesta e implementación del control automático | 36 |
| 2.2 | El control | 39 |
| 2.3 | Control de servos | 40 |
| 2.4 | Circuito para controlar el empuje | 45 |
| 2.5 | Circuito auxiliar | 47 |
| 2.6 | Circuito para cámara | 50 |
| 2.7 | Radio faro RaF | 52 |
| 2.8 | Acelerómetro | 58 |

| | | | |
|-----|-------------------|----------------------------------|----|
| | Capitulo 3 | Vuelo automático | 68 |
| 3.1 | | Implementación del circuito | 69 |
| | Capitulo 4 | Resultados y conclusiones | 82 |
| | | Resultados | 83 |
| | | Conclusiones | 86 |
| | | Glosario | 89 |
| | | Referencias | 94 |
| | | Bibliografía | 96 |

INTRODUCCIÓN

La necesidad de observar desde posiciones elevadas algún terreno, sistema hidráulico, eléctrico, etc. Crean la necesidad de utilizar vehículos aéreos, sin embargo, el costo de tales servicios antepone una barrera en los proyectos, ya que para saber las condiciones de trabajo es necesario tener imágenes del sitio.

Un problema que se encuentra en la adquisición de estos datos, es en si mismo el costo del vehículo aéreo, el cual encarece cuando se trata de una zona de difícil acceso, por lo que la nave debe llegar desde la pista mas cercana, siempre y cuando el clima y la torre de control permitan realizar el despegue y autorizar el vuelo en la zona.

El aeromodelismo ofrece una solución práctica al problema presentado, dado que por las dimensiones de los modelos, es posible despegar en menor distancia en comparación con un vehículo aéreo convencional, cabe mencionar su bajo costo de operación, además de poder ser usado para búsqueda de excursionistas, náufragos, por mencionar algunas aplicaciones. En el mundo del aeromodelismo, encontramos dos principales tipos de aviones: el avión de ala fija y el de ala móvil (helicóptero), este último ofrece mayores prestaciones a menor altitud y velocidad: por otro lado, el avión de ala móvil recorre mayor distancia en menos tiempo. Cabe mencionar que el costo de un helicóptero es mayor al de un avión.

OBJETIVO

Diseñar un circuito electrónico adaptable a un avión de R/C, que sea capaz de volar de manera autónoma, que además pueda tomar fotografías aéreas durante su recorrido y, en todo momento, tenga el control de éste, aún cuando se presente una contingencia.

CAPITULO 1

CAPITULO 1

AVIONES DE RADIO CONTROL R/C

AVIONES DE RADIO CONTROL R/C

CAPITULO 1

1.1 AVIONES DE RADIO CONTROL R/C

Al hombre siempre le ha fascinado la idea de tener un sirviente incondicional en sus labores, como un robot. En muchas situaciones críticas para el hombre es necesario que un robot tome el lugar del hombre o lo asista, para ciertas labores, mientras el hombre es la parte pensante y quien planea lo que se va a realizar llevando así un registro y al final una descarga de datos para su interpretación.

En ciertas aplicaciones críticas como son: los procesos industriales, la exploración submarina, aérea, entre otras. El hombre requiere la ayuda de un robot capaz de realizar estas operaciones a distancia lo cual implica una manipulación indirecta y una adquisición de datos para su interpretación.

En este trabajo se ofrece realizar dicha labor, así como la adquisición de datos, con una salida de interpretación más simple, en este caso fotografía. Siendo mi robot un avión capaz de realizar un vuelo de manera autónoma, barriendo un área determinada, con múltiples propósitos de aplicación, dependiendo de las necesidades de cada proyecto.

1.2 INTRODUCCIÓN A LOS AVIONES DE R/C

Militarmente la aplicación de la fotografía aérea siempre ha representado una ventaja militar a la nación que posea esta tecnología, más aún cuando se es capaz de tomar las fotos de manera automática y con vuelos teledirigidos y radio dirigidos (R/C), siendo menos riesgosos que los tripulados; estos avances militares favorecen el avance civil.

El primer control a distancia que prometía impactar objetivos militares, se basaba en el adiestramiento de palomas, las cuales tripulaban aeronaves (bombas explosivas). Su control era muy ingenioso, las palomas estaban entrenadas para picotear la imagen de buques de guerra que aparecían en una pantalla frente a ellas, el dispositivo reaccionaba, cuando era picado, dirigiendo entonces al aparato hacia la ruta de colisión, siendo entonces una misión suicida. Aunque el proyecto era prometedor y había demostrado ser exitoso, sin embargo fue rechazado.

Los científicos dirigen su atención a las ondas de radio para R/C, donde por medio de instrucciones de radio emitidas por un transmisor y recibidas por un receptor, así mismo interpretadas permitan controlar la velocidad y dirección. En 1942 E. U. lanza su primer bomba controlada por radio, llamada "El ATHON", esta era liberada desde cierta altura y desde el mismo avión era guiada mediante ondas de radio controlando sus aletas que le permitían

solamente tener dirección (derecha a izquierda) guiándola hasta alcanzar su objetivo.

“El ATHON” fue la base para una arma aun más rara para su tiempo, de la operación llamada AFRODITA, la cual consistía en un viejo avión cargado con nueve toneladas de explosivos y conducido por dos pilotos quienes a la altura de tres mil metros, los pilotos armaban la bomba y mediante un control de conmutación entregaban el mando a una nave nodriza que volaba cerca de ellos para que mediante radio control dirigieran a la nave camino a su objetivo, mientras ellos saltaban.

Estas bases proporcionaron al mundo del R/C la tecnología suficiente para volar de manera segura y poder así realizar aplicaciones autónomas y semi autónomas. Para iniciar en el mundo del R/C debemos conocer con que tipo de avión debemos empezar, lo cual nos lleva a la elección inicial, el avión que se necesita es el llamado entrenador.

Este tipo de avión se caracteriza por tener el ala alta, el ala está encima del fuselaje a unos centímetros del morro lo que le proporciona una mayor estabilidad que se basa en el diedro de la misma, es un avión de vuelo lento, con tren de aterrizaje tipo triciclo; dos ruedas bajo las alas, y una bajo el morro, lo cual lo hace ser muy estable en tierra y fácil de controlar que tiende siempre a recuperar su posición estable, si el avión no vuela plano, se nivelará él solo. Estas características son excelentes para aprender a volar.

Un avión entrenador puede o no tener alerones. Si no cuenta con alerones los vuelos son planos y se carece de control y tiende a ser aburrido ya que su vuelo es muy monótono, además de que se carece de habilidad para acceder al segundo avión, cuando el entrenador cuenta con alerones este es más flexible y por tanto más divertido, además de sentar las bases para continuar con el entrenamiento para acceder a un segundo avión.

Generalmente es posible empezar con dos tipos de modelos, los kits (todo está en palitos donde se deberá armar todo y cubrirlo) y los ARF (Almost Ready to Fly por sus siglas en inglés), se puede decir que están armados al 80% o 90%, donde solo es cuestión de ensamblarlos. En la tabla se muestran algunas características de los tipos de modelo Figura 1.2.1.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MODELOS TIPO ARF Y TIPO KITS

| Características | MODELO ARF | MODELO KIT |
|----------------------------------|---|---|
| Tiempo requerido de construcción | de 30 a 240 minutos | 2 semanas en adelante |
| Herramientas | Dependiendo del modelo y la compañía que lo fabrica, se requerirán algunas pocas herramientas, por ejemplo el modelo superstart de hobbico tan solo necesita un destornillador. | El modelo tipo kit, requiere de herramientas implicadas en la construcción de los kits tales como lijadoras, bisturí, plancha para el monocote, taladros, dremel, en muchos casos y algo de |

| | | |
|-------------|--|---|
| | | experiencia para el usuario. |
| Pegamentos | hay aviones tipo ARF que requieren pegamentos para finalizarlos y otros modelos no requieren ningún tipo de pegamento | los modelos tipo kits requieren de pegamentos como epoxy para ciertas regiones como la base del motor y cianocrilato para armar las alas |
| Decoración | Los modelos arf vienen previamente pre-decorados por la fábrica implicando que no podrán ser decorados a gusto del constructor. | los modelos tipo kits tienen la ventaja que pueden ser decorados a gusto del constructor |
| Experiencia | Los modelos tipo arf prácticamente no requieren de ningún tipo de experiencia para el constructor ya que todas las piezas críticas están pre-armadas por la fabrica. | Los modelo tipo kits requieren experiencia para los constructores para saber identificar situaciones especificas del diseño, aunque hay modelos como el eagle ii que su manual de instrucciones es muy detallado y no presenta problemas. |

Figura 1.2.1

El tamaño del avión esta relacionado con el del motor por lo tanto se recomienda utilizar un avión con motor .46cc. para iniciarse. El motor es uno de los elementos más importantes del equipo básico y, sin embargo, no es demasiado caro, por lo cual es recomendable comprar uno que proporcione un buen empuje al avión y que sea fácil su puesta en marcha.

Es necesario un equipo de radio para controlar el avión, y para aprender un equipo básico de cuatro canales es suficiente (cada canal controla una función diferente). Una emisora de cuatro canales generalmente controla el motor, la elevación, los alerones, y timón de dirección.

Además existen algunos accesorios pequeños accesorios necesarios.

- Un arrancador (aunque es posible arrancarlo a mano, pero menos recomendable)
- Un calentador de bujía, llamado “hot shot”
- Combustible
- Herramientas

1.3 CLASIFICACIÓN POR NIVEL

Para este trabajo solamente utilice aviones tipo ala fija, y de motor a gasolina con ala alta. Cuando hablamos de aviones entrenadores pensamos en un vuelo estable y relajado; sin embargo, la apreciación de estas características por parte del piloto es la parte fundamental del vuelo, y del diseño propio del avión. Un avión entrenador de kit con motor .40cc, dependiendo del modelo, tiene cualidades de vuelo muy estables que proporcionan un control preciso aun en situaciones difíciles con viento. Con un modelo ARF, el montaje es más sencillo que su manejo y, por uno, a este tipo de aviones también se les conoce como primer avión.

Después de haber volado con un avión de ala alta, además de haber realizado maniobras con viento, hacer aproximaciones en toma de pista y rollos lentos, se está listo para volar con un avión de ala baja de motor .40cc. Este tipo de avión permite seguir evolucionando, y realizar vuelos más complicados, sin tener el riesgo de destrucción del mismo en vuelo, ya que las maniobras que puede realizar son soportadas por una estructura interna más fuerte, sin embargo se debe tener una sensibilidad mayor para su control, ya que a diferencia de un entrenador este avión, presenta una menor sustentación en vuelos de baja velocidad, a un más peligroso un paro de motor. A este tipo de avión se le conoce como segundo avión, y puede incluir 5 o 6 servos para su control. Cada servo agrega una función adicional como puede ser un tren de aterrizaje retráctil, flaps, freno de aire, o aplicaciones como bomba de humo.

Para realizar vuelos de mayor nivel (tendencias acrobáticas) es necesario un motor que proporcione un mayor empuje; además es necesario mayor espacio para el despegue y aterrizaje, ya que la velocidad es mayor y por tanto la distancia recorrida se incrementa. Es recomendable que los primeros vuelos con este tipo de modelo sean supervisados por un piloto experto.

Este tipo de avión es muy rápido y la respuesta a los mandos es muy sensible, además de contar con mezclas en los servos para realizar vuelos aun más complicados, a mayor velocidad, por dar ejemplo, si se emplea un freno de aire, un avión como el P51 Mustang es capaz de detenerse por un instante en el aire o al

aterrizar utiliza el freno de aire para detener la carrera, con la mezcla de servos se pueden controlar como se había comentado anteriormente el de tren retráctil, los alerones y los flaps (solapas). Este tipo de avión se considera como un tercer avión, estando cercano a la frontera acrobática y el vuelo 3D. En un tercer avión es necesario realizar ajustes de trim (función de ajuste mínimo) para los mandos durante el vuelo, a lo que podemos llamar compensar en vuelo.

POSICIÓN DEL ALA

Otro factor fundamental en el diseño de un avión es la posición del ala con respecto del eje longitudinal. Tenemos 3 tipos básicos; ala alta, ala media y ala baja. La diferencia básica entre las disposiciones es la distribución del peso.

Ala alta. El ala en la parte superior del fuselaje permite que el peso del avión se localice por debajo del ala. Esto hace que la aeronave sea bastante estable y con tendencia a la corrección. (Ej. Cessna, Piper Cub, etc.). El dorso plano mantiene mejor contacto con la lámina de aire haciendo el vuelo estable y fluido.

Ala media. El diseño por excelencia para modelos acrobáticos iniciales. El ala en esta posición permite mayores velocidades y giros sobre el eje longitudinal del avión. (Ej. P51D-Mustang, Extra 300).

Ala baja, para los expertos este diseño distribuye la totalidad del peso sobre el ala y hace que el control de la aeronave sea más complicado. La ventaja que aporta es un diseño mucho más robusto y amplía la capacidad de carga del avión (más pesado) (Ej. DC-3 y aviones comerciales típicos). El ala baja mantiene mayor contacto con el aire ya que se emplea toda la superficie del ala incluida el centro de la misma lo que no sucede con las otras 2 configuraciones.

1.4 PARTES DE UN AVIÓN

Un avión sea comercial, de club aéreo o militar tiene las mismas partes como se muestra en la figura 1.2.1.

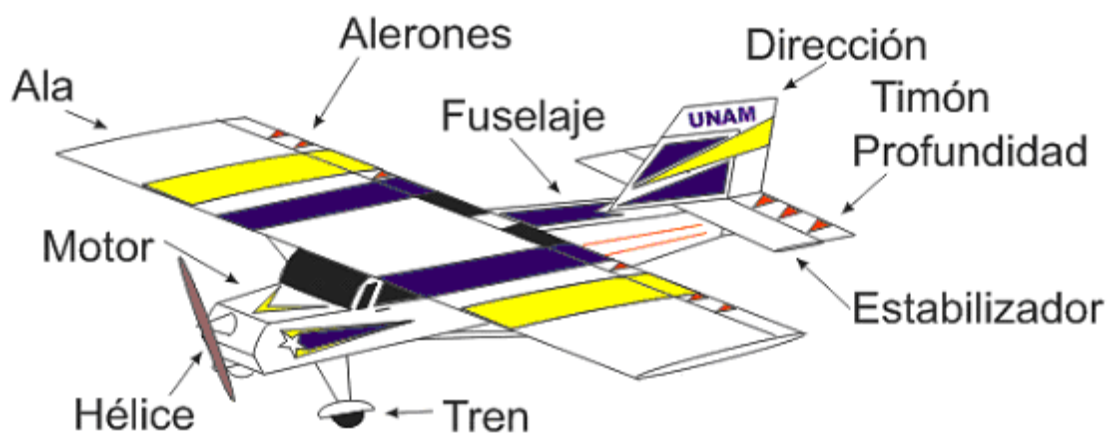


Figura 1.4.1

FUSELAJE

Es la parte principal o cuerpo del avión, la de mayor volumen y por lo tanto es la principal fuente de resistencia. El fuselaje es la parte que lleva la carga, donde van los controles, accesorios y demás equipos. Para unos aviones monomotor, el motor y sus mandos de vuelo se encuentran en la proa o morro.

ALAS

Representan el elemento fundamental del avión para conseguir sustentación.

ALERÓN

Son las superficies principales de mandos del avión. Están situadas en los extremos de las alas, en las zonas del borde de salida y controlan el movimiento de alabeo alrededor del eje longitudinal. Se mueven el de cada lado en sentido opuesto al del otro lado. Su acción se basa en que al levantar el alerón de un lado esa ala tiende a bajar por disminuir la sustentación de la misma y en el otro sucede lo contrario, con lo cual, se inicia el movimiento de alabeo.

TIMÓN DE PROFUNDIDAD

El timón de profundidad proporciona el control longitudinal o cabeceo alrededor del eje lateral o transversal. Van instalados en la parte posterior del estabilizador horizontal son usados para mantener el avión en vuelo nivelado a las diferentes velocidades.

Cuando se mueve hacia arriba, el timón disminuye la sustentación en la cola, con lo que ésta baja y el morro sube.

TIMÓN DE DIRECCIÓN

El timón de dirección proporciona el control direccional del avión alrededor del eje vertical. Si se empuja el timón al lado izquierdo, y la fuerza producida por el estabilizador vertical origina que se desplace el morro del avión a la izquierda.

LA HÉLICE

La hélice es el elemento físico que se conecta o instala en el eje de motor. El motor se encargará de hacer girar la hélice entre 2000 rpm hasta 35000rpm para ejercer la fuerza de atracción del aire (Las revoluciones dependerán del modelo y capacidad del motor). Cada motor dependiendo de la capacidad tendrá una hélice ideal y específica para el motor, no se podrán instalar hélices al azar. Si se instala una hélice muy pequeña el motor se sobre revolucionara causando efectos negativos y, por el contrario, si se le coloca una hélice muy grande entonces el motor le faltara fuerza.

Es importante conocer que cada hélice viene marcada con una nomenclatura, la cual es importante conocerla. Básicamente en la parte central se encuentran dos números multiplicados por ejemplo: (12 X 8). El primer numero (12) significa la longitud total de la hélice (Largo de la hélice), el segundo numero significa la curvatura que tiene la hélice y es denominada paso. El paso indica que tanto

avanza la pala considerándola como un tornillo que se rosca en el aire.

EL MOTOR

El motor es el elemento mecánico que proporciona al avión el empuje necesario para despegar y mantenerse en vuelo. El motor más usado en aeromodelismo es el motor de explosión de un solo cilindro y dos tiempos. La cilindrada de estos motores oscila entre los 0.3cc y los 30cc. A pesar de su pequeño tamaño son capaces de desarrollar potencias entre 1cv y 25cv (0.9863hp y 24,6575hp) capaces de alcanzar desde 2000rpm hasta 35000rpm dependiendo de la cilindrada como se muestra en la figura 1.4.2

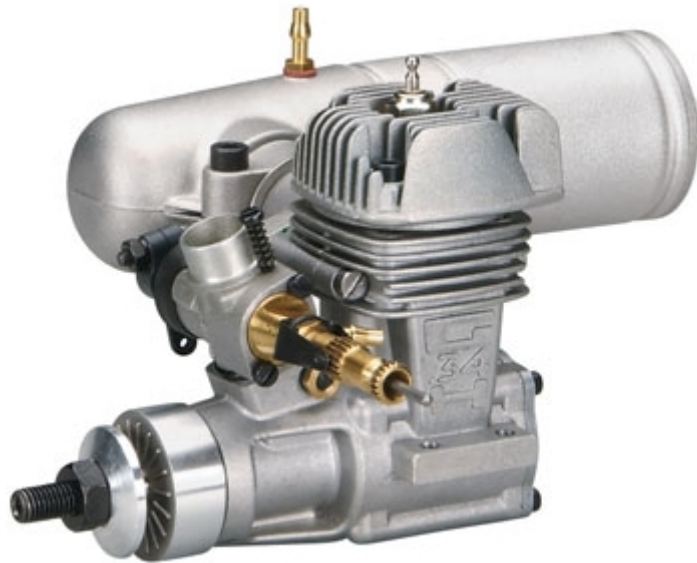


Figura 1.4.2

Estos motores como utilizan combustible una mezcla de metanol y aceite, además, para aumentar la potencia del motor, se le añaden nitro metano, con una mezcla conocida como 15%. Su acción durante la combustión se basa en encender oxígeno, lo que hace

que la mezcla sea más completa y viva. El encendido de la mezcla se hace mediante una bujía de incandescencia o sistema "Glow". Como se muestra en la figura 1.4.3



Figura 1.4.3

EL TREN DE ATERRIZAJE

Todo modelo debe tener excelentes condiciones de desplazamiento en la tierra, para despegar o aterrizar con mucha suavidad y control, por lo tanto deberá tener un buen tren de aterrizaje. Esto depende exclusivamente de la ubicación de sus ruedas con respecto al centro de gravedad, en un modelo de tren triciclo (rueda delantera orientable y dos en su ala o fuselaje) las dos ruedas traseras deberán estar a la altura del centro de gravedad, esta es la posición más recomendable, pero esto hace que el modelo se caiga de cola cuando este en el piso, por lo tanto la posición correcta es ubicarlas por detrás del centro de gravedad de uno a dos centímetros según el tamaño del modelo. Esto hace que el modelo quede bien parado en tierra, y al carretear obedezca a los mandos del timón de dirección.

Con respecto a la altura del tren triciclo, se debe tener en cuenta que la hélice va a tocar el piso si está muy bajo el tren, la hélice debe pasar cinco o siete centímetros del piso, se obtendría una

operación correcta. Cuanto más bajo es el tren, más estable es el modelo en tierra, por lo tanto la altura del tren delantero tiene que ser un poco, menor que la de los dos traseros, lo cual hace que en el aterrizaje la nariz se afirme bien en el piso y podemos tener mejor control del modelo, pero tampoco se debe exceder porque se tendría que dar mucho más carrera en el despegue para que el modelo se eleve.

En los modelos con tren convencional, los que tienen dos ruedas en el fuselaje y una orientable en la cola, también es muy importante tomar en cuenta la ubicación del tren de aterrizaje con respecto al centro de gravedad del avión. Si colocamos el tren convencional sobre el centro de gravedad, nos va a quedar muy atrás y en esa posición el modelo tendría a caerse de morro (nariz del avión) y sería muy inestable en su despegue. Entonces, en este tipo de modelos se tiende a correr el tren hacia adelante, y para una buena orientación del modelo en tierra, el patín de cola debe estar ubicado de forma que el eje de giro esté en línea con el borde delantero de la aleta del timón de dirección.

1.5 CUATRO REGLAS BÁSICAS

Para que el avión pueda volar se deben considerar cuatro fuerzas aplicadas al avión, como se muestra en la figura 1.5.1: Sustentación, empuje, resistencia y peso.



Figura 1.5.1

1. El peso del avión, que lo empuja hacia la tierra, por efecto de la gravedad.
2. La sustentación que es producida por la forma aerodinámica de las alas, al moverse el avión por el aire.

Una forma para probar la sustentación es colocar una hoja de papel sobre una regla, colocar esa regla a la altura de la boca y soplar sobre el papel, el papel se levanta por efecto de la sustentación.

3. El empuje que producen los motores jet o las hélices y que hace que el avión pueda moverse por el aire.
4. La resistencia al avance, que es la fuerza que se opone al movimiento.

Una forma de probar la resistencia es en un auto en movimiento. Sacar la mano poniendo la palma contra el aire, y luego colocando la mano de canto, la resistencia (fuerza que llevara la mano hacia atrás) será mayor cuando la mano este con la palma contra el aire mientras que al ponerla de canto esta será muy pequeña.

Para que un avión pueda volar la sustentación debe ser mayor que el peso del avión, y el empuje que entregan los motores también mayor que la resistencia de todo el avión.

El avión dispone de tres (3) ejes fundamentales; el eje de guiñada o eje vertical controlados por el timón, el eje de cabeceo o eje lateral controlados por el timón de profundidad, y el eje de balance o eje longitudinal controlados por los alerones. Como se muestra en la figura 1.5.2.

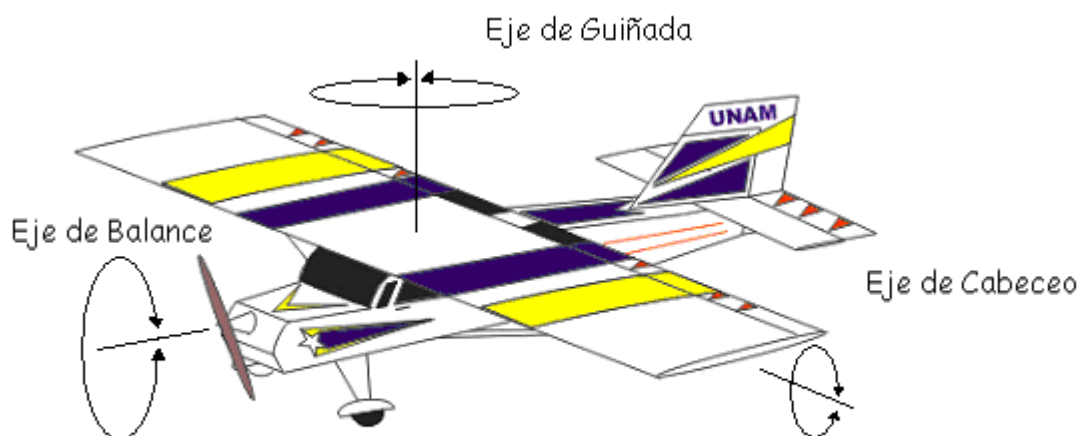


Figura 1.5.2

El avión puede girar sobre un eje individualmente o sobre una combinación de ellos dependiendo de la dirección del movimiento y los mandos. Cuando el timón de dirección se mueve a la derecha, el avión girara a la derecha sobre el eje de guiñada y viceversa.

Cuando el timón de profundidad sube, el avión ascenderá levantando el morro girando sobre el eje de cabeceo. Los alerones giran al mismo tiempo pero en direcciones opuestas. Cuando el alerón izquierdo sube y el derecho sube, el avión girara a la izquierda sobre el eje de balance y viceversa.

1.6 TIPOS DE CONTROL EN UN MODELO DE R/C

Para el control de los servos de un modelo tenemos dos diferentes maneras, una con el tipo **PPM**, y la otra con **PCM**.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

El transmisor de radio control puede dividirse en dos partes: la primera se encarga de generar la señal que codifican los comandos, siendo ésta el codificador, generador de señal base o modulador, y la segunda es el que se encarga de transmitir por radio (etapa de RF o transmisor de radio) lo que el codificador envía.

CODIFICADOR O GENERADOR DE SEÑAL BASE

El codificador tiene la función de tomar la información que le proveen la posición de las palancas de control y producir una señal codificada. La interpretación de los datos se puede hacer de distintas formas. Al inicio de los primeros radio controles no se codificaban los controles.

Hoy por hoy es necesario controlar varios servos y esto debe ser ocupando una sola frecuencia de transmisión para llevar la información de 3, 4, 6 o mas canales al "mismo tiempo"; por eso es necesario codificar la posición de cada uno de estos servos. El método de codificación debe ser tal que el servo debe imitar la posición de la palanca de mando lo más fielmente posible y con un retardo mínimo.

La posición es una variable analógica, esto quiere decir que entre un punto y otro hay infinitos puntos intermedios, entonces el codificador del radio control debe utilizar un método para que además de llevar la información de n canales, esta deba ser analógica y enviada en "tiempo real" hasta los servos. No debe haber retardo en el envío de información ya que esto seria un efecto no deseado y peligroso considerando que la velocidad promedio del avión es de 90km/h.

Los métodos de codificación mas usados son (PWM) "Pulse Width Modulation" por sus siglas en inglés lo que significa Modulación por

Ancho del Pulso, (PPM) conocido como "Pulse Position Modulation" que significa Modulación por Posición del Pulso, siendo este último el más usado por la mayoría de los equipos de radio, y finalmente el (PCM) "modulación por codificación de pulso".

PCM, MODULACIÓN POR CODIFICACIÓN DE PULSOS

Basada en el teorema de muestreo: Si una señal $f(t)$ se muestrea a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia significativa más alta de la señal, entonces las muestras así obtenidas contienen toda la información de la señal original.

La función $f(t)$ se puede reconstruir a partir de las muestras mediante la utilización de un filtro paso bajo. Es decir, se debe muestrear la señal original con el doble de frecuencia que ella, y con los valores obtenidos, normalizándolos a un número de bits dado (por ejemplo, con 8 bits habría que distinguir entre 256 posibles valores de amplitud de la señal original a cuantificar) se ha podido codificar dicha señal.

En el receptor, este proceso se invierte, pero por supuesto se ha perdido algo de información al codificar, por lo que la señal obtenida no es exactamente igual que la original (se le ha introducido ruido de cuantización). Hay técnicas no lineales en las que es posible reducir el ruido de cuantización muestreando a intervalos no siempre iguales.

PWM MODULACION POR ANCHO DE PULSO

Modulación por ancho de pulso (o PWM de pulse-width modulation en inglés) es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (por ejemplo sinusoidal o cuadrada).

El ciclo de trabajo en una señal periódica, es el tiempo relativo de su parte positiva en relación al periodo. Matemáticamente

$$D = \frac{\tau}{T}$$

Donde:

D Es el ciclo de trabajo.

τ Es el tiempo en que la función es positiva (ancho de pulso).

T Es el periodo de la función.

La construcción típica de un circuito PWM se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas se conecta a un oscilador de onda triangular, mientras que la otra queda disponible para una señal moduladora. En la salida, la frecuencia es igual a la de la señal triangular y el ciclo de trabajo está en función de la portadora

La principal desventaja que presentan los circuitos PWM es la posibilidad de que haya interferencias generadas por radiofrecuencia. Estas pueden minimizarse ubicando el control

cerca de la carga y realizando un filtrado de la fuente de alimentación.

PPM MODULACION POR POSICION DE PULSO

Modulación por posición de pulso o en inglés Pulse Position Modulation (PPM) es un tipo de modulación en la cual una palabra de M bits es codificada por transmisión de un único pulso que puede encontrarse en alguna de las 2^M posiciones posibles. Si esto se repite cada T segundos, la tasa de transmisión es de $\frac{M}{T}$ bits por segundo. Este tipo de modulación se usa principalmente en sistemas de comunicación óptica, donde tiende a haber poca o ningún tipo de interferencia por caminos múltiples.

1.7 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL VUELO

PREVIO AL VUELO

Para no perderse hay que saber donde uno vuela. Se necesita hacer un reconocimiento de la zona previa. Tomarse unos minutos para observar puntos de referencia que puedan ser reconocidos desde el aire. Por ejemplo: Caminos, un campo seco en medio de la huertas verdes, un espejo de agua, un río, una playa, forma del perímetro de un campo (cuadrado, rectángulos, circular, triangular), unas montañas, complejos industriales, árboles, contracciones varias, etc. Esto es cuando se vuela con sistemas de video remoto, y es recomendable también cuando se vuela sin video ya que la

percepción de la distancia se puede perder así como saber si el avión se aleja o acerca, o vuela invertidamente.

Al inicio se debe evitar volar más allá de la zona de vuelo reconocida. Hay que tener paciencia y poco a poco ir ampliando los límites.

La perspectiva con la que vemos un objeto en tierra, cambia según la altura a la que estemos. Las referencias que nos pueden ser útiles a una determinada altura de vuelo no lo serán a otra altura diferente. Por ejemplo un grupo de árboles pueden ser útiles si el vuelo es a unos 100m de altura o menos, pero si vuelo a 500 se pierde la referencia, y más si es video es en tiempo real, por otro lado si fuese fotografía previa, no se conocería la posición.

VOLAR CON VIENTO

Cuando se esta aprendiendo a volar tenemos una cuestión que al inicio puede ocasionar una obsesión, el viento, es tan impredecible y peligroso que en los primeros vuelos normalmente se busca realizar en días tranquilos, más aun cuando se agrega peso adicional al avión como es el caso de este proyecto, sin embargo esto no lo justifica ya que el viento puede ser incluso hasta nuestro aliado.

Es cierto que los primeros vuelos deben ser con viento en calma, pero paulatinamente nos debemos acostumbrar a volar con viento,

ya que va a ser una constante en vuelos futuros. La cantidad de viento con la que podemos volar la determinará la experiencia y las limitaciones de nuestro avión, por lo que no existe ningún atajo para aprender, además de que estas condiciones sirven de base para el perfeccionamiento del control automático.

Más que ir probando poco a poco, al tomar clases vamos adquiriendo mayor experiencia, tanto propia como la de los compañeros de vuelo. Al tener estos conocimientos físicos del medio y de la aeronave podremos proporcionar más detalles al control automático, lo que se traduce como un control funcional y confiable.

No obstante y como recomendación general si el viento es constante, regular y adecuado a la potencia y peso de nuestro avión, no vamos a tener ningún problema, salvo con el viento en cola y el vuelo lento o aterrizando con el viento en cola (siempre se debe evitar esta situación).

Cuando tenemos el viento en cola, el avión avanza mucho más rápido de lo normal respecto a la tierra, pero no respecto del aire que lo rodea, esta situación nos puede llevar a la percepción errónea de que estamos volando muy deprisa cuando no es así, si reducimos la aceleración del motor para disminuir la velocidad, lo único que vamos a conseguir es la disminución del flujo de aire por el ala del avión, dejando de generar la sustentación necesaria y por lo tanto entrando en pérdida pudiendo estrellar el avión. Con viento en cola hay que acostumbrarse a que el avión volará más rápido.

También existen tipos de viento con los que no conviene volar si aún no tenemos demasiada experiencia, tal es el caso del viento turbulento o con ráfagas, en estas circunstancias, cuando tenemos rachas que soplan a diferentes velocidades tendremos que estar ajustando constantemente los mandos del avión para mantenerle en lo posible, en un vuelo estable, si las ráfagas son muy cambiantes o varían mucho en su velocidad, casi con toda seguridad acabaremos con el avión en el suelo, para contrarrestar esta situación podemos volar un poco más alto con lo cual si tenemos una situación de peligro podemos tener un rango más amplio para tratar de corregirlo antes de estrellarse.

DIFICULTADES VOLANDO CON EL SOL BAJO

El sol bajo presenta dos inconvenientes:

1) En algún momento del vuelo tendré el sol de frente dificultándome la visión, tanto para vuelo remoto como con video.

2) Al estar bajo el sol, se crea una distorsión en los colores de la tierra, lo mismo sucede con video. Los colores son muy útiles para orientarnos. Al estar el sol bajo, la tierra vista desde el aire se torna de un color amarillento. En las últimas horas de sol, ese color amarillento ocasionando una aberración cromática que deriva con la apariencia de que el terreno fuera todo igual. Los límites, los objetos, etc son más difíciles de ver. Si a esto le sumamos que

habrá largas sombras sobre ciertas zonas (regiones de sierras) o en los mismos objetos (grupos de árboles), la orientación se complica

Evitar volar con el sol de espaldas, ya que luego al regresar lo tendremos de frente y por lo tanto la visibilidad disminuirá.

Volar perpendicular al sol en los comienzos. Luego con más práctica se podrá ir, haciendo ZIG-ZAG con recorridos oblicuos al sol, un poco para un lado y luego para el otro, y así ir avanzando. Todo esto para evitar tener al sol directo en la cara. Volar de cara al sol durante el atardecer, sin conocer la zona desde el aire y sin mucha experiencia, puede desorientarnos totalmente, aún si se vuela sin video, a la puesta de sol baja la visibilidad.

CAPITULO 2

PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO

CAPITULO 2

2.1 PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO

Se propone desarrollar un circuito electrónico capaz de controlar el vuelo de un avión de R/C de manera autónoma, se necesita un circuito que se encargue de mantener la velocidad así como el garantizar que no habrá paros de motor, de lo contrario la aeronave caería al vacío ya que su motor de empuje es de combustión interna y carece de marcha, por lo que su arranque es en tierra.

Por otro lado, se necesita un circuito que mantenga un área de vuelo limitada donde podamos realizar un vuelo automático, el cual se controla por una señal de radio, si el avión en algún momento saliera de esta zona, al perder la señal de referencia, el circuito intentará regresar a la zona de vuelo, si este no la puede encontrar, entonces entra en un ciclo donde la aeronave se limitara a estar dando vuelta hasta que reciba otra instrucción.

Cuando la aeronave es regresada a la zona de vuelo esta tiende a caer cuando hace un viraje debido a que los alerones controlan el alabeo encargado de hacer cambiar de dirección al avión, cuando se realiza un alabeo (izquierdo o derecho) siempre el morro se tenderá a picar, en ese momento el un acelerómetro compensara la cola con el timón de elevación para que el viraje sea suave y el

morro no se pique conservando así un vuelo horizontal y estable ante cualquier perturbación.

El avión cuando esta en vuelo y aun en tierra tendrá la capacidad de obtener fotografías aéreas disparadas de manera automática mediante un circuito que controla a una cámara digital común con memoria de almacenamiento SD, es importante que tenga esta característica de almacenamiento, la experiencia dice que es necesario, un primer avión dispuesto en el proyecto, quedo destruido al fallar el funcionamiento del motor en vuelo, al caer destruyo los circuitos así como la cámara la cual almacenaba su información siempre y cuando las baterías no fueran retiradas o estas se agotaran, ver figura 2.1.1, es por esta razón que es importante la característica de almacenamiento SD, dicho circuito se podrá ajustar para disparar en intervalos cortos o largos.



Figura 2.1.1

Como puede apreciarse en la figura 2.1.1 el golpe no fue de frente ya que la bancada esta completa, al presentar paro de motor el avión se precipito manteniendo la horizontal en todo momento, yo supuse que la estructura mas fuerte se encontraba bajo el tren de aterrizaje, por estar construido con tres varillas de acero, sin embargo cuando el Falcón cayó, la presión fue tan grande que doblo una varilla y destruyo los soportes, bajo el tren estaba situada la circuiteria misma que fue destruida en un 60%. La experiencia de este accidente me hizo entender que se necesitaban ajustes dado que el medio no es amigable, donde el avión se estrello fue a una distancia de 500m, del RaF, sin que se pudiera hacer nada, ello además de mejorar me hizo pensar en un circuito recuperador en tiempo real, que conmuta las señales otorgando el control ya sea al automático o al manual pero siempre comunicado, mas adelante se describe este control.

Por último se propone un circuito conmutador. Dado que no se desarrollo un circuito con la capacidad de despegue, es necesario realizar el despegue manualmente, y una vez en vuelo y a una altura segura, (segura por si algo sale mal, sea posible recuperarlo sin daños) el circuito conmutador anulará las funciones del R/C manual, otorgando así todo el control al circuito de control automático.

A partir de un modelo de R/C Falcón mostrado que es el avión con el que empece el circuito, y posteriormente tubo la capacidad de ir adaptándose a otros aviones de R/C como fue el Avistar, Solo, Decathlón, Calmato y por último en menos grado el AT-6. Aunque

de diferentes características, su mando electrónico es común, no obstante su comportamiento en vuelo ver figura 2.1.2. El circuito antes descrito se instalara en el avión no importando el modelo siempre y cuando este no sea de ala móvil (helicóptero), el circuito no altera el funcionamiento del receptor de radio de mando manual (mando ordinario) este se ajusta al mismo otorgándole más prestaciones, en este caso, la capacidad de volar de manera autónoma.



Figura 2.1.2

2.2 EI CONTROL

Desde el punto de vista de teoría de control, un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales de entrada o datos de entrada.

Es importante resaltar el hecho de no es necesario conocer el funcionamiento interno, o cómo actúan entre sí los diversos elementos. Para ello, sólo se precisa conocer la relación que existe entre la entrada y la salida del proceso que realiza el mismo (principio de la caja negra). El aspecto más importante de un sistema es el conocimiento de su dinámica, es decir, cómo se comporta la señal de salida frente a una variación de la señal de entrada. Un conocimiento preciso de la relación de entrada/salida permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla. De esta manera, el diseñador, conociendo cuál es la dinámica deseada, ajustará la acción de control para conseguir el objeto final.

En vista de todo lo expuesto, se puede definir un sistema de control como el conjunto de elementos que interactúan para conseguir que la salida de u proceso se comporte tal y como se desea, mediante una acción de control

2.3 CONTROL DE SERVOS

El control de los servos se realiza mediante señales periódicas antes descritas, la **modulación por anchura de pulso**, PWM (Pulse Width Modulation), es una de los sistemas más empleados para el control de servos. Este sistema consiste en generar una onda cuadrada en la que se varía el tiempo que el pulso está a nivel alto, manteniendo el mismo período (normalmente), con el objetivo de modificar la posición del servo según se desee.

Para la generación de una onda PWM en un microcontrolador, lo más habitual es usar un *timer* y un comparador (interrupciones asociadas), de modo que el microcontrolador quede libre para realizar otras tareas, y la generación de la señal sea automática y más efectiva. El mecanismo consiste en programar el *timer* con el ancho del pulso (el período de la señal) y al comparador con el valor de duración del pulso a nivel alto. Cuando se produce una interrupción de *overflow* del *timer*, la subrutina de interrupción debe poner la señal PWM a nivel alto y cuando se produzca la interrupción del comparador, ésta debe poner la señal PWM a nivel bajo. Como se muestra en la figura 2.3.1



PWM para recorrer todo el rango de operación del servo

Figura 2.3.1

El sistema de control de un servo se limita a indicar en que posición se debe situar. Esto se lleva a cabo mediante una serie de pulsos tal que la duración del pulso indica el ángulo de giro del motor. Cada servo tiene sus márgenes de operación, que corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo que el servo entiende. Los valores más generales que corresponden con pulsos de entre 1 ms y 2 ms de anchura, que dejarían al motor en ambos extremos (0° y 180°). El valor 1.5 ms. Indicaría la posición central o neutra (90°), mientras que otros valores del pulso lo dejan en posiciones intermedias.

Estos valores suelen ser los recomendados, sin embargo, es posible emplear pulsos menores de 1 ms o mayores de 2 ms, pudiéndose conseguir ángulos mayores de 180° . Si se sobrepasan los límites de movimiento del servo, éste comenzará a emitir un zumbido, indicando que se debe cambiar la longitud del pulso. El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos de engrane.

El período entre pulso y pulso (tiempo de OFF) no es crítico, e incluso puede ser distinto entre uno y otro pulso. Se suelen emplear valores ~ 2 ms. (entre 1 ms y 3 ms). Si el intervalo entre pulso y pulso es inferior al mínimo, puede interferir con la temporización interna del servo, causando un zumbido, y la vibración del eje de salida. Si es mayor que el máximo, entonces el servo pasará a estado dormido entre pulsos. Esto provoca que se mueva con intervalos pequeños.

Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición durante un cierto tiempo, es necesario enviarle continuamente el pulso correspondiente. De este modo, si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición, intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos (o el intervalo entre pulsos es mayor que el máximo) entonces el servo perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posición, de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo. Como se muestra en la figura 2.3.2 y 2.3.3

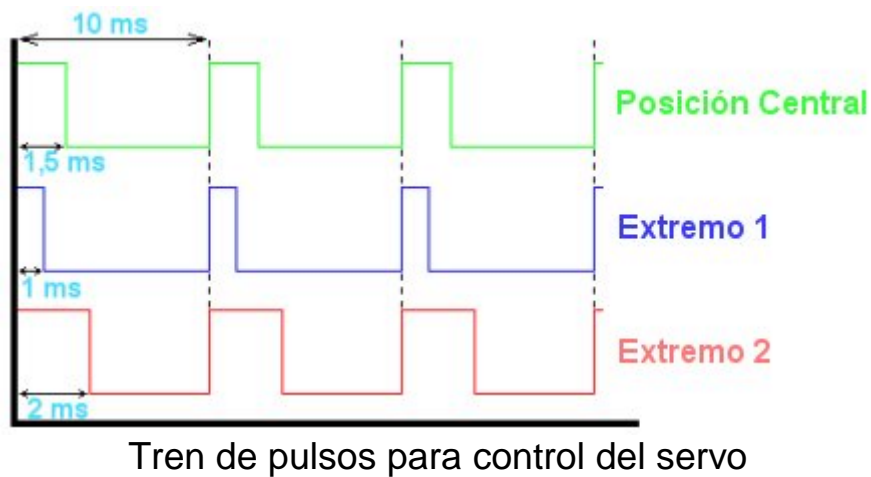
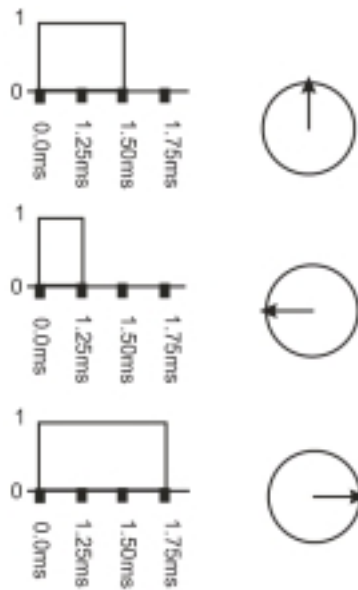


Figura 2.3.2



Otra posibilidad de pulsos de control Figura 2.3.3

CIRCUITO DEL SERVO

El 555 funcionando como astable que no es un oscilador sinusoidal, el pin 2 conectado a 6. Los componentes R_1 , R_2 y C_1 determinan la frecuencia de oscilación. El capacitor C_2 con valor de $0.1 \mu F$ es de desacoplamiento. La frecuencia de oscilación viene dada por

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{[C(R_1 + 2R_2)]} \text{ Donde } R_2 \text{ se usa variable un potenciómetro de 1}$$

a $100 \text{ k}\Omega$. Ajustando así el ciclo de trabajo. Donde se tiene una frecuencia que va desde $F = 42.3 \text{ hz}$. Hasta $F = 58.02 \text{ hz}$. Para el caso de los servos Futaba S3004 lo recomendable es una frecuencia de 60 hz . A un ciclo de trabajo del 50% ya que si se excede el 50% el servo no funciona correctamente. La expresión para el ciclo de trabajo se obtiene de la siguiente manera. El intervalo de tiempo en que la salida esta en alto representa lo que tarda C_1 en cargarse desde $\frac{1}{3}V_{cc}$ hasta $\frac{2}{3}V_{cc}$ por lo que el ciclo de

trabajo esta dado por $D = \frac{R_2}{R_1 + 2R_2} \times 100\%$ donde el ciclo de trabajo es variable del 50% al 62.5%. El circuito corresponde a la figura 2.3.4.

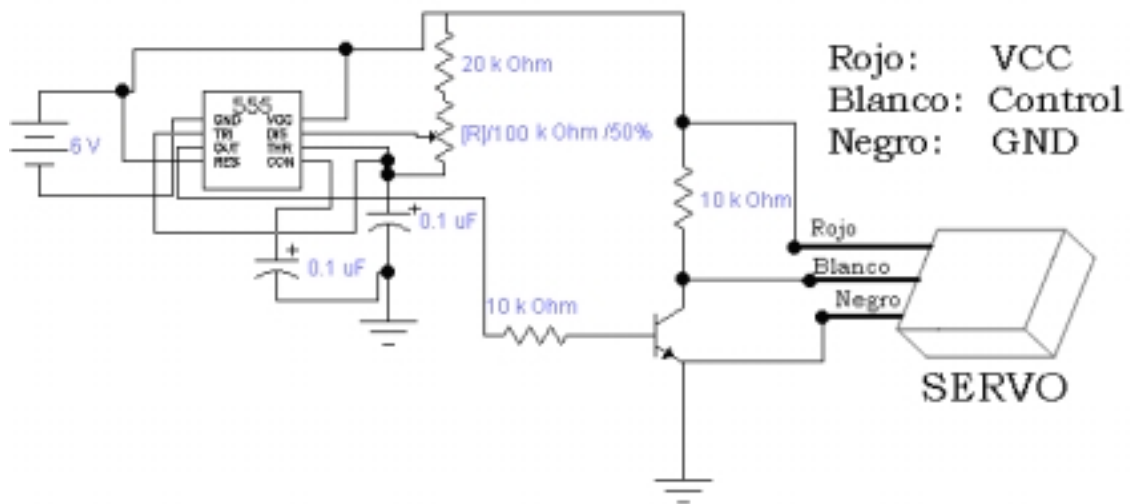


Figura 2.3.4

2.4 CIRCUITO PARA CONTROLAR EL EMPUJE

Para el control de motor a gasolina utilice un circuito similar al de la figura 2.3.4. Aun el avión empleado es el Falcón, con las características ya antes descritas. Con características similares en su calibración donde la variación solamente se hace en la puesta a punto del motor en operación (el motor a gasolina). Este circuito genera una señal que continuamente esta generando los pulsos para mantener la posición del servo donde la necesite. Este circuito pasa por el receptor de radio comercial de avión y sale al motor cuando el automático esta en operación el motor a gasolina es controlado por un servo que esta conectado al carburador y este

servo es el que el control controla. La aceleración es entonces gobernada de manera independiente al receptor comercial.

El problema que enfrente, es que cuando el motor es controlado por el control automático éste, estará sujeto a las condiciones a las que lo deja el mando manual. El control emplea un potenciómetro, que al hacerla girar en los dos sentidos (derecha o izquierda) el servo entonces responde girando de un lado a otro. La posición deseada se da al servomotor por medio de pulsos. En todo instante de tiempo se encuentra presente un tren de pulsos, dado que cualquier posición en nuestro servo esta relacionada con la frecuencia de la señal generada, como se mostraba en la figura 2.3.3. La frecuencia

dada por $F = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{[C_1(R_a + 2R_b)]}$ trabaja para este circuito

$F = 53.2$ hz. La señal cuadrada tendrá como valor alto V_{cc} (aproximadamente) entre $\frac{1}{3}V_{cc}$ y el $\frac{2}{3}V_{cc}$ y como valor bajo 0V. Para ajustar nuestro tiempo para nivel alto y bajo emplearemos las siguientes condiciones que variamos con el potenciómetro, logrando así tener el control del servo en la posición deseada. Ver figura 2.4.2. Los tiempos T_1 y T_2 del ciclo de trabajo están dados por

$$\text{Salida a nivel alto: } T_1 = 0.693(R_a + R_b)C$$

$$T_1 = 0.693(10+100)1000(1*10^{-6}) = 0.011 \text{ s}$$

$$\text{Salida a nivel bajo: } T_2 = 0.693R_b C$$

$$T_2 = 0.693(100)1000(1*10^{-6}) = 0.01 \text{ s}$$

$$T = 0.021 \text{ s}$$

Por lo tanto la frecuencia $F = \frac{1}{0.021} = 47.61\text{hz}$, con un ciclo de trabajo

$$D = \frac{t_{baja}}{T} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} * 100 = 47.62\%, \text{ encontrándose cercano al } 50 \%$$

que es el valor teórico.

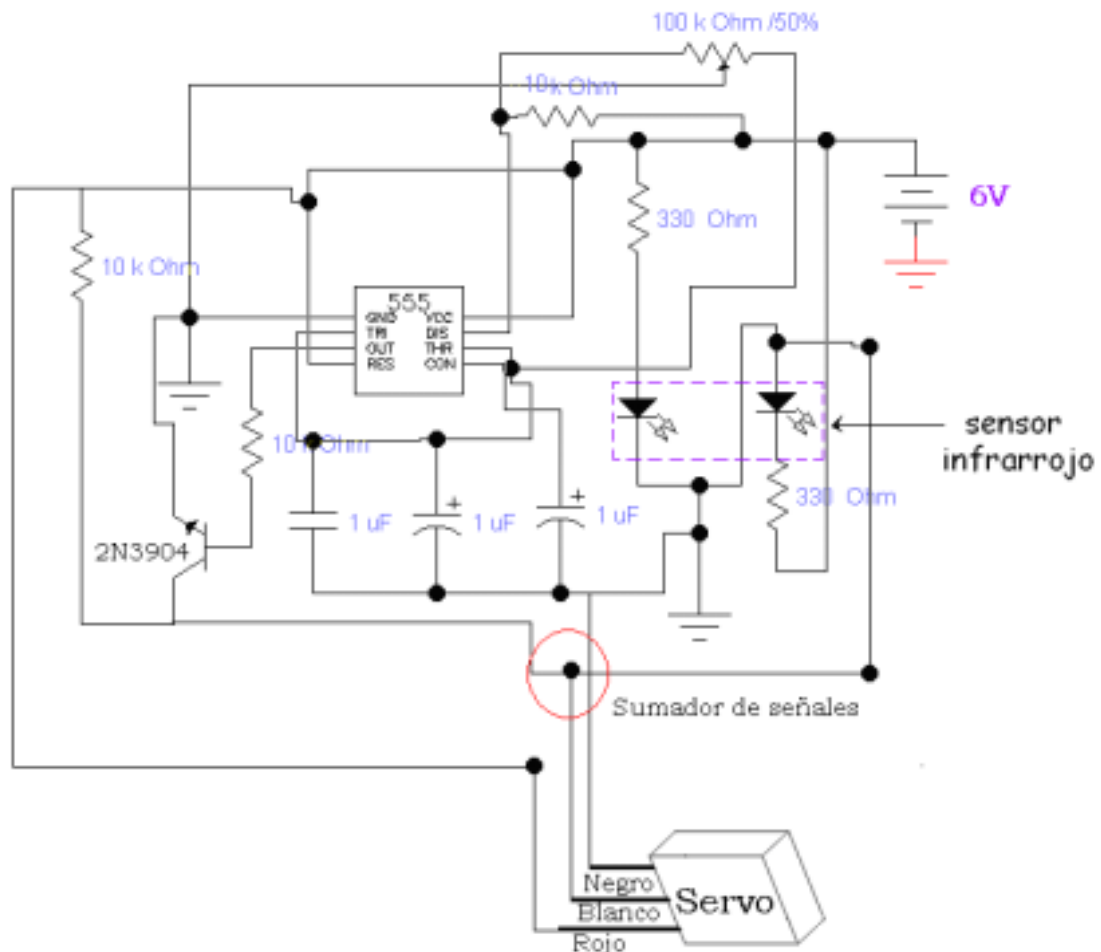


Figura 2.4.2

El avión se encuentra a una altura de seguridad pero no sabe que tanta aceleración debe mantener, el circuito se basa en el flujo de aire emitido por la hélice, el aire empujado hacia atrás es tomado por una toma de aire, dicha toma esta conectada a una turbina, que a su vez esta sobre el mismo eje de rotación cuenta con una pala

que es parte de un sensor de infrarrojo. Que a manera de contador toma las interrupciones en función de la velocidad producida por el aire que pasa a través de todo este sistema antes descrito, este sensor entrega una frecuencia que es alimentada al servo directamente, el servo es previamente controlado con una aceleración que permite el funcionamiento correcto y sin que el motor se apague o acelere de más, la realimentación hecha por la turbina permite controlar el rendimiento del motor.

En los motores de los aviones comerciales tienen instalado el regulador FADEC (Full Authority Engine Control). FADEC está constituido por el ordenador de control y el hardware, (soporte físico asociado) que regula el propio motor y otros sistemas periféricos que guardan relación con él. Así, el FADEC, además de calcular la cantidad exacta de combustible que se introduce en la cámara de combustión del turborreactor, gestiona otras funciones tales como la inversión de empuje, la presentación de datos en la cabina de vuelo, sistema de encendido, etc.

2.5 CIRCUITO AUXILIAR

El control auxiliar consta de un relevador de 5V. Este control se encargará de controlar los suministros de potencia de cada circuito, sin embargo este circuito estará permanentemente energizado y a la espera de instrucciones vía radio control.

El control R/C auxiliar es un radio receptor en FM de 72.390mhz acoplado para un servo modificado y solo tiene que interpretar la

señal (control) PWM y convertirlo a un voltaje de TTL, este voltaje controlará las interrupciones del relevador.

Estando el relevador con el pin 3 a GND constante, el pin 2 es el de control, disparado por la el convertidor de PWM a TTL, siendo amplificado el pulso por un transistor tip 31 y este actúe directamente sobre el pin 2 del relevador. Cuando el pin 2 es menos positivo se considera con GND y la salida de control pin 4 conduce. El pin 1 es conectado a GND de todas las fuentes de potencia que intervendrán en la operación de circuito.

El suministro de potencia del R/C mando manual (MM) que alimentará al circuito mismo será controlado a través de su GND así como los demás circuitos, mientras pin 2 se comporte como GND pin 4 se comportara de la misma manera, completando así el circuito para MM. Por otro lado cuando pin 2 sea TTL pin 4 cambiara a NA, conmutando así a pin 5 en NC siendo este ahora un circuito completo para el control automático (CTA). Ver figura 2.5.1.

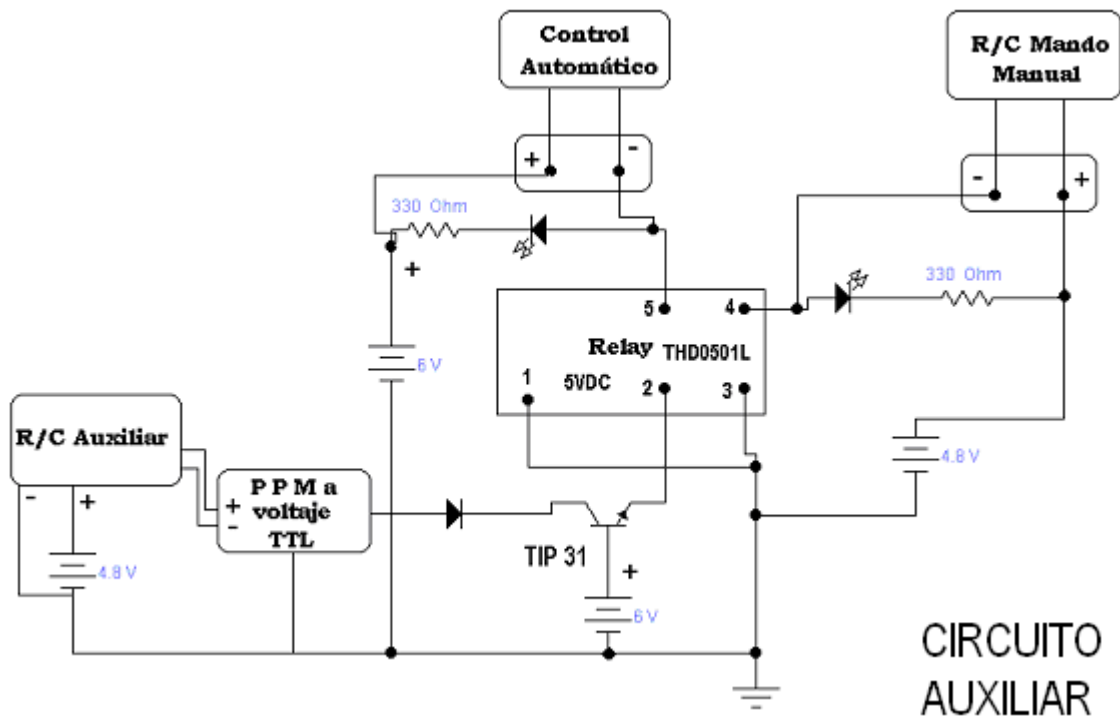


Figura 2.5.1

El pin 2 se vuelve TTL o GND, dependiendo de la señal enviada por el convertidor, a su vez este es ordenado por el circuito de radio del AUX.

El circuito auxiliar es un puente entre el CTA y el MM, nunca pueden estar ambos al mismo tiempo, el mando manual es el control responsable de controlar el despegue, así como la maniobra de asenso hasta la altura de seguridad.

Una vez logrado este propósito, el AUX enviará una orden (controlada por operador) que anulara el suministro de potencia del MM, y en consecuencia este dejara de funcionar (apagado), en ese momento el CTA entrara en operación tomando el control total de la aeronave hasta que se le indique lo contrario, o termine su

operación autónoma, una vez concluido éste proceso, el avión estará listo para iniciar la maniobra de descenso y aterrizaje, misma que el operador llevará acabo ya que la aeronave no cuenta con un circuito que se encargue de esta operación. El AUX dará la orden de conmutación nuevamente, entregando así el control total al MM.

Además de lo mencionado anteriormente, el propósito del AUX es un circuito de seguridad, en caso de que suceda una contingencia la aeronave puede ser obligada a responder de manera manual y poner fuera de peligro tanto al público como su integridad misma, ya que es un control en tiempo real.

2.6 CIRCUITO PARA LA CÁMARA

El circuito que se encargará de controlar a la cámara fotográfica podrá presentar dos modos, uno en el que depende del control automático y el segundo en que puede entrar desde el inicio del vuelo, el controlador influye directamente sobre el disparador de la cámara el cual es disparado por un circuito astable basado en temporizador 555 donde controlo los tiempos de disparo entre cada foto ajustando así y de acuerdo a como necesite los intervalos, de la salida del controlador la señal pasa a un relevador de potencia y es este quien dará la instrucción final a la cámara, la cámara cuenta con una memoria SD para almacenar su información garantizando así que en caso de un accidente se pueda recuperar dicha información (fotografías), se otra manera sucederá como comento al inicio del trabajo, de aquel accidente en el Flacón, que lo mas lamentable es que se perdió la mayor parte del trabajo. El circuito

astable es como ya lo he venido manejando solo que ahora agrego un relevador para obligar a que cada interrupción sea cero de otra manera la cámara se disparara con cualquier perturbación. Ver figura 2.6.1.

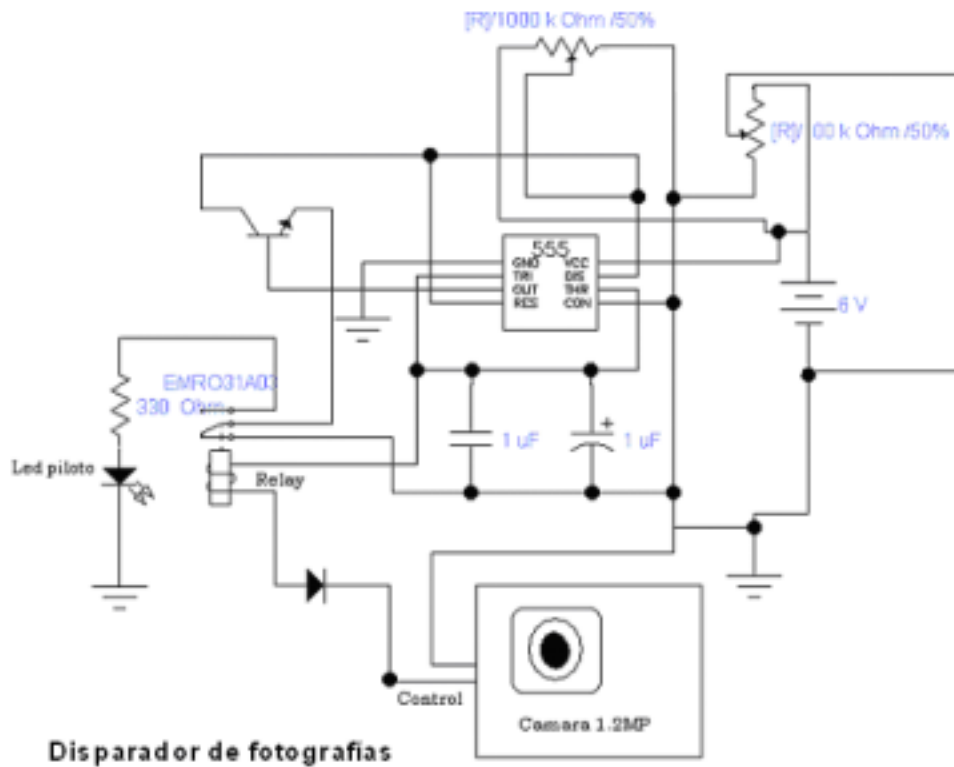


Figura 2.6.1

De manera similar al circuito para el control del motor tenemos un circuito astable donde la duración de los pulsos para este caso debe ser muy lenta, de segundos entre cada disparo, lo que ajustaremos con dos potenciómetros, esto debe hacerse en tierra antes de cada vuelo (calibración de instrumentos), los tiempos T_1 y T_2 para este circuito son los siguientes, aquí interesa que T_2 sea largo y T_1 pequeño, como e muestra en la figura 2.6.2.

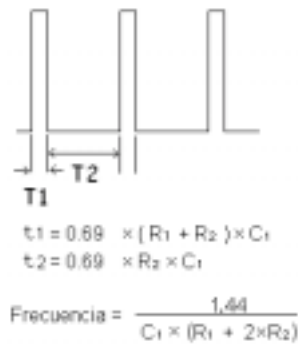


Figura 2.6.2

$T_1 = 5.54$ s hasta 10 s, $T_2 = 0.69$ s hasta 5.3 s que es el rango de variación que nos permiten los potenciómetros, tiempo suficiente para los disparos de la cámara permitiendo así tener un tiempo adecuado para cada evolución realizada por la aeronave.

2.7 RADIO FARO (RaF)

El radio faro cumple con una función muy importante dentro de la navegación del avión ya que este se encarga de monitorear la frontera donde está limitado el vuelo, un transmisor en tierra continuamente estará emitiendo una señal, con una capacidad de transmisión de 250m aproximadamente.

Describiendo una media esfera de alcance, entre más alto, se reduce el límite de cobertura ya que es proporcional el desplazamiento de la referencia, en este caso la referencia es constante lo que se desplaza es el avión por lo que a mayor altura menor será el área a cubrir, es necesario contar con una altura de seguridad. La distancia de alcance como referencia sería del edificio principal de Ingeniería al edificio de Arquitectura. Ver figura 2.7.1.

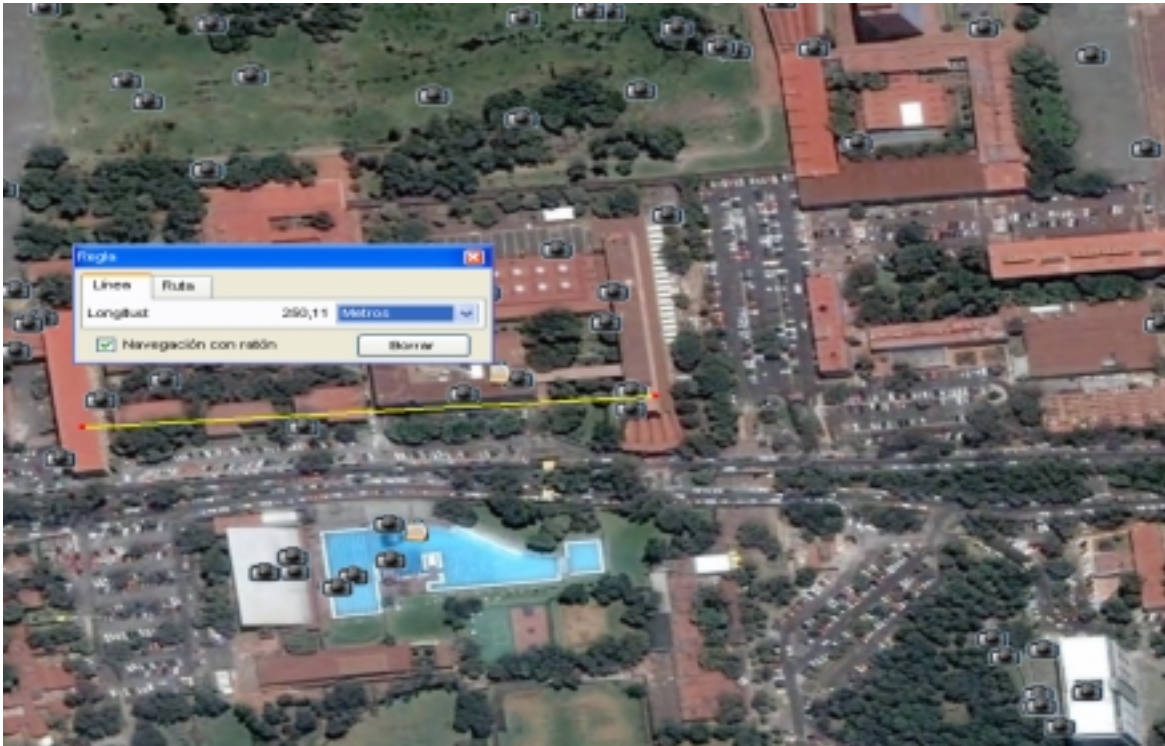


Figura 2.7.1

Para medir la altura a la que subiría, se tomará como referencia algún cuerpo conocido, en este caso el Ángel de la Independencia, cuenta con una altura de 36 metros incluyendo columna y Ángel, aunque nunca volé cerca de este es un buen patrón de referencia, sin embargo en el campo no hay nada para saberlo solo con la experiencia de los demás compañeros de vuelo.

La altura de seguridad es muy importante, debido a que si por alguna razón se perdiera el control de avión es posible recuperarlo, para la prueba se usara una altura entre 40 y 50m, el diagrama que se presenta muestra como se varían las alturas y distancias, todo ello en un terreno plano (sin obstáculos). En la figura 2.7.2. Se muestra la variación de las alturas.

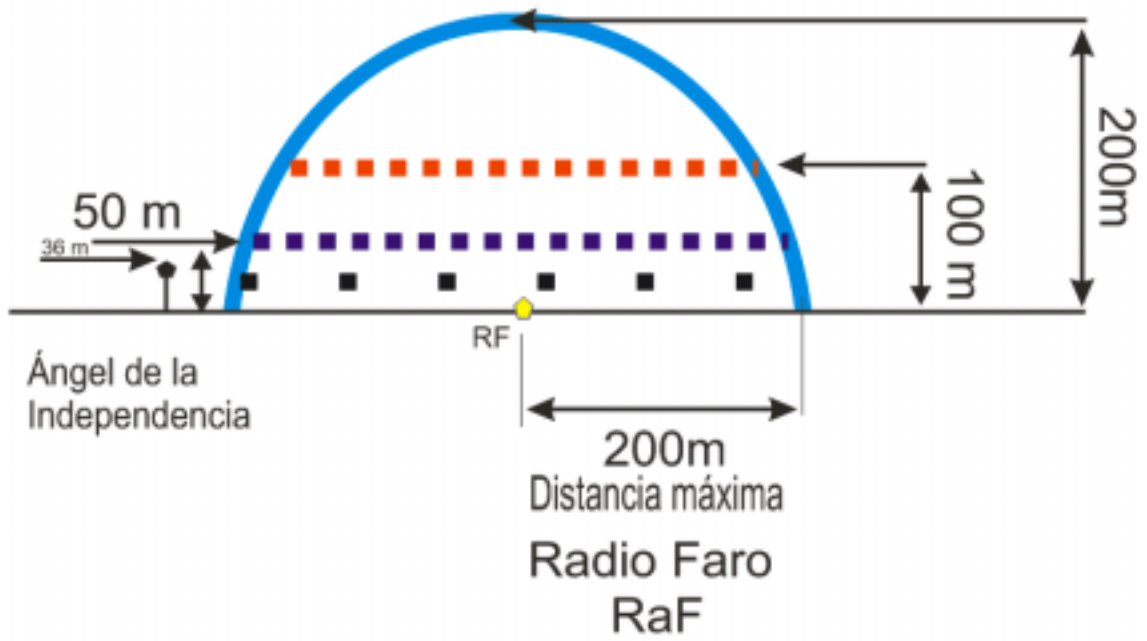


Figura 2.7.2

Fotografía aérea de referencia tomada por el Decathlón.

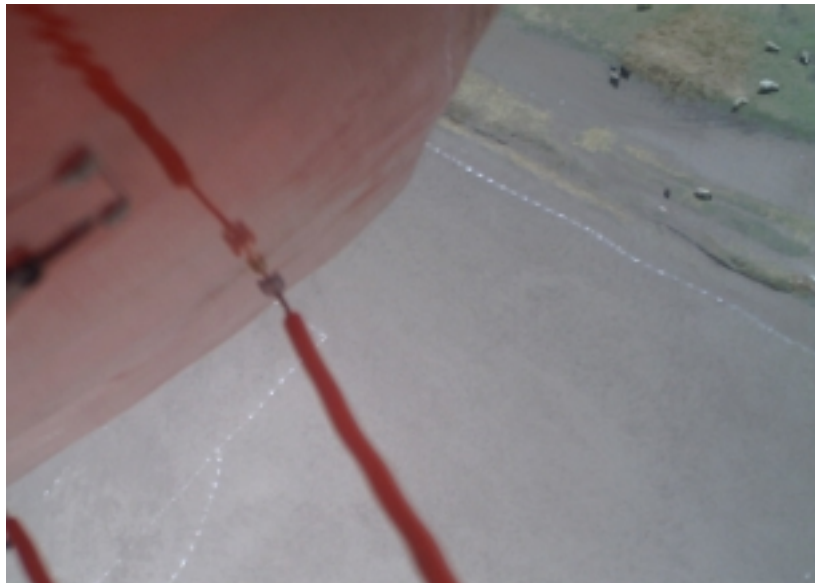
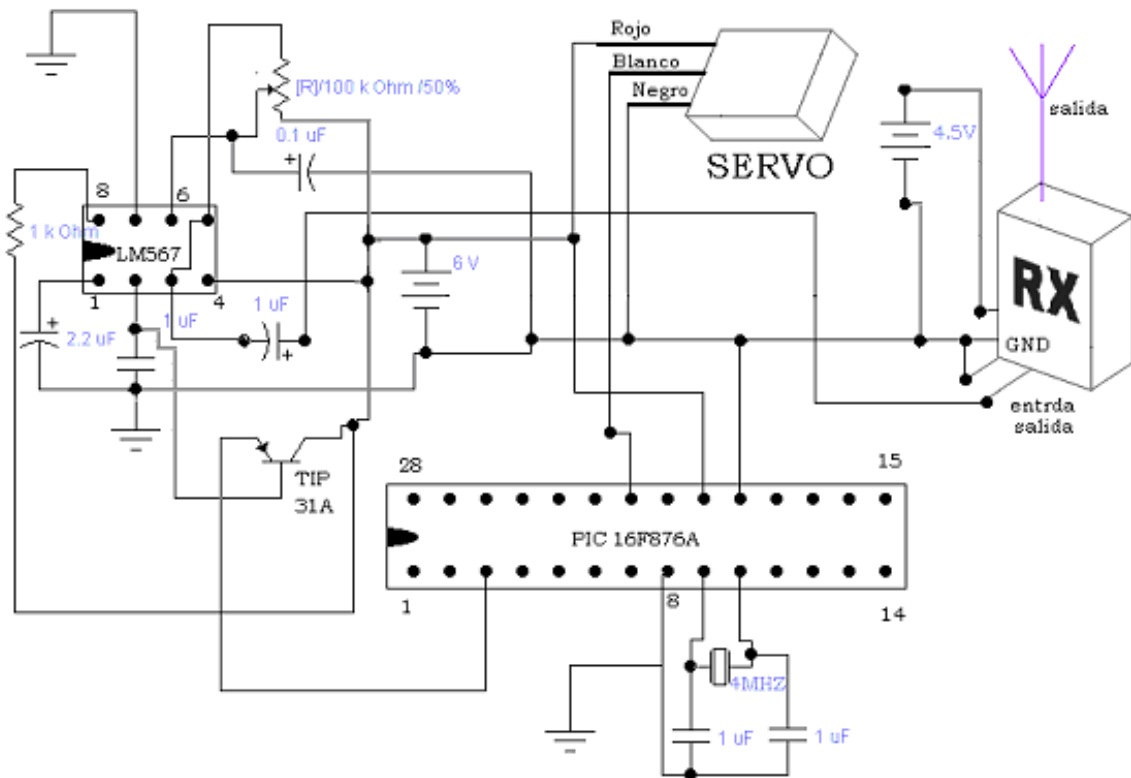


Figura 2.7.3



Circuito del receptor (RaF)

Figura 2.7.6

Para la señal del RaF utilizo un circuito basado en el LM567 un modulador PLL, dependiendo de los valores de R y C, será el tono que debe emitir. Es decir, la frecuencia de salida será proporcional al voltaje aplicado en la patilla 5, las frecuencias se obtienen por las patillas 3 y 4, entregando señales diente de sierra y onda cuadrada por los pines respectivos. La frecuencia central de él decodificador de tono es igual a la frecuencia libre del VCO. Esto viene dado por

$$f_0 \equiv \frac{1}{1.1R_1C_1} \text{ de } 606.06 \text{ a } 909.09\text{hz para un } C = 0.1 \mu\text{f } R_1 = 8 \text{ a } 15\text{k}\Omega$$

Mientras que en ancho de banda. $BW = 1070 \sqrt{\frac{V_i}{f_0 C_2}}$ en % de f_0 donde

$$BW = 0 \text{ a } 14 \%$$

V_i = Voltaje de entrada (voltaje rms) $V_i \leq 200\text{mV}$

C_2 = Capacitancia en el pin 2 (μf)

1. En el pin 3 se introduce una señal con una frecuencia f . El detector de tono compara esta frecuencia con f_0 , que viene determinada por la resistencia y el condensador que van conectados a R_6 . Dicha frecuencia f_0 tiene un margen "de error" que viene determinado por uno de los dos condensadores que quedan conectado al pin 2. Ahora si f está dentro del margen de f_0 , la patilla 8 se pone a un nivel bajo, donde se conectara esta salida a un transistor npn haciendo que este entregue un voltaje 1 mismo que recibe el micro como una señal de que nos encontramos en rango de cobertura.
2. La señal que recibe el pin 3 es entregada por un receptor de radio (un Transreceptor), quien recibe la señal vía RF con un modulador de tonos RaF que esta fijo en tierra mientras el receptor se encuentra en el avión. el transmisor mantiene la misma configuración que el receptor, solo que la resistencia de R_1 es sustituida por un potenciómetro de 10k para sintonizar en tierra con el avión y poder sujetar la frecuencia manteniendo así un control de alcance de radio limitado a la capacidad propia del Transreceptor teniendo ya calculado un BW de 0 a 14% y una frecuencia central ajustable desde 606.06 hasta 909.09hz.

Para controlar la zona de vuelo tenemos que el RaF envía una señal y el receptor a bordo del avión la recibe y la interpreta como un estado alto o bajo, si es alto esta en rango, si esta en bajo esta fuera de rango, cuando esta fuera de rango el microcontrolador da la instrucción de realizar un viraje para buscar nuevamente la señal del RaF, el código necesario para esta parte se muestra a continuación:

```
#include <16f876a>
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,PUT,BROWNOUT
#use delay(clock=4000000)
#use standard_io(b)
//mirar sin usar tris
void main() {
    set_tris_a(011011);    //port a como entrada
    set_tris_b(0x00);
    do{
        output_b(0x00);
        if (input(pin_a0)){
            output_high(pin_b0);
        }
        if (input(pin_a1)){
            output_high(pin_b1);
        }
        if (input(pin_a3)){
            output_high(pin_b3);
        }
        if (input(pin_a4)){
```

```
    output_high(pin_b4);  
  }  
}while(true);//Bucle infinito  
}
```

2.8 ACELERÓMETRO

Un avión tripulado lleva un mecanismo que lo mantiene estabilizado, este mecanismo es un acelerómetro, o también llamado inclinómetro, lo que hace este aparato es mantener nivelada la aeronave, sin embargo un acelerómetro es muy grande y pesado para este proyecto. Freescale Semiconductor ofrece una alternativa electrónica, que de igual manera internamente funciona con elementos mecánicos, que en función de la gravedad emiten una señal eléctrica analógica la cual debe ser interpretada digitalmente y procesada para entenderse como una inclinación en uno de los dos ejes X e Y, esta respuesta que nos indica el grado de inclinación, lo que es útil para mantener nivelado el avión.

Cuando el avión llegue a la altura de seguridad, siendo este recorrido guiado vía MM, el control automático asumirá el control total apagando temporalmente al mando manual, en este paso de conmutación el avión queda muerto por una fracción de segundo, y cuando se termina la conmutación, el avión recibirá nuevas instrucciones. Ahora esta dependiente de lo que sus sensores registren y le hagan saber a su centro de mando.

El acelerómetro se encargara de nivelar a la aeronave en todo instante, a demás de que cuando la aeronave salga de rango el RaF indica que debe regresar, en ese momento el pic16f876a dará una instrucción que recibirán los servos del ala principal controlando a su vez a los alerones, quienes al recibir la orden harán que el avión vire para un lado (izquierda o derecha).

Así conectado al mismo nodo de salida del micro se encuentra la salida del acelerómetro que cuando sienta el viraje, este tratara de compensar el alaveo para evitar que el avión entre en barrena, además en su giro toda aeronave tiende a picar el morro (cuando es operado por alerones), por lo que se necesita que el viraje sea compensado, como el acelerómetro es de dos ejes, entonces los alerones serán controlados por un eje X balance y el cabeceo por el eje Y, así los virajes estarán compensados en todo momento.

La aceleración del encapsulado en el +X y la dirección +Y (el movimiento de placas) de centro en el -X y la dirección -Y causará un aumento del X y salidas Y. Ver figura 2.8.1. Y figura 2.8.3.

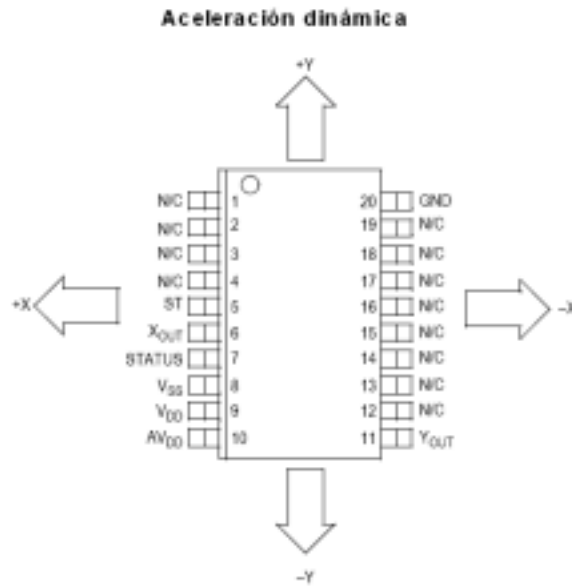


Figura 2.8.1

La activación del Self Test mueve al centro los platos (las placas) de centro en el -X y la dirección -Y, resultando en un incremento en las salidas de X e Y. Figura 2.8.2.

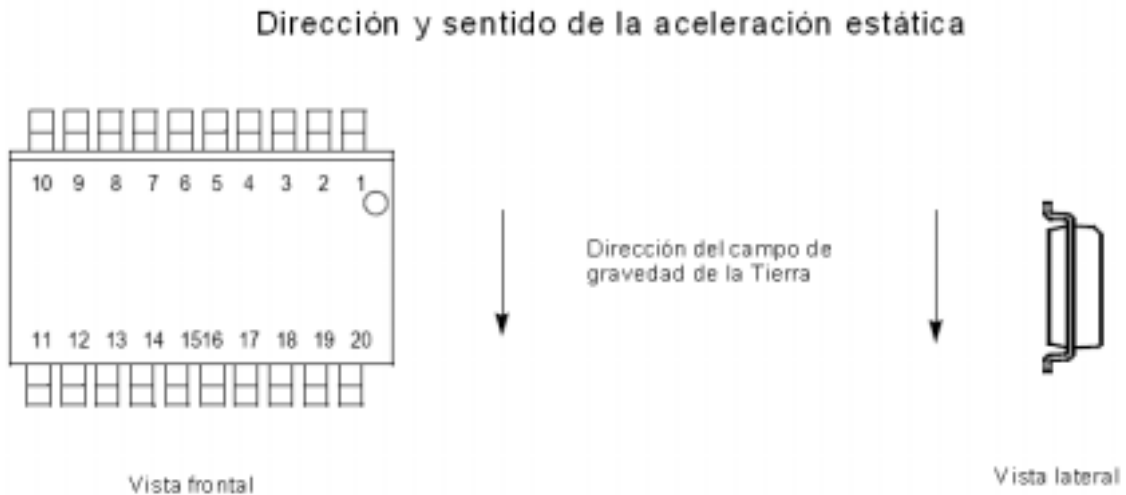


Figura 2.8.2

Cuando el integrado lo colocamos como se muestra en la imagen, la gravedad de la Tierra causará un positivo 1g a la salida en el canal de X.

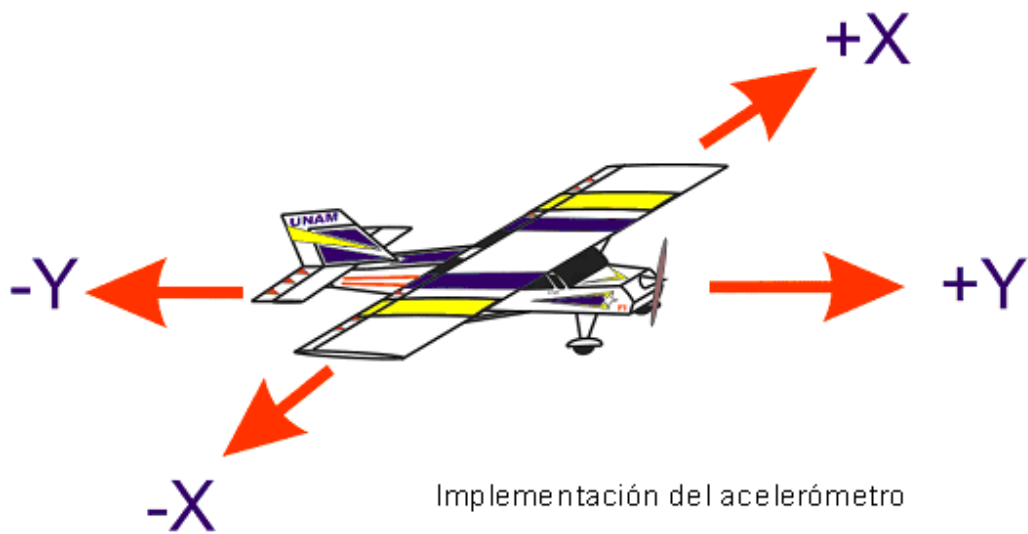


Figura 2.8.3

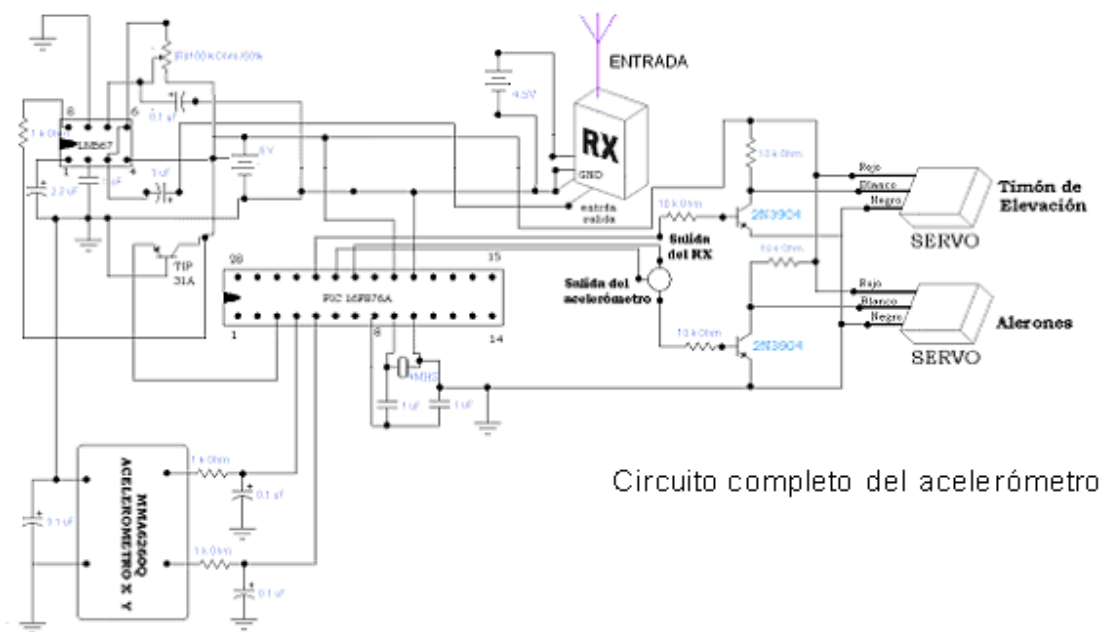


Figura 2.8.4

El acelerómetro es un circuito SOIC que entrega señales analógicas, y el servo entiende señales digitales, necesito un interprete para que el servo entienda las instrucciones del

acelerómetro, esto lo hago con un microcontrolador PIC, para este proyecto utilizó el picf876a.

De las señales recibidas por el micro y por el radio RaF, tengo que para el caso del acelerómetro recibo señales analógicas, tomando el convertidor AD del microcontrolador, tomaré las señales X, y Y, para convertirlas en señales digitales, una vez hecho esto en el micro, las convierto a señales PWM, en la figura 2.8.4 se muestra la conexión de este circuito.

Por otro lado la señal que entrega el RaF por conducto del receptor a bordo, nos entrega una señal digital, con el estado 1 el micro entiende que esta dentro de rango, si la señal es 0, el micro entiende que ha salido de rango y por lo tanto emitirá un PWM al servo encargado de la estabilidad el cual controla los alerones obligando al avión a virar el tiempo suficiente hasta encontrar nuevamente la señal del radio faro, sin embargo al hacer esto el avión entrará en un estado cíclico, por lo cual repetirá dicha acción un par de segundos.

Describiendo así una forma poligonal en el sentido de giro que elija, esta acción solo estará limitada a tres intentos, si no encontrase señal, el avión entrará entonces en el estado cíclico estacionario, hasta que reciba otra instrucción desde tierra o la cancelación del automático.

El acelerómetro entrega dos señales analógicas x e y, las cuales deben convertirse a digital y ser procesadas para enviarlas a los

servos como PWM respectivamente (aleros y timón de elevación). El pic16f876a cuenta con un conversor AD con 10 bits de resolución, esta resolución es adecuada para gobernar la estabilidad del avión, ya que si fuera mayor tardaría demasiado en estabilizarse. Con la resolución de 8 bits $\left(\frac{5}{256} = 19.3mV\right)$, además se mejora la respuesta ante el ruido, y como 8 bits es un dato propio del pic las rutinas para el procesamiento serán más simples y rápidas de ejecutar, (ADC = 8). El código empleado se muestra a continuación:

```
#include <16f876a>
#device ADC=8
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,PUT,BROWNOUT
#use delay(clock=4000000)
#use standard_io(b)
#use standard_io(c)
int duty;
int tempo;

void toma_adc_y_transmite(void)
{
    // Lectura del canal 0
    set_adc_channel(0);
    delay_ms(1);
    duty=read_adc();
    delay_ms(1);
}
```

```

void main() {
    tempo=0xFF;
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_adc_ports(RA0_analog);
    setup_ccp1(CCP_PWM);          // Configura CCP1 Como PWM
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,tempo,1);
    do
    {
        toma_adc_y_transmite();
        set_pwm1_duty(duty);      // Determina tiempo en alto
    }while(true);
}

```

CAPITULO 3

CAPITULO 3

VUELO AUTOMÁTICO

VUELO AUTOMÁTICO

CAPITULO 3

3.1 IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO

El Falcón fue el primer avión que acompañó a todo el proyecto hasta su destrucción en el accidente que comente en el capítulo 1, pero sus características electrónicas son las mismas a los aviones comentados, sin embargo las propiedades aerodinámicas de cada uno son diferentes, lo que los hace estar clasificados en aviones de tipo entrenador o primer avión, segundo, tercer avión, 3D acrobáticos y replicas, en este trabajo a pesar que el avión At-6 es replica y el Decatlón es acrobático, no estoy utilizando esas capacidades de vuelo simplemente me concrete a vuelos convencionales. Para implementar el control en el avión cualquiera que este sea se debe tener cuidado en la ubicación de los sensores para que estos trabajen de manera optima, entregando la información necesaria para que el control opere de manera correcta, además de que el peso adicional no debe estar desbalanceado, de lo contrario produce que el avión sea inestable y que en el despegue se accidente, peor aun cuando este en vuelo.

INSTALACIÓN DE LA TURBINA

La turbina es un elemento mecánico con el que de manera indirecta mediremos que tanto flujo de aire es desplazado por la hélice hacia la parte posterior de avión, situada debajo de la ala la turbina cuenta con una toma de aire que capta una parte del aire desplazado hacia

atrás, la toma de aire dirige el aire al mecanismo de la turbina que este a su vez está contando las vueltas por minuto mediante un contador de herradura, este pulso que está en función del flujo de aire es un control de realimentación acoplado a un control que genera una señal periódica con ciclo de trabajo controlado el cual controla la aceleración del motor de combustión a través de un servo, este control previo al vuelo es calibrado para mantener el motor en funcionamiento, cuando el mando manual es anulado este control previamente ajustado calibra la velocidad del motor manteniendo al avión en vuelo, y la turbina provee de información que toma del motor, en caso de que este tendiera a detenerse por algún imprevisto, la turbina avisa al control principal y este en función de la frecuencia de la turbina acelerará más o menos dependiendo de lo que necesite, así mismo, si el avión en alguna maniobra requiere de aumentar su velocidad, el control proveerá esta aceleración. El primer diseño contempla la toma de aire en la cola del Falcón sin embargo al implementarla en otros aviones es necesario ajustar la toma de aire para que esta sea funcional. En la figura 3.1.1 se muestra el detalle de la turbina en la cola.



Figura 3.1.1

EL RaF Y EL REPECTOR DEL RaF

Los circuitos mostrados en la figura 3.1.2. Muestran el tamaño en el avión lo que no es fácil de acomodar, el que se encuentra fuera del avión esta diseñado para ser el RaF a partir de un radio comercial de comunicación, lo que hice fue transmitir mi mensaje a través de su sistema propio como si fuera la voz. El circuito dentro recibe la señal y la envía al pic para informar si esta aún en rango de operación, el paquete de pilas debe estar balanceado para evitar que el avión pierda balance en el aire, por otro lado no debe interferir con el varillaje mecánico que comanda internamente a la aeronave, esta parte también es difícil de lograr además una vez instaladas las alas principales no se tiene acceso al compartimiento de control, claro que muchos de los circuitos son adheridos al cuerpo del avión por falta de espacio.

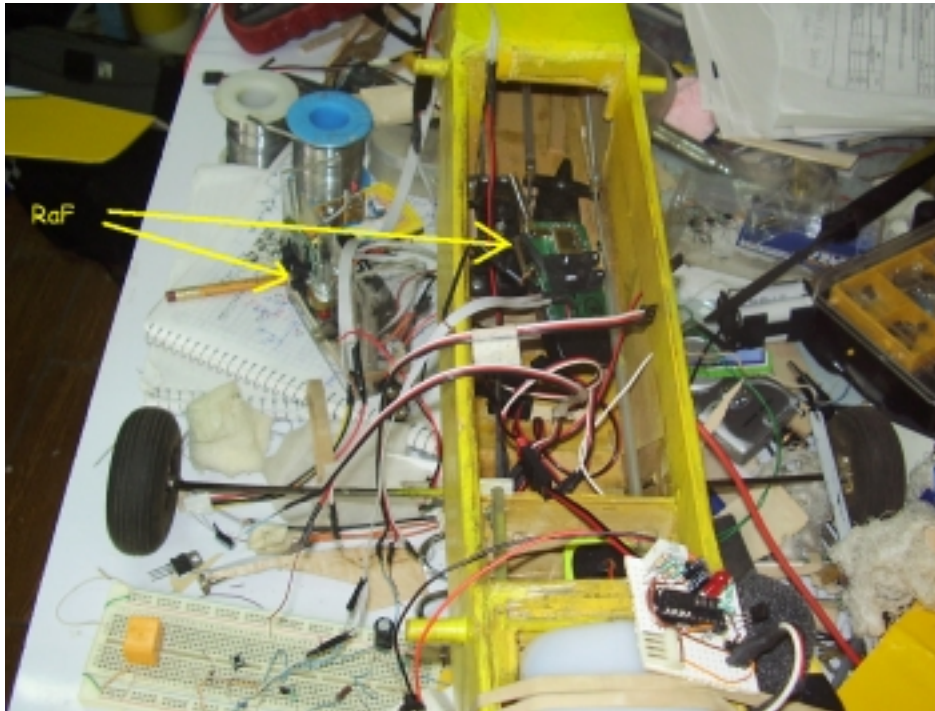


Figura 3.1.2

DISPARADOR DE FOTOGRAFÍAS

El disparador no debe estar confinado, por que se debe calibrar antes del despegue por lo que es conveniente que este situado a la vista y con fácil acceso lo mismo que la cámara para poder ser manipulados (como se muestra en la figura 3.1.2), el sujetarlos con ligas les proporciona un cierto grado de libertad sin dejarlos caer, en este tipo de avión las alas principales están sujetas con ligas, lo que demuestra la seguridad de la implementación.



Figura 3.1.3

EL CONMUTADOR

El conmutador es un circuito muy pequeño que no requiere mayor espacio para su colocación, lo que si es que debe ser muy cerca de los receptores para poder conectar todos los circuitos a el como se muestra en la figura 3.1.4. Este circuito no se interfiere por la cercanía con los demás circuitos.

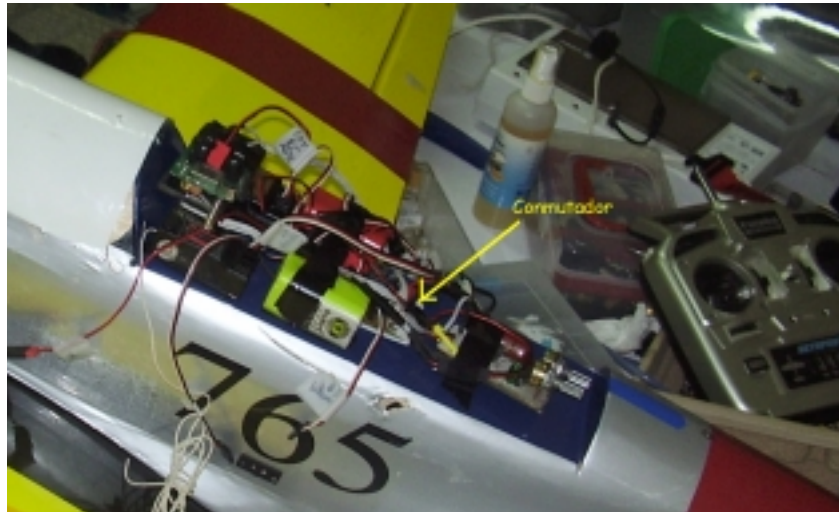


Figura 3.1.4

EL ACELERÓMETRO

El acelerómetro debe permanecer lo mas cerca del pic y este en consecuencia de los radios para evitar interferencia además de tener una posición nivelada para su operación correcta, siendo calibrado desde tierra guardando la línea del avión para cuando este en vuelo de lo contero siempre volara inclinado y al estar compensando todo el tiempo la batería se agota más rápidamente, y puede perderse el control. La figura 3.1.5 muestra el detalle del circuito instalado en una tarjeta entrenadora, dado que en el accidente el primer avión quedo destruido.

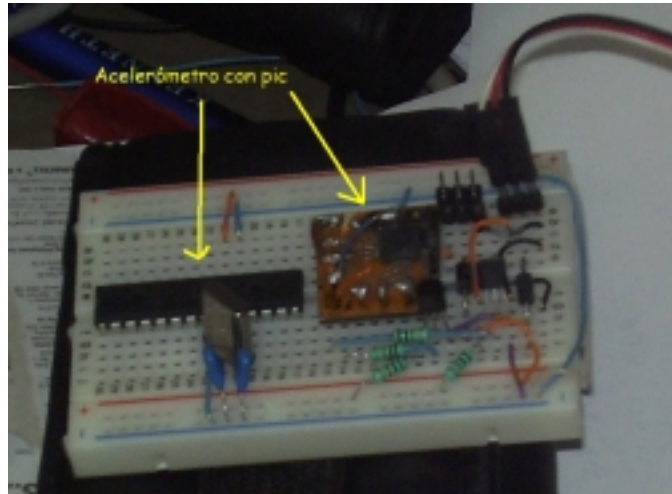


Figura 3.1.5

EL MANDO MANUAL

El mando manual no es más que un radio control convencional mismo que cualquier piloto de aviones de R/C tiene, el Falcón en sus inicios contaba con un acelerómetro de 3 ejes capaz de realizar despegues, pero no aterrizajes, el accidente no fue producto del acelerómetro, el accidente fue por que el motor se paro, de ahí que el circuito con la turbina lo diseñe para evitar en medida de lo posible que el motor siempre este trabajando como lo comenté, el modelo no cuenta con marcha para realizar un arranque en el aire, aquí la desventaja contra un modelo eléctrico, el modelo eléctrico no se apaga, se queda sin energía y aun así puede planear, pero no tiene la potencia que tiene el de gasolina, así como autonomía, controlando un avión a gasolina, la implementación para uno eléctrico es mas fácil.

FOTOS DE RECONOCIMIENTO

Las siguientes fotos fueron tomadas por dos de los aviones, el Flacón y el Decathlón, los otros aviones por sus características solo los ocupe para probar los circuitos para saber si estaban bien calibrados y listos para volar, los circuitos llevan un pequeña capa de barniz, por que en el ambiente hay humedad, por la altura y la velocidad a la que vuelan es necesario proteger todo el circuito.



Figura 3.1.6

En la figura 3.1.6. La imagen se ve borrosa, debido a que la cámara no contaba con amortiguamiento y el problema es que el Falcón no cuenta con suficiente espacio para instalarla dentro por lo que la instale por un costado del motor a diferencia del Decathlón que toma fotos más claras debido al enorme espacio en cabina.

El poder tener a la vista las magnitudes de un terreno proporcionan una ayuda enorme en la construcción, búsqueda, reconocimiento, etc. Mismo que se puede utilizar de manera inmediata, para su interpretación, la tecnología de vuelos no tripulados abre una ventana para el desarrollo inmobiliario, carretero, de rescate, etc., sin el riesgo de la tripulación o en el caso de vigilancia es más fácil volver a equipar otro avión que reemplazar a la tripulación. En la figura 3.1.7. Se muestra aunque no con mucha claridad los detalles de los árboles, en este vuelo la cámara presentaban vibración por lo que las fotos se ven movidas.



Figura 3.1.7

La figura 3.1.8. Muestra el tamaño del Decathlón el cual es un avión bastante grande, por lo que puede albergar dentro de su cabina toda la circuitería necesaria para el vuelo.



Figura 3.1.8



Figura 3.1.9

Para la presentación final me he quedado sin equipo para mostrar como puede verse a diferencia de un seguidor de líneas aquí un error es fatal y con consecuencias negativas, aunque aparatoso la circuiteria no se daño de gravedad el acelerómetro quedo un poco tocado así como el control de la cámara pero a pesar de todo el objetivo propuesto se cumplió, las fotos muestran el trabajo que realizaron los diferentes aviones utilizados en el proyecto, la figura 3.1.9., muestra el daño sufrido en el aterrizaje, la pista no estaba en buenas condiciones y un pequeño desnivel ocasionó el accidente debido al peso extra en el avión.

Finalmente el la figura 3.1.10., se muestra la evidencia de una cancha de fútbol, donde puede apreciarse que los trazos de la cancha no corresponden a lo que se supone deben ser, desde tierra los jugadores asumen que el trazo es correcto, sin embargo desde

el aire es evidente que no esta correctamente trazado. La fotografía es una herramienta útil e indispensable para la ingeniería, para el caso de aviones R/C un costo menos que el que implica el rentar una aeronave tripulada.

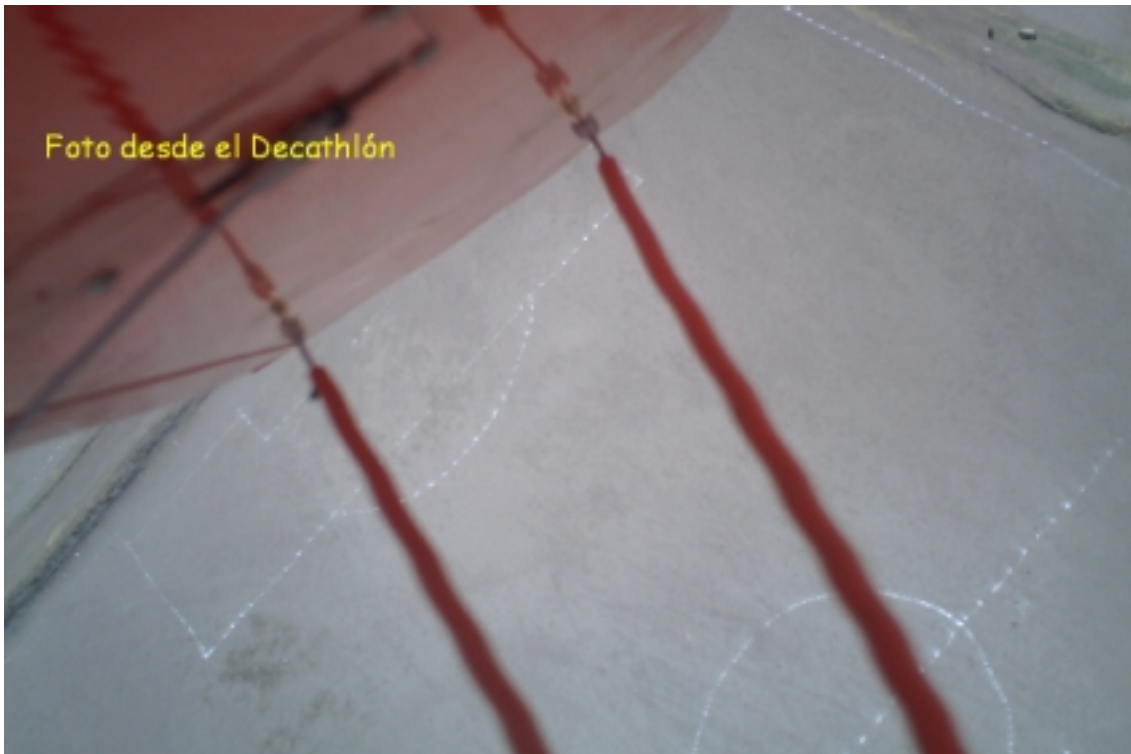


Figura 3.1.10

CIRCUITO DE ACOPLAMIENTO DE CONTROLES

Finalmente todos los circuitos deben estar conectados entre si, debido a que no funcionan separados, la figura 3.1.11., muestra la unión de todos ellos en un diagrama completo, todos los circuitos mostrados aquí los conecté de manera física y están puestos en el avión.

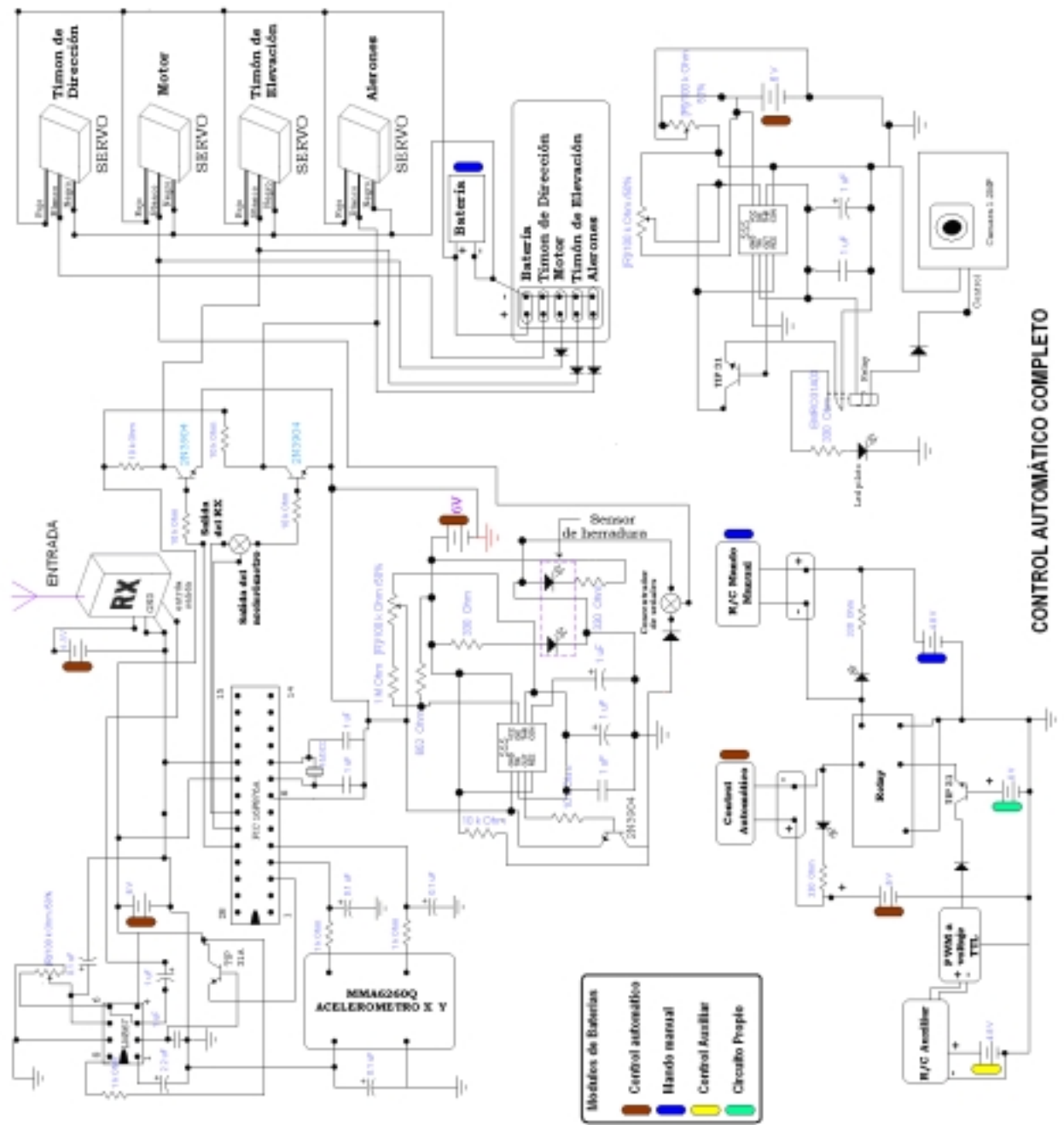


Figura 3.1.11

CAPITULO 4

CAPITULO 4

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En México la empresa Hydra Technologies de México, desarrolló un avión no tripulado que en comparación con mi proyecto de tesis, esté avión en todo momento es controlado vía R/C. por tres operarios.

La función del Ehécatl, tiene como principal función la seguridad nacional en apoyo a las fuerzas armadas así como protección civil y apoyo en materia en ayuda en situaciones de desastres. Empleados de la empresa explicaron que el Ehécatl cuenta con un diseño electrónico muy complejo, tiene una autonomía de vuelo de 8 horas, puede volar de día o de noche y es controlado desde una central móvil instalada en un vehículo especialmente equipado que es operado por tres personas, su vuelo es controlado por R/C vía cámaras de video, aun que no es tripulado tampoco es autónomo y depende de sus operadores.

Mi proyecto de tesis comparado con otras aeronaves no tripuladas, presenta la ventaja de ser más robusta, la fuerza de empuje es basada en un motor de combustión, no tendré la autonomía de vuelo de 18 horas sin embargo mi avión no es tan grande y mi motor no se apaga, además la electrónica no se ve afectada por las vibraciones producidas por la velocidad del aire o debidas al motor, mi avión solamente necesita ser manejado en la maniobra de despegue hasta una altura segura, a partir de ahí se activa el

control automático, el modo de video es solamente para saber en donde se encuentra o que se necesita sobrevolar, mientras que la mayoría de los aviones no tripulados requieren la intervención de dos operadores remotos vía video. Dadas las características electrónicas limitadas, los sensores no distinguen entre día o noche, o con variaciones de clima por lo que al igual que los otros aviones no tripulados puede realizar vuelos en todo momento

La capacidad de posicionamiento global permite a los aviones no tripulados realizar vigilancia de perímetros muy grandes, incluso vuelos intercontinentales, mi proyecto carece de esta tecnología, dado que es una inversión grande que por el momento esta fuera de mi alcance. El proyecto lo diseñe de manera modular que me permitirá en un futuro agregar más prestaciones para cubrir con las diferentes misiones que se requieran.

El UAV de la serie SIVA de origen Español con un enfoque bélico, este avión no tripulado es guiado por un sistema de R/C en tierra, su despegue se hace desde una lanzadera, y su aterrizaje mediante paracaídas, un sistema de bolsas de aire protege la integridad de los circuitos, con un peso de 300kg y que es capaz de volar a 4000m de altura, con una autonomía de vuelo de 6 horas y un alcance de 150km. En realidad este avión es muy diferente a uno tripulado solo su tamaño lo puede diferenciar, en términos generales es un avión no tripulado muy similar al Ehécatl. El circuito que propongo se adapta a modelos de R/C no en si es un avión. Es un circuito electrónico para volar de manera automática, la aplicación es muy amplia, tiene la capacidad de adaptación por que

todos los aviones de R/C vuelan con el mismo principio además de compartir las mismas características electrónicas.

CONCLUSIONES

El circuito funciona, al implementar un circuito conmutador esto da la garantía de mantener el control total en todo momento, aun cuando esté se encuentre volando bajo el mando del circuito automático, el conmutador puede activarse en cualquier momento y regresar el control sobre la aeronave al mando manual, el conmutador es activado por el auxiliar que no depende de ningún circuito.

Un problema que se había presentado y que ocasiono que el avión Falcón se destruyera fue que se apago el motor, el control del motor demostró su capacidad para mantener en funcionamiento continuo al motor de combustión además de mantener la aceleración necesaria y suficiente para mantener el vuelo y compensar el peso adicional, este control es similar al que emplean las turbinas de aeronaves tripuladas llamado FADEC, que hace las mismas compensaciones, con la diferencia que el puede indicar que hay flujo de aire aun cuando este no exista ya que los sensores están dispuestos dentro de la turbina, el mío no los toma del motor, si no de lo que entrega el motor ya que si fuera como el FADEC y mi motor perdiera la hélice, el FADEC diría que todo esta bien. Mí control solo ve resultados en este caso hay flujo de aire si o no, y a partir de ahí demostró su eficiencia satisfactoriamente.

Varios vuelos realizados con distintos aviones, lograron obtener una serie de fotografías aéreas tomas de manera automática,

demostrando así la operabilidad del circuito controlador de la cámara.

El vuelo cautivo por el RaF encontró alguna alguna interferencia lo que hacia que se perdiera la señal del RaF, siendo ésta más corta en ocasiones, sin embargo, se logro el tener 250m aproximadamente, por razones de seguridad no se le permite alejarse más, la capacidad de regresar y buscar la señal del RaF fue la correcta y esperada.

La recuperación ante una maniobra se dio de manera suave, la compensación ante los virajes fue correcta, el circuito del acelerómetro demostró su capacidad de estabilizar la aeronave en vuelo, aún ante las perturbaciones constantes que representa el viento, la aerodinámica de la nave, o cualquier otro factor involucrado.

La capacidad conjunta de los circuitos demostró una autonomía total ante un vuelo, es muy diferente realizar pruebas en laboratorio, donde la temperatura, la velocidad del aire, la presión, etc. son de alguna manera controladas, digamos amigables, en cambio cuando se hacer al aire libre, particularmente volar ya sea en el Ajusco, Tlahuac o Toluca representa un cambio de presión por la altura, a lo que el controlador del motor se adapto de manera correcta, las perturbaciones de frecuencias locales. Puedo concluir que el objetivo de la tesis fue alcanzado de manera satisfactoria.

GLOSARIO

GLOSARIO

Aeronáutica: Es la ciencia o disciplina relacionada con el estudio, diseño y manufactura de los aparatos mecánicos capaces de elevarse en vuelo, y el conjunto de las técnicas de control de aeronaves. La aeronáutica también engloba la aerodinámica, que estudia el movimiento y el comportamiento del aire cuando un objeto se desplaza en su interior, como sucede con los aviones. Estas dos ramas son parte de la ciencia física.

Alas: permiten que el avión vuele al producir la fuerza de sustentación.

Alerones: superficie de control en ambas alas que permite al avión que gire las alas y produzca el “roll ó rollo”.

Convertor analógico/digital: es un dispositivo que convierte una señal analógica en una señal digital (1 y 0).

Convertor digital/analógico: es un dispositivo que convierte una señal digital en una señal analógica (corriente o voltaje).

Elevadores: superficie de control que van en ambas colas horizontales del avión y que permite que el avión suba o baje.

Error: es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real.

Fuselaje: cuerpo principal del avión.

Flaps: Superficies que van en el ala que al moverse aumentan la sustentación.

Morro: La parte del fuselaje que cubre el motor.

Motor: Elemento mecánico que junto con la hélice proporciona al avión el avance.

Perturbación: es una señal que tiende a afectar la salida del sistema, desviándola del valor deseado.

Planta: es el elemento físico que se desea controlar. Planta puede ser: un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de combustible, etc.

Proceso: operación que conduce a un resultado determinado.

Sensor: es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) en una magnitud eléctrica, codificada ya sea de manera analógica o digital.

Transductor. Un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente de salida.

Radio faro (RaF): Es una señal de referencia
RF; Radio frecuencia

Señal de salida: es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se denomina variable controlada.

Señal de referencia: es el valor que se desea que alcance la señal de salida.

Señal de control: es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya, o elimine, el error.

Señal analógica: es una señal continua en el tiempo.

Señal digital: es una señal que solo toma valores de 1 y 0.

Sistema: consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.

Sistema de control en lazo cerrado: es aquel en el cual continuamente se está monitoreando la señal de salida para compararla con la señal de referencia y calcular la señal de error, la cual a su vez es aplicada al controlador para generar la señal de control y tratar de llevar la señal de salida al valor deseado. También es llamado control realimentado.

Sistema de control en lazo abierto: en estos sistemas de control la señal de salida no es monitoreada para generar una señal de control.

Timón de dirección: superficie de control que va en la cola vertical del avión y que permite que gire en la dirección de vuelo.

VCO: Oscilador controlado por tensión.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS

- [ServoM] “El Servo Motor”, www.todorobot.com.ar, 2000.
Visitado: 20/04/2003
- [MotorDC] “Motores de corriente continua (DC)”,
www.todorobot.com.ar, 2000. Visitado:
20/04/2003
- [SensorAD] “Sensores en Robótica”, www.todorobot.com.ar,
2000. Visitado: 20/04/2003
- UAVS “Descripción de UAVS.”
[http://www.militar.org.ua/foro/uavs-
latinoamericanos-t14870-150.html](http://www.militar.org.ua/foro/uavs-latinoamericanos-t14870-150.html)
- Pics “Programación Pics “[http://picmania.garcia-
cuervo.com/Electronica_Basica.php](http://picmania.garcia-cuervo.com/Electronica_Basica.php)
- Programación “Programación.”
<http://www.piclist.com/techref/ios.htm>
- Transceptores “Radios.” <http://www.laipac.com/>
- Componentes “Elementos y aplicaciones”.

<http://mexico.newark.com/>

Microcontroladores “Pics.” <http://www.microchip.com>

Acelerómetros www.freescale.com

Sensores “Sensores.” <http://www.x-robotics.com/>

Accesorias “San Ángel”. www.hobbycentro.com.mx

Futaba “Servos.” www.futaba-rc.com/servos

AERO MODEL Revista argentina de aeromodelismo del año
1980

Newark Electro mecánica. Relevadores, interruptores
sensores y más. Newark México 2007. PP 3-5

Videos youtube [http://es.youtube.com/watch?
v=ITwm9po1wXI&feature=related](http://es.youtube.com/watch?v=ITwm9po1wXI&feature=related)
Armas raras de la II guerra mundial parte 3/10

BIBLIOGRAFÍA

J. Toledo del valle. Iniciación al aeromodelismo, Enciclopedia de las aficiones. Ediciones Altea. España 1973 P 5-110, Pp 5-110.

A. Zamora. Construcción fácil de objetos teledirigidos contransistores. Ediciones CEDEL. México 1984. P 141. pp 20-40, 43-53, 105-123.

Hermann Schreiber. 350 Esquemas de AF de 10KHz a 1GHz. Thomson editores. Madrid 1995. P 327. PP 18-25, 57-64, 209-217.

Spartacus Gomáriz Castro. Et al. Teoría de control. Diseño electrónico. Alfa omega ediciones UPC. 1999, México DF. P 392, Pp 15-35.

Constantine H Houpis, Jerzy Lubelfeeld. Circuitos de pulsos. Fondo educativo interamericano, S. A. 1974 E. U. A. P 288.

Sydney A. Davis. Retroalimentación y sistemas de control. Fondo educativo interamericano, S. A. 1977 México. P 291.

Ferrel G. Stremmer. Sistemas de comunicación Alfaomega. Fondo educativo interamericano. EU. 1982. P691.

R. E. Ziemer. Et al. Principios de comunicaciones sistemas modulación y ruido Ed. Trillas. México 1981. P636.

R. E. Ziemer. Et al. Principios de comunicaciones sistemas modulación y ruido Ed. Trillas. México 1981. P80, pp636.

Robert F Coughlin, Frederick F Driscoll. Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales. Publicado por Pearson Educación, 2000, México. P360, pp 360-380.