

DISEÑO DE UN PROTOTIPO SIMULADOR DE VUELO T-41D

SUGEY PATRICIA ISAJAR DIAZ

JHON JAIRO HURTADO RIVAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA

PROGRAMA INGENIERIA MECATRÓNICA

SANTIAGO DE CALI

2007

DISEÑO DE UN PROTOTIPO SIMULADOR DE VUELO T-41D

**SUGEY PATRICIA ISAJAR DIAZ
JHON JAIRO HURTADO RIVAS**

**Pasantía para optar el título de
Ingeniero Mecatrónico**

Director

JOSE FERNANDO PEREZ

Ingeniero Electrónico

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI**

2007

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. JIMMY TOMBÉ ANDRADE

Jurado

Ing. JUAN CARLOS MENA

Jurado

Santiago de Cali, 20 de junio de 2007

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haber permitido realizar nuestros sueños

A nuestros familiares por la paciencia y colaboración que nos brindaron durante el transcurso de nuestra carrera y que siempre nos alentaron para seguir adelante.

A nuestros tutores que nos brindaron su sabiduría guiándonos por la senda de la verdad y la experiencia.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. SIMULADOR DE VUELO	20
2.2. PARTES DE LA CABINA	21
2.2.1. Mandos de Vuelo	21
2.2.2. Indicadores	27
2.3. AVION T – 41D	30
3. ANTECEDENTES	33
4. OBJETIVOS	34
4.1. OBJETIVO GENERAL	34
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	34

	Pág.
5. JUSTIFICACIÓN	35
6. METODOLOGÍA	36
7. CRONOGRAMA	37
8. PRESUPUESTO	38
9. FINANCIACION	39
10. DESARROLLO CONCEPTUAL	40
10.1. PLANTEAMIENTO DE LA MISION	40
10.2. IDENTIFICACION DE NECESIDADES	41
10.2.1. Obtención datos primarios e interpretación de estos	41
10.2.2. Importancia relativa de las necesidades identificadas	42
10.3. ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DEL DISPOSITIVO	43
10.3.1. Lista de medidas	43
10.3.2. Ponderación de parámetros técnicos	44
10.3.3. Valores ideales y marginales	46

	Pág.
11. GENERACIÓN DE CONCEPTOS	47
11.1. CLARIFICAR EL PROBLEMA	47
11.1.1. Descomposición funcional	47
11.2. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	48
11.2.1. Búsqueda en Internet	48
11.2.2. Consulta a expertos	48
11.3. BÚSQUEDA INTERNA	49
11.3.1. Generación de ideas	49
11.3.2. Diagramas de los elementos concebidos en las búsquedas	50
11.4. EXPLORACIÓN SISTEMATIZADA	54
11.4.1. Árbol de clasificación de conceptos	54
11.4.2. Combinación de conceptos	54
11.4.3. Conceptos generados	55

	Pág.
11.5. SELECCIÓN DE CONCEPTOS	58
11.5.1. Matriz de tamizaje de conceptos	58
12. DISEÑO PARA MANUFACTURA	61
12.1. ANÁLISIS GRÁFICO DE LOS COSTOS DE MANUFACTURA	61
12.1.1. Estimación de costos de manufactura	62
12.2. DISEÑO PARA ENSAMBLE	64
12.2.1. Herramientas para realizar el ensamble	64
12.3. ANÁLISIS DE COSTOS	65
13. DISEÑO DETALLADO	67
13.1. ANÁLISIS MECÁNICO	67
13.2. DISEÑO ELECTRONICO	81
13.2.1. Características pic18f4550	81
13.2.2. Puerto USB, especificaciones	83
13.2.3. Etapas electrónicas del proyecto	86

	Pág.
13.2.4. Programa del Microcontrolador	87
13.2.5. Circuito electrónico	88
14. MANUAL DE USUARIO	90
15. CONCLUSIONES	93
16. RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFIA	97
ANEXOS	98

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cronograma de actividades	37
Tabla 2. Gastos	38
Tabla 3. Financiación	39
Tabla 4. Planteamiento de la misión	40
Tabla 5. Datos primarios	41
Tabla 6. Importancia relativa de las necesidades	42
Tabla 7. Establecimiento de métricas	43
Tabla 8. Tabla de ponderaciones de parámetros técnicos	45
Tabla 9. Valores ideales y marginales	46
Tabla 10. Matriz de tamizaje	59
Tabla 11. Componentes propios	62
Tabla 12. Análisis de costos por componentes	65
Tabla 13. Determinación de las RPM	68
Tabla 14. Componentes circuito	88
Tabla 15. Aceites y grasas para aviación	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mandos de vuelo y ejes de movimiento del avión	21
Figura 2. Timón de profundidad (movimiento de cabeceo)	22
Figura 3. Funcionamiento de los Alerones	23
Figura 4. Alerones (movimiento de alabeo)	23
Figura 5. Timón de dirección (movimiento Guiñada)	24
Figura 6. Funcionamiento del Timón de dirección	24
Figura 7. Ubicación y condición de Flap arriba, extendido y completamente extendido	25
Figura 8. Controles de vuelo	27
Figura 9. Indicador de actitud	28
Figura 10. Indicador de velocidad aerodinámica	29
Figura 11. Estado actual cabina T - 41D para el simulador	31
Figura 12. Estado actual cabina T - 41D para el simulador (parte trasera)	32
Figura 13. Estado actual cabina T - 41D para el simulador (parte delantera)	32
Figura 14. Caja negra	47
Figura 15. Descomposición por sub_funciones.	48
Figura 16. Generación de conceptos (Timón de piso)	51
Figura 17. Generación de conceptos (Timón original con transmisión de movimiento)	51
Figura 18. Generación de conceptos (Timón original alargando mangos de sujeción)	51
Figura 19. Generación de conceptos (Potencias en una base con Potenciómetros)	52
Figura 20. Generación de conceptos (Potencias en una base con Potenciómetros lineales)	52

	Pág.
Figura 21. Generación de conceptos (Pedales: 1 potenciómetro y 2 Pulsadores)	53
Figura 22. Generación de conceptos (Pedales: 2 potenciómetros)	53
Figura 23. Generación de conceptos (Sistema de transmisión con Potenciómetro)	53
Figura 24. Árbol de clasificación de conceptos	54
Figura 25. Combinación de conceptos	55
Figura 26. Concepto A	55
Figura 27. Concepto B	56
Figura 28. Concepto C	56
Figura 29. Concepto D	57
Figura 30. Concepto E	57
Figura 31. Concepto F	58
Figura 32. Diagrama de conjunto del concepto escogido (Concepto F)	60
Figura 33. Costos de manufactura	61
Figura 34. Diagrama mecánico eje del compensador	67
Figura 35. Diagrama de cuerpo libre, eje del compensador	67
Figura 36. Engranajes en A	69
Figura 37. Determinación del torque (1).	69
Figura 38. Determinación del torque (2).	70
Figura 39. Diagrama de cuerpo libre en los planos yz y xz	72
Figura 40. Grafica de los esfuerzos cortantes	74
Figura 41. Grafica del momento flector	76
Figura 42. Estructura interna del controlador de periféricos USB	84
Figura 43. Cable USB	85
Figura 44. Diagrama de bloques de las etapas electrónicas	86
Figura 45. Diagrama de flujo del programa central del Microcontrolador	87

	Pág.
Figura 46. Fotografía del circuito	88
Figura 47. Partes de la cabina recomendable aceitar cada 30 días	95

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Esquemático Pic18f4550	98
Anexo B. Planos mecánicos	99
Anexo C. Esquemático Circuito	111

RESUMEN

Se pretende diseñar un prototipo Mecatronico para el acondicionamiento de los controles de la cabina T - 41D (cabina de avión), que se usara como simulador de vuelo y servirá a los cadetes de la Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suárez (EMAVI) al momento de realizar las prácticas correspondientes en su formación, antes de manejar un modelo real.

El presente informe describe las pautas y procedimientos utilizados en el prototipo, consta de diferentes diagramas, esquemas y tablas que hacen más fácil el entendimiento del mismo.

El informe se divide en tres etapas; estas son: Modificaciones y diseño mecánico, diseño de hardware electrónico y diseño de software.

En primer lugar se hace un análisis detallado de las necesidades que debe satisfacer el dispositivo y se establecen las especificaciones preliminares, todo esto con la ayuda del cliente en nuestro caso la EMAVI, artículos relacionados y gente especializada en el tema.

En las tres etapas del proyecto se selecciono la idea mas adecuada de acuerdo a las especificaciones seleccionadas del mismo. Esto gracias a la información y conocimiento tanto externo como interno que se obtuvieron con diferentes medios, entre ellos Internet.

También se podrá encontrar la documentación respectiva de lo que se ha hecho (Manual de usuario) que comprende planos, manual de funcionamiento y mantenimiento, especificaciones del producto y todo lo relacionado con el diseño detallado.

INTRODUCCIÓN

La escuela militar de aviación "Marco Fidel Suárez" de la ciudad de Cali se dedica a Formar integralmente los futuros oficiales de la F AC (Fuerza Aérea Colombiana); capacitar como pilotos de ala fija a oficiales de la fuerza pública y desarrollar operaciones militares en el área de responsabilidad.

El Planetario, uno de los proyectos más conocidos de la base, año tras año se ha constituido como uno de los lugares históricos y académicos más importantes para la comunidad del Sur Occidente Colombiano.

Mediante un equipo multiproyector en el centro de una estructura de forma semiesférica en la que se proyectan las imágenes de los astros sobre la superficie interior de la cúpula, cientos de niños día a día cumplen el sueño de estar más cerca de las estrellas.

Este histórico lugar de la Escuela Militar de Aviación además de enriquecer la orientación astronómica de los cadetes ha servido de apoyo a los planteles educativos de Cali y municipios vecinos.

Otro proyecto de ingeniería es el diseño de un robot cnc de 5 grados de libertad para corte y se esta realizando el diseño de un avión de entrenamiento por moldeado.

Uno de los proyectos nuevos es diseñar con tecnología local un simulador de vuelo que permita a los estudiantes realizar parte de su entrenamiento como

pilotos. Para esto la escuela cuenta con la cabina del avión T -410 Y con la licencia del software Flight Simulator 2004.

La propuesta de nuestro proyecto es realizar los acondicionamientos mecánicos y electrónicos necesarios para habilitar dicha cabina, de tal forma que se logre una simulación lo más aproximada posible a la realidad. Para ello se requiere de hacer diseños mecánicos preliminares que permitan tomar las señales de los timones, potencias, pedales, etc. Y enviárselos a un PC usando comunicación por el puerto USB.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad en la escuela militar de aviación (EMAVI) no hay un dispositivo que cumpla con las debidas especificaciones para que los cadetes realicen sus practicas en el manejo correcto de aviones de entrenamiento; por tal motivo centrándose en esto, algunos de los directivos de la escuela, decidieron diseñar un simulador de vuelo usando tecnología local.

La cabina que se piensa usar como estructura para el simulador tiene muchas de sus partes mecánicas en mal estado y requieren de un rediseño para poder acondicionar el sistema eléctrico que permita automatizar o monitorear el proceso desde un PC.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. SIMULADOR DE VUELO

Es un sistema que intenta replicar, o simular, la experiencia de volar una aeronave de la forma más precisa y realista posible. Los diferentes tipos de simuladores de vuelo van desde videojuegos hasta réplicas de cabinas en tamaño real montadas en accionadores hidráulicos (o electromecánicos), controlados por sistemas modernos computarizados.

Los simuladores de vuelo son muy utilizados para el entrenamiento de pilotos en la industria de la aviación, el entrenamiento de pilotos militares, simulación de desastres o fallas en vuelo y desarrollo de aeronaves.

Los simuladores de vuelo fueron de los primeros tipos de programas a ser desarrollados para los tempranos ordenadores personales.

Los simuladores modernos son utilizados para el entrenamiento de pilotos enseñándoles a estos procedimientos normales y de emergencia en pleno vuelo.

Utilizando los simuladores, los pilotos pueden practicar situaciones que no pueden ser practicadas de forma segura en una aeronave real. Estas situaciones incluyen desprendimientos de superficies de vuelo y pérdidas completas de potencia. Hoy en día las aeronaves están basadas en sistemas complejos de computadoras y para poderla operar de forma eficiente los pilotos deben poseer un buen nivel técnico así como habilidades de pilotaje.

2.2. PARTES DE LA CABINA

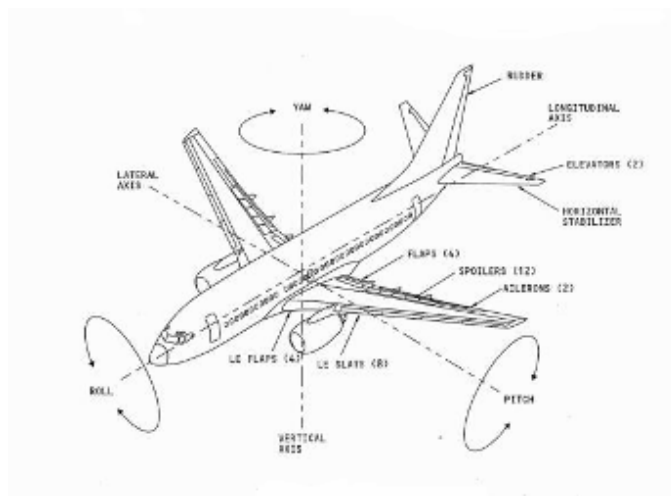
2.2.1. Mandos de vuelo. Los mandos de la cabina del piloto accionan las "superficies de mando" (superficies aerodinámicas que provocan el movimiento del avión alrededor de sus 3 ejes).

En vuelo, cualquier movimiento del avión afectará al menos a uno de sus 3 ejes:

- Eje Lateral o Transversal
- Eje Longitudinal
- Eje Vertical

El eje lateral o transversal (lateral axis) es un eje imaginario que se extiende de punta a punta de las alas del avión, el eje longitudinal (longitudinal axis) es un eje imaginario que se extiende desde el morro a la cola del avión y el eje vertical (vertical axis) es un eje imaginario que, pasando por el centro de gravedad del avión, es perpendicular a los ejes transversal y longitudinal.

Figura 1. Mandos de vuelo y ejes de movimiento del avión



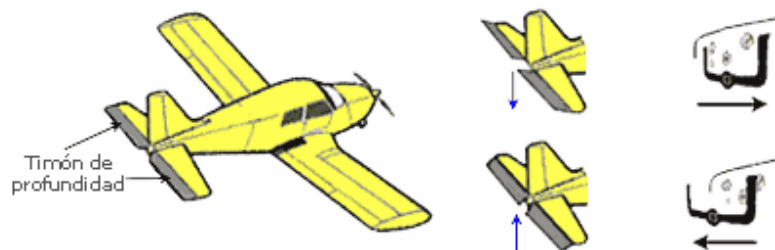
Se consideran superficies de mando primarias: el Timón de profundidad o elevador, los Alerones y el Timón de dirección y superficies de mando secundarias: los Flaps, Compensadores, Slats y Spoilers (aerofrenos).

✚ Superficies de mando primarias

❖ Timón

El movimiento que realiza el avión alrededor del eje lateral se denomina Cabeceo (Pitch) y la superficie de mando que produce este es el Timón de profundidad o también denominada Elevador (Elevators). Al tirar de los cuernos de mando hacia atrás (hacia el piloto) se produce el "encabritamiento" (cabeceo hacia arriba o elevación del morro del avión), y al empujar los cuernos de mando hacia adelante se produce el "picado" (cabeceo hacia abajo o bajada del morro del avión).

Figura 2. Timón de profundidad (movimiento de cabeceo)



El movimiento que realiza el avión alrededor de este eje se denomina alabeo (roll) y las superficies de mando de este son los alerones (ailerons). Al girar los cuernos de mando se produce la deflexión diferencial de los alerones: al tiempo que el alerón de una de las alas sube, el alerón de la otra ala baja, siendo el ángulo de deflexión proporcional al grado de giro de los cuernos de mando. El alerón que es

deflexionado hacia abajo, produce un aumento de sustentación en su ala correspondiente, provocando el ascenso de la misma, mientras que el alerón que es deflexionado hacia arriba, produce en su ala una disminución de sustentación, motivando el descenso de la misma.

Por ejemplo, si deseamos efectuar una inclinación a la izquierda, giraremos el cuerno de mando hacia la izquierda: el alerón derecho descenderá elevando el ala derecha, y simultáneamente, el alerón izquierdo se deflexionará hacia arriba produciendo una pérdida de la sustentación en el ala izquierda y por tanto su descenso.

Figura 3. Funcionamiento de los Alerones

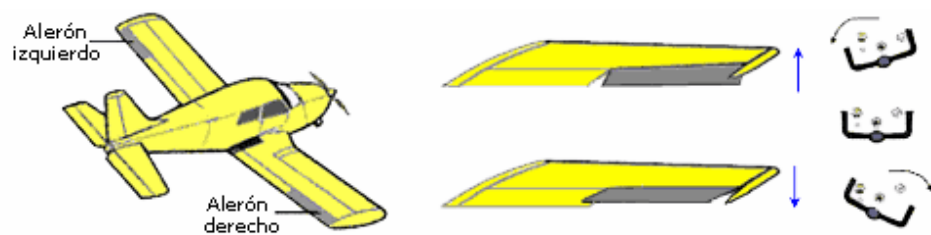
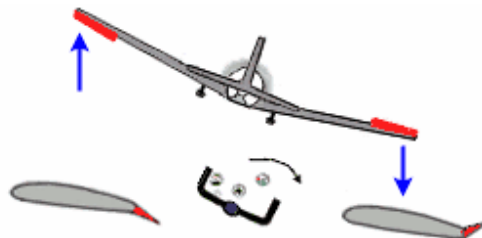


Figura 4. Alerones (movimiento de alabeo)



❖ Pedales

El movimiento que realiza el avión alrededor del eje vertical se denomina Guiñada (Yaw) y la superficie de mando de la guiñada es el Timón de cola o Timón de dirección. El control sobre el timón de dirección se realiza mediante los pedales. Para conseguir un movimiento de guiñada hacia la derecha, el piloto presiona el pedal derecho, generando así una deflexión de la superficie del timón de dirección hacia la derecha.

Figura 5. Timón de dirección (movimiento Guiñada)

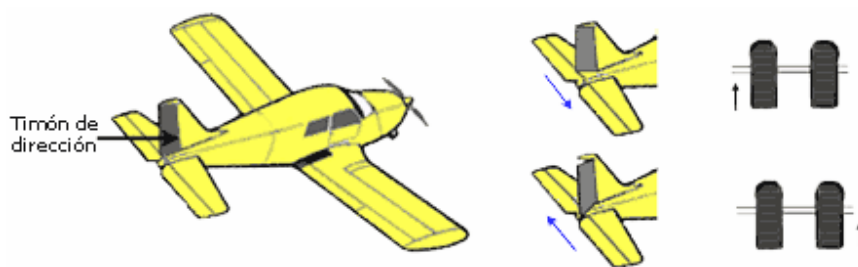
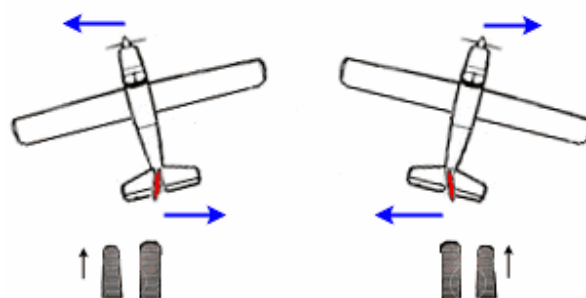


Figura 6. Funcionamiento del Timón de dirección



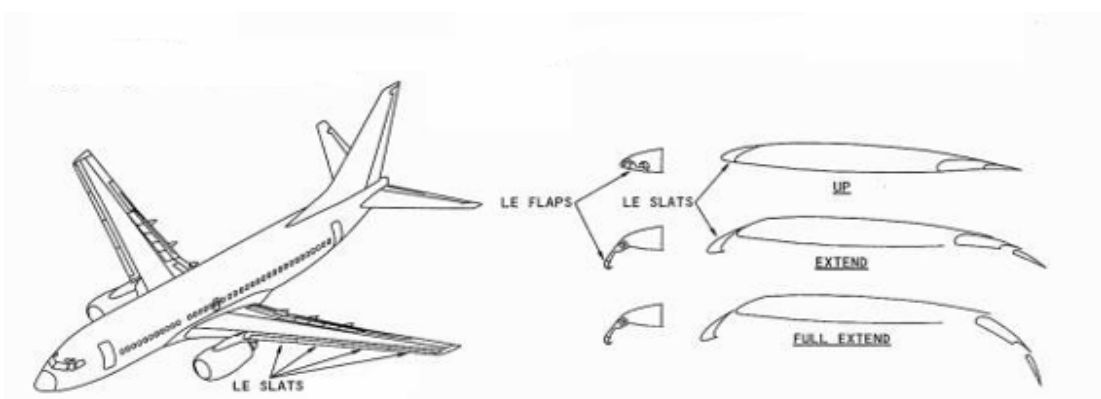
✚ Superficies de mando secundarias

En aviones reactores, capaces de desarrollar altas velocidades, las resistencias y los esfuerzos necesarios para deflectar las superficies aerodinámicas, son muy superiores a los de un avión cuyo vuelo de crucero es a baja velocidad. Por ello, además de dotarles de una transmisión hidráulica para mover las superficies, se añaden otras superficies de mando, como los slats, los flaps, los spoilers o aerofrenos y los compensadores.

❖ Flaps y Slats

Tanto los flaps como los slats incrementan el área del ala y la curvatura de la misma, produciendo un aumento de la sustentación mejorando la performance durante el despegue y el aterrizaje. Existen flaps de borde de ataque (leading edge flaps, L.E flaps) y flaps de borde de fuga (trailing edge flaps T.E flaps) siendo estos últimos los más comunes. Los slats se encuentran en el borde de ataque del ala (L.E, slats).

Figura 7. Ubicación y condición de Flap arriba, extendido y completamente extendido



❖ Spoilers o Aerofrenos

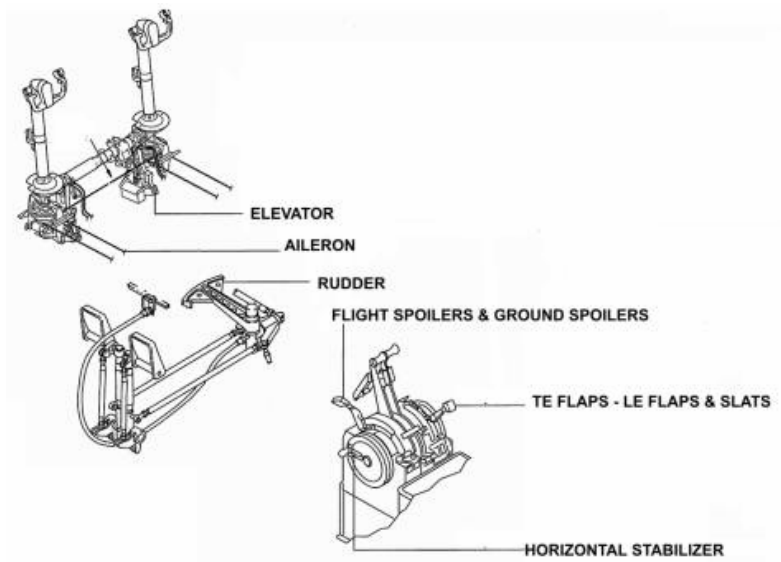
La función de los spoilers o aerofrenos es ayudar a los alerones a controlar al aeroplano en el rolido y suministrar a la vez control de frenado (speedbrakes) para reducir la sustentación o incrementar el arrastre durante el aterrizaje.

❖ Compensadores o Aletas compensadoras

Para evitar la continua acción del piloto sobre los mandos, se usan unas ruedas o compensadores de profundidad, alabeo y dirección. Estas ruedas controlan unas superficies aerodinámicas de pequeño tamaño llamadas compensadores o aletas compensadoras, que se mueven en sentido contrario al de la superficie de mando principal en la que se encuentran montadas, manteniéndola a la misma posición deseada.

Por ejemplo, si un viento lateral tiende a desviar el avión hacia la derecha de su ruta, el piloto puede corregir el efecto del viento (Deriva) presionando el pedal izquierdo; para evitar la presión constante sobre el pedal, el piloto puede girar la rueda del compensador de dirección hacia la izquierda. Así, la aleta compensadora se moverá hacia la derecha, obligando al timón de dirección a desplazarse un poco a la izquierda. Manteniéndose así deflectado, el avión habrá corregido su desviación y el piloto no estará obligado a presionar constantemente el pedal. De la misma manera, cuando se quiere mantener una actitud de subida, o de bajada, o compensar en profundidad, el piloto gira hacia adelante o hacia atrás la rueda del compensador de profundidad hasta que ya no necesite empujar o tirar de los cuernos de mando. El compensador de alabeo suele accionarse cuando el avión tiende a llevar un plano más caído que el otro, por ejemplo cuando existe una gran diferencia de peso de combustible entre las dos alas.

Figura 8. Controles de vuelo



2.2.2. Indicadores

✚ Indicador de actitud

El indicador de actitud u horizonte artificial, muestra la actitud del avión respecto al exterior, es decir: si está girado, si está con el morro levantado, abajo o ambas cosas. Sirve de gran ayuda en situaciones donde la visibilidad es poca o nula, con el indicador de actitud se puede saber si se va recto y nivelado.

El indicador de actitud, está compuesto por una figurita que tiene forma de avión, si esa figurita está girada, el avión está girando, si se ve levantada hacia arriba, el avión estará realizando un ascenso y si está abajo, está descendiendo. En el indicador de actitud, también se encuentra marcado el suelo y debajo de él hay 4 rayas negras, cada una de ellas disminuye 5 grados (la raya del suelo es el punto

0), si la figurita del avión está en la segunda raya, el avión está descendiendo 10 grados. En la parte superior del indicador de actitud hay marcado el cielo, y arriba otras 4 rayitas que cada una de ellas aumenta 5 grados. En la parte superior del indicador de actitud hay un puntero naranja que se encuentra centrado cuando no hay ladeo y por lo tanto está recto, en su alrededor hay 4 rayas blancas que nos indican el ángulo de ladeo del avión, la primera, partiendo del puntero, es de 10 grados de ladeo, la segunda de 20, la tercera de 30 y más abajo viene la cuarta que es de 60 grados, finalmente hay otra de 90 grados (el suelo).

Figura 9. Indicador de actitud



Indicador de velocidad aerodinámica

El indicador de velocidad aerodinámica o anemómetro, mide la velocidad del avión con respecto al aire que se mueve y nos indica la velocidad en nudos. El indicador de velocidad aerodinámica contiene unos colores en los extremos mezclados con los números que nos indican lo siguiente:

Arco blanco: desde V_{so} hasta V_{fe} . Este arco blanco está en las velocidades bajas o lentas del avión, indica las velocidades a las que se puede operar con los flaps y las velocidades máximas a que se puede, si se tienen los flaps extendidos y pasas del arco blanco, se podrían dañar los flaps.

Arco verde: desde V_{s1} hasta V_{no} . Este arco verde está en las velocidades normales del avión, son las velocidades a que suele ir el avión gran parte del vuelo y además en caso de turbulencias el avión no se daña.

Arco amarillo: desde V_{no} hasta V_{ne} . Este arco está en las velocidades altas del avión, hay que tener bastante precaución ya que sólo se puede llegar a esta velocidad cuando no hay turbulencias ni tampoco se pueden realizar maniobras bruscas con el avión porque se podría dañar.

Línea roja: solo ocupa una línea (V_{ne}). Esta línea está en las velocidades máximas a las que va el avión, no se debe llegar ni pasar de esta línea ya que el avión se daña con facilidad.

Figura 10. Indicador de velocidad aerodinámica



✚ Indicador de rumbo

El indicador de rumbo o giroscopio direccional, es un indicador que proporciona al piloto una referencia de la dirección del avión. Antiguamente se usaba la brújula, pero la brújula da muchos errores y si el viento es turbulento se vuelve aún más poco precisa.

En cambio, el indicador de rumbo es preciso y no tiene problemas, por eso es el que se usa ahora para identificar el rumbo direccional del avión, aunque todos los aviones deben disponer también de una brújula. En el indicador de rumbo no se marcan los puntos cardinales (norte, sur, este, oeste), sino que se marcan los grados. Ejemplo: rumbo 190 grados, rumbo 90 grados (este).

Indicador de velocidad vertical

El indicador de velocidad vertical o VSI, es un indicador que indica si el avión está ascendiendo, descendiendo o va nivelado y la velocidad a la que asciende o desciende en pies por minuto (fpm). Si la manecilla indica cero, el avión está nivelado, si está por encima del cero entonces está ascendiendo y si está por abajo de cero, entonces el avión desciende. A partir de esta información, se pueden mirar los números que indican la velocidad de ascenso y descenso. Ejemplo: ascenso a 700 fpm, 0 fpm vuelo nivelado, descenso a 700 fpm.

Altímetro

El altímetro muestra la altura a la cuál está volando el avión en pies. En altímetro hay dos agujas, la pequeña indica los miles de pies y las largas centenas de pies. Teniendo esto en cuenta, cuando la aguja pequeña se encuentre en los mil pies y la larga en los 300 pies, se vuela a 1300 pies. Algunos aviones tienen una aguja más que indica las décimas, pero la mayoría de aviones ligeros tienen dos agujas.

Coordinador de giro e inclinómetro

El coordinador de giro y el inclinómetro son dos instrumentos de vuelo que van en una misma redonda, en el coordinador de giro hay una figura de un avión que nos indica el ladeo de las alas y si están giradas. Debajo hay el inclinómetro, contiene

tres bloques, hay una bola negra, si la bola se sitúa en el bloque del centro, el avión va bien en el sentido de giros. Si la bola se pone en uno de los bloques 1 o 3, entonces el avión está derrapando, está haciendo un giro incorrecto porque le falta ascenso u otras causas, entonces el avión "resbala".

2.3. AVION T – 41D

Una descripción detallada de los componentes del avión T-41D, se puede observar en los anexos de este documento. Y a continuación en la Figura 11, se muestra el estado actual en el que se encuentra la cabina con la que se cuenta en la EMAVI.

Figura 11. Estado actual cabina T - 41D para el simulador



Figura 12. Estado actual cabina T - 41D para el simulador (parte trasera)



Figura 13. Estado actual cabina T - 41D para el simulador (parte delantera)



3. ANTECEDENTES

El 27 de septiembre de 2006, dos simuladores de vuelo de helicópteros Huey II con tecnología de punta, los primeros en Latinoamérica, fueron puestos en funcionamiento en la Escuela de Helicópteros de la Fuerza Pública, ubicada en el Comando Aéreo de Combate Numero 4, en Melgar.

Los equipos, permiten realizar vuelos visuales con topografía similar a la existente en el país, aumentando así la Seguridad Aérea y reduciendo los accidentes, al permitir que el alumno haga un entrenamiento con aproximación al terreno real.

En estos simuladores se efectuarán vuelos diurnos y nocturnos, así como diferentes emergencias no realizadas en los equipos reales, de esta manera, se incrementará la capacitación de 250 a 500 alumnos, reduciendo en más de un 80 por ciento el costo por hora.

La afición a los simuladores de vuelo caseros ha hecho que muchos usuarios lleguen a ser diseñadores de aeronaves para estos sistemas. De esta forma ellos pueden crear tanto aeronaves militares como comerciales utilizando los nombres de aerolíneas reales, de forma que pueden sacar partido de sus diseños. Muchos otros usuarios crean su versión personal de su aerolínea favorita dando lugar a aerolíneas virtuales como Iberflight, Airhispania, Iberia virtual, Airalandalus, Futura virtual y muchas otras que pueden encontrarse en Internet.

Entre la diversidad de páginas en Internet que tratan sobre cabinas de vuelo caseras podemos apreciar la de Francisco García Garrido de Valencia – España (la dirección de esta se encuentra citada en la bibliografía del anteproyecto).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Diseñar un prototipo para el acondicionamiento de los controles de la cabina T -41 D, que se usara como simulador de vuelo.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Conocer detalladamente como funciona una cabina real de vuelo
- ✓ Acondicionar la parte mecánica de la cabina
- ✓ Acondicionar la parte electrónica de la cabina
- ✓ Convertir mandos mecánicos en electrónicos a través de un sistema microcontrolado.
- ✓ Diseñar la interfaz de comunicación nueva del sistema electrónico y el PC.

5. JUSTIFICACION

La Escuela Militar de Aviación se beneficiara directamente con este proyecto porque le permite involucrar prácticas de simulación de vuelo, evitando posibles accidentes que se puedan generar en un entrenamiento real.

Este proyecto permite habilitar una cabina en desuso para convertirla en un prototipo de simulador de vuelo, a bajo costo, teniendo en cuenta que la Escuela militar cuenta con la licencia del simulador Flight Simulator 2004.

Dicho prototipo permite que los estudiantes tengan contacto directo con una cabina real de vuelo, y todos los elementos que esta contiene como potencias, timón, pedales, entre otros. Con esto el cadete puede adquirir más confianza al momento de entrar a maniobrar uno real porque ya tiene de cierto modo una experiencia previa con el simulador.

Para los Ingenieros a cargo esto es un gran reto porque deben poner a prueba los conocimientos adquiridos durante su periodo de formación académica para el desarrollo real de un proyecto de ingeniería. Se adquiere experiencia y confianza haciendo uso de la investigación científica para la realimentación y corrección de posibles problemas en el transcurso del diseño.

6. METODOLOGÍA

Como metodología se seguirá un proceso de diseño estructurado, el cual nos permitirá realizar un diseño adaptativo. Para esto se llevaran a cabo los siguientes pasos:

- Análisis del funcionamiento de la cabina de vuelo
- Identificación de variables a controlar
- Diseño de las modificaciones mecánicas a la cabina
- Diseño del acondicionamiento electrónico necesario de sensores a instalar
- Diseño del sistema de control electrónico que recibe las señales de los diferentes dispositivos y los envía al PC.
- Realizar la documentación respectiva del diseño (Manual de usuario) que comprende planos, manual de funcionamiento y mantenimiento, especificaciones del producto y todo lo relacionado con el diseño detallado.

NOTA: Paralelo a la metodología se debe ir realizando el informe del proyecto con su respectivo proceso de diseño

7. CRONOGRAMA

Tabla 1. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17
Análisis del funcionamiento de la cabina																	
Identificación de variables a controlar																	
Diseño de las modificaciones mecánicas a la cabina																	
Diseño del acondicionamiento electrónico necesario de sensores a instalar																	
Diseño del sistema de control electrónico que recibe las señales de los diferentes dispositivos y los envía al PC.																	
Manual de usuario																	

Nota: La primera semana de trabajo **S01** comienza el miércoles 14 febrero de 2007. La última semana de trabajo **S17** comienza el día lunes 25 de Junio de 2007

8. PRESUPUESTO

Tabla 2. Gastos

CONCEPTO	VALOR TOTAL (\$)
Ingenieros	17'000.000
Asesor	500.000
Piezas mecánicas	300.000
Componentes electrónicos	300.000
Papelería	80.000
Transporte	442.000
Internet	120.000
Total	18'742.000

Los valores consignados en la tabla fueron definidos teniendo en cuenta que son 2 ingenieros y 1 asesor; que los ingenieros trabajaran 5 horas diarias , 5 días a la semana y el asesor trabajara 16 horas en total distribuidas según la necesidad.

En cuanto a precios, se asume lo siguiente:

Hora Ingeniero: \$ 20.000

Hora Asesor: \$ 31.000

9. FINANCIACIÓN

A continuación se muestra una tabla donde se especifica a cargo de que entidad o personas correrá cada concepto del proyecto:

Tabla 3. Financiación

CONCEPTO	FINANCIACIÓN		
	A	U	E
Ingenieros	x		
Asesor		x	
Piezas mecánicas			x
Componentes electrónicos			x
Papelería	x		
Transporte	x		
Internet	x		

Donde:

A = Alumno

U = Universidad

E = Escuela Militar de Aviación (Marco Fidel Suárez)

10. DESARROLLO CONCEPTUAL

10.1. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN

En este punto se describe el producto, su implicación en el mercado, a quien o quienes va dirigido teniendo en cuenta unas prioridades, es decir, un mercado primario y secundario, se incluyen las premisas y restricciones (costos en general y desempeño del dispositivo) y las partes que interactúan para la consecución y éxito del mismo

Tabla 4. Planteamientos de la misión

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO:	Prototipo simulador de vuelo T-41D
PRINCIPALES OBJETIVOS DEL MERCADO	Culminación del desarrollo para presentación en junio de 2007
MERCADO PRIMARIO:	Escuelas de aviación interesadas en dar una instrucción practica previa al vuelo real.
MERCADO SECUNDARIO:	Publico en general aficionado al tema de la aviación
PREMISAS Y RESTRICCIONES:	<ul style="list-style-type: none">• Costo de fabricación \$• El dispositivo se comunicara con el PC por medio de puerto USB• La estructura de la cabina utilizada para el simulador debe ser lo más similar al

	<p>sistema real del avión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se trabajara con el software Flight Simulator 2004 • El dispositivo debe de ser independiente al avión a utilizar, debe funcionar tanto para el T-41D como para otro modelo de avión.
PARTES IMPLICADAS:	<p>Directivos EMAVI Cadetes EMAVI Departamento de diseño. Técnicos de Mantenimiento.</p>

10.2. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

10.2.1. Obtención datos primarios e interpretación de estos. Siguiendo el método estructurado, se discutió sobre los posibles aspectos necesarios para la creación del simulador y los procesos que en el se incluyan, obteniendo los planteamientos expuestos en la anterior tabla, dado que este es un paso que determina la calidad y éxito del proceso de desarrollo.

Tabla 5. Datos primarios

PLANTEAMIENTO DE LOS CLIENTES	IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DEL CLIENTE
No hay un simulador en la zona que iguale las características de un avión T-41D	El dispositivo tiene gran similitud con un avión T-41D en su estructura física.
Los repuestos son difíciles de encontrar	Los repuestos son de fácil consecución nacional

Los elementos y mecanismos utilizados son difíciles de transportar	El dispositivo es fácil de ensamblar y desensamblar
Es muy difícil de trasladar	El dispositivo tiene accesorios que le permiten un traslado fácil.
Es muy frágil	El dispositivo es robusto y resistente
La velocidad de movimiento de los controles se ve reflejada mucho después en las imágenes.	Las imágenes se visualizan en tiempo real
Se conecta al PC por cable paralelo y se desea cable USB.	El dispositivo se conecta al PC por medio de cable USB.
Es incomodo y poco atractivo el entorno a la hora de realizar las practicas	La estructura física del dispositivo es agradable y cómoda en su manejo.
La manipulación y ubicación de los controles no es confiable	El dispositivo es fiable

10.2.2. Importancia relativa de las necesidades identificadas. Este nivel de importancia de las necesidades de los clientes se desarrollo teniendo en cuenta las dificultades que presentaron los usuarios al interactuar con el producto; con esta tabla se clasifica cada necesidad y se le da un nivel de importancia (1 - 5)

Tabla 6. Importancia relativa de las necesidades

#	TIPO	NECESIDAD	IMP.
1	Dispositivo	<i>El dispositivo tiene gran similitud con un avión T-41D en su estructura física.</i>	5

2	Accesorios	Los repuestos son de fácil consecución nacional	4
3	Dispositivo	Algunas partes del dispositivo son removibles para un mejor mantenimiento.	3
4	Dispositivo	El dispositivo es robusto y resistente	5
5	Dispositivo	Las imágenes se visualizan en tiempo real	5
6	Accesorios	El dispositivo se conecta al PC por medio de cable USB.	5
7	Accesorios	La estructura física del dispositivo es agradable y cómoda en su manejo	4
8	Dispositivo	El dispositivo es fiable	5

10.3. ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DEL DISPOSITIVO

10.3.1. Lista de medidas. Este punto aplica para la traducción de una necesidad en algo medible para así tener una idea mas aterrizada de cómo solucionarlas, es decir, demostrar realmente que se pueden medir

Tabla 7. Establecimiento de métricas (especificaciones)

#	N ₀ . NEC	METRICA	Unidades
1	1	Dimensiones	CV, AC, SC
2	6	Innovación	A, M, B
3	8	Fiabilidad mecánica	B, R, M
4	1, 2, 4, 5, 6, 7	Costos de construcción	Pesos (\$)

5	5	<i>Velocidad de respuesta</i>	Kbytes/s
6	8	<i>Precisión</i>	mm
7	7	<i>Estética</i>	B, R, M
8	3, 4	<i>Peso</i>	Kg

Donde:

B: Bueno

A: Alto

R: Regular

M: Medio

M: Malo

B: Bajo

Nota: Las dimensiones de la cabina se medirán con respecto a los cambios que se generen comparando con una cabina de un T-41D original.

CC: Cambios varios

AC: Algunos cambios

SC: Sin cambios

10.3.2. Ponderación de parámetros técnicos. En este punto se compara las necesidades con las métricas con un grado de relación ya determinado en la tabla 4, esto para optimizar de manera más eficiente nuestro diseño porque se han tenido en cuenta muchos aspectos que a la final podrían no ser relevantes manifestándose con ningún tipo de relación en este punto

Lo que se pretende con esto, es asignar un valor a la relación que se presente entre estos dos elementos, el cual se encuentra en una escala de 9, 5, o 3 siendo el 9 en el que se encuentra un mayor grado de relevancia y 3 el que presenta una menor

Tabla 8. Ponderación de parámetros técnicos

		Métricas								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Necesidad	Imp.	Costos de construcción	Estética	Dimensiones	Peso	Velocidad de respuesta	Fiabilidad mecánica	Presición	Innovación	
	1	<i>El dispositivo tiene gran similitud con un avión T-41D en su estructura física.</i>	5	9	5	9				
2	<i>Los repuestos son de fácil consecución nacional</i>	4	9							
3	<i>Algunas partes del dispositivo son removibles para un mejor mantenimiento.</i>	3	3		5					
4	<i>El dispositivo es robusto y resistente</i>	5	9	3	9		3			
5	<i>Las imágenes se visualizan en tiempo real</i>	5				9				
6	<i>El dispositivo se conecta al PC por medio de cable USB.</i>	5	3			5			9	
7	<i>La estructura física del dispositivo es agradable y cómoda en su manejo</i>	4	9	9	5		3			
8	<i>El dispositivo es fiable</i>	5			3	3	5	9		
total		231	110	80	75	70	52	45	45	708
%		32,6	15,5	11,3	10,6	9,9	7,3	6,3	6,3	
Grado de importancia		1	2	3	4	5	6	7	8	

10.3.3. Valores ideales y marginales. Aquí se intenta definir cuales son los valores ideales del dispositivo y los marginales que son los mínimos que debe poseer para que sea un producto comerciable.

Tabla 9. Valores ideales y marginales

#	MÉTRICA	UNIDADES	VALORES MARGINALES	VALORES IDEALES
1	<i>Dimensiones(largo, ancho, altura)</i>	<i>Cm</i>	<i>AC</i>	<i>SC</i>
2	<i>Innovación</i>	<i>A, M, B</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
3	<i>Fiabilidad mecánica</i>	<i>B, R, M</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
4	<i>Costos de construcción</i>	<i>Pesos (\$)</i>	<i>18'662.080</i>	<i>>18'662.080</i>
5	<i>Velocidad de respuesta</i>	<i>Kbytes/s</i>	<i>183</i>	<i>183</i>
6	<i>Precisión</i>	<i>Mm</i>	<i>1</i>	<i>>1</i>
7	<i>Estética</i>	<i>B, R, M</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
8	<i>Peso</i>	<i>Kg</i>		

11. GENERACIÓN DE CONCEPTOS

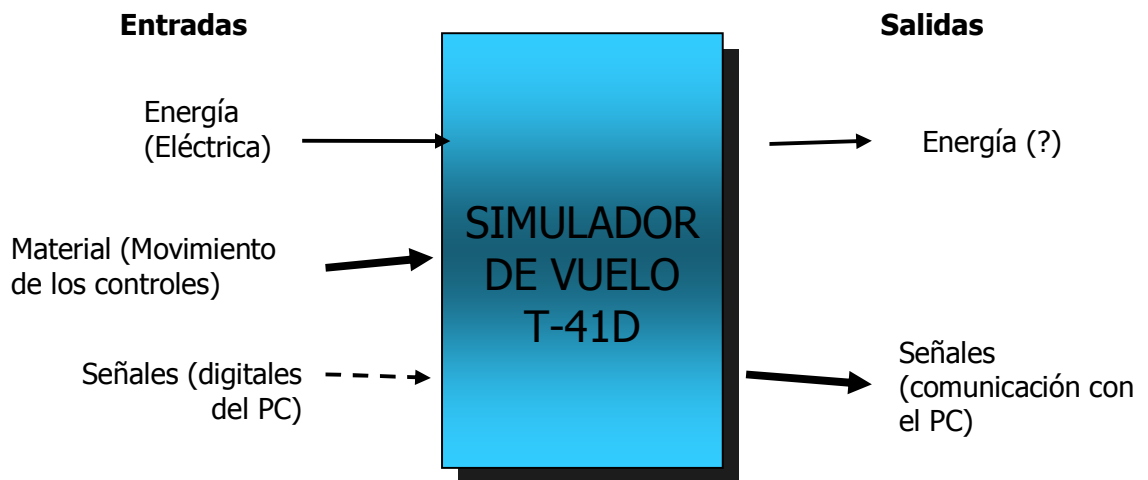
11.1. CLARIFICAR EL PROBLEMA

11.1.1. Descomposición funcional

✚ Caja negra

Implementando el método de descomposición funcional, procedemos a representar el problema como una caja negra de la siguiente manera:

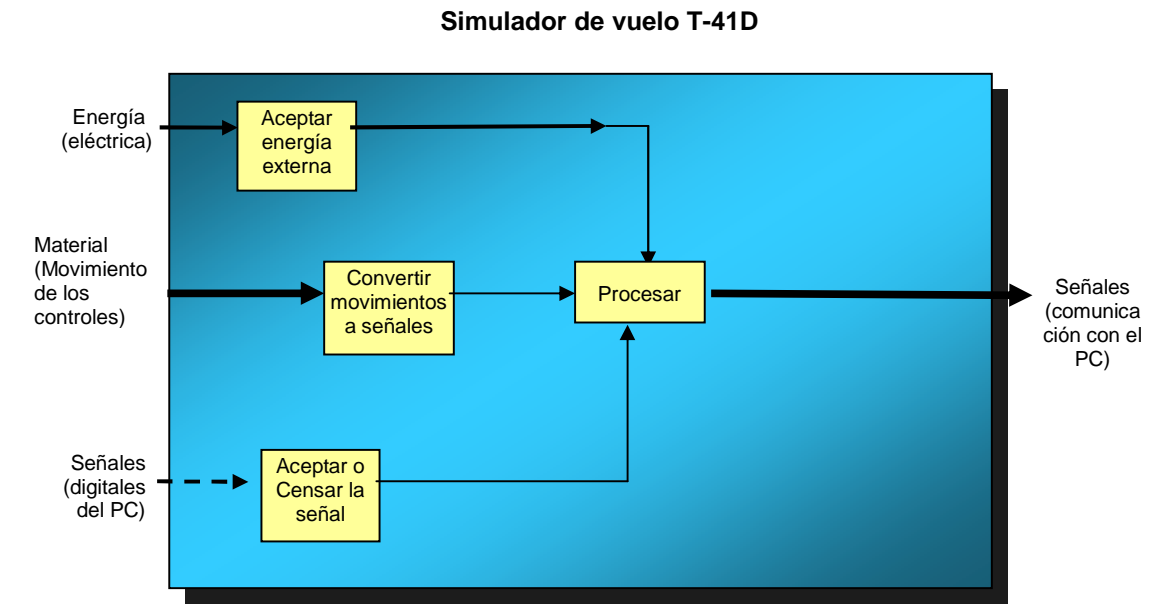
Figura 14. Caja negra



Aquí descomponemos el problema general en varios subproblemas para saber de manera mas completa y detallada que función va a cumplir cada elemento en nuestra caja la cual representa el problema global que se tiene.

✚ Descripción por sub_funciones y representación de las más críticas

Figura 15. Descomposición por sub_funciones



11.2. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

11.2.1. Búsqueda en Internet

<http://www.micabinadevuelo.com/>

<http://www.flightsim.com/cgi/kds?§=main/m-howto.htm>

<http://www.opencockpits.com/>

11.2.2. Consulta a expertos

Ing. José Fernando Pérez

Ing. Edgar Torres

Ing. Héctor Cooper

11.3. BÚSQUEDA INTERNA.

11.3.1. Generación de ideas

➤ **Procesar**

- ❖ Microcontrolador con soporte USB

➤ **Convertir movimientos a señales**

El objetivo de esta etapa es convertir los movimientos que se realicen en los mandos mecánicos a señales que entienda el procesador; esto sin duda lo tenemos que hacer con sensores de movimiento y aquí sacamos las diferentes opciones encontradas para finalmente escoger la más óptima.

También se hacen ciertas modificaciones a la estructura física de la cabina que permitan mayor comodidad al usuario del prototipo.

❖ **Timón**

El eje del timón, sale en medio de la pantalla en que están ubicados los indicadores. Esto nos lleva a un inconveniente ya que interfiere con la buena ubicación de los elementos visuales, por lo que se debe buscar la mejor forma de solucionar esto antes de ubicar un sensor de movimiento. Las opciones encontradas en el Brainstorming o lluvia de ideas son las siguientes:

- Timón de piso (2 potenciómetros)
- Cortar timón original y transmitir movimiento rotacional para que quede a nivel (2 potenciómetros)
- Cortar timón original y hacer mas largos los mangos de sujeción (2 potenciómetros)

❖ **Potencias**

Las potencias son en total 3 que se mueven traslacionalmente de adelante hacia atrás y al girar una perilla externa a estas, se produce el mismo movimiento mas lentamente.

- Base con potenciómetro
- Base con potenciómetro lineal

❖ **Pedales**

Los pedales manejan dos movimientos: uno de adelante hacia atrás y otro de arriba hacia abajo.

Al aplicar el pedal derecho la cola del avión se mueve hacia la izquierda haciendo que esta gire hacia el lugar de menos presión que seria la derecha virando sobre su eje vertical, igual pasa con el pedal izquierdo pero cambia de dirección:

- 1 potenciómetro y 2 pulsadores
- 2 potenciómetros

❖ **Compensador**

El compensador es una rueda ubicada en la parte baja de la cabina

- Base con potenciómetro

❖ **Tablero**

En el tablero están incluidas 4 perillas de los indicadores, 7 swiches on/off (nav, beacon, strobo, taxi, landing, alternador y bat), un swiche de 5 posiciones (off, 1 revolución, 2 revolución, 3 revolución), start) y 2 pulsadores (Flags):

- Interruptores, potenciómetros y pulsadores

11.3.2. Diagramas de los elementos concebidos en las búsquedas

Convertir movimientos a señales

✚ Timón

Figura 16. Generación de conceptos (Timón de piso)



Figura 17. Generación de conceptos (Timón original con transmisión de movimiento)

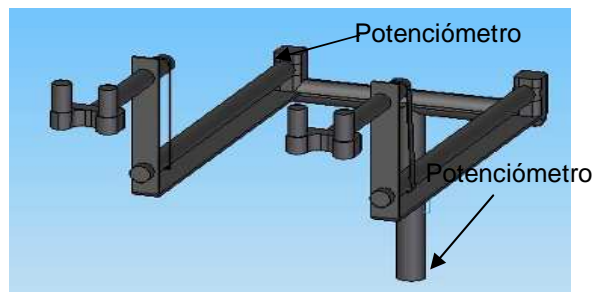
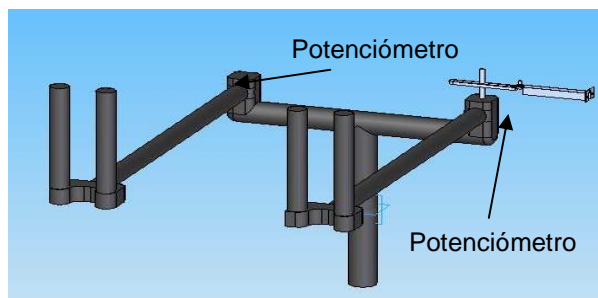


Figura 18. Generación de conceptos (Timón original alargando mangos de sujeción)



✚ Potencias

Figura 19. Generación de conceptos (Potencias en una base con potenciómetros)

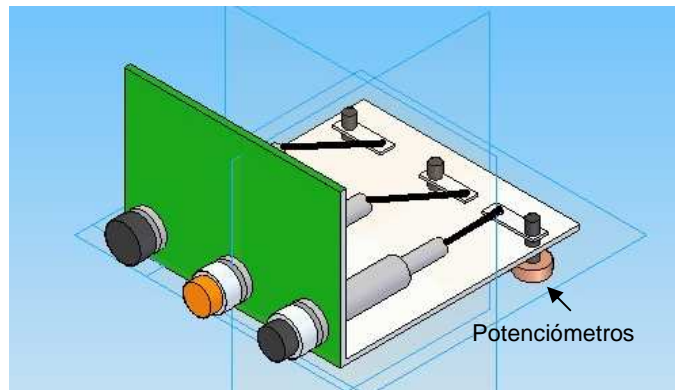
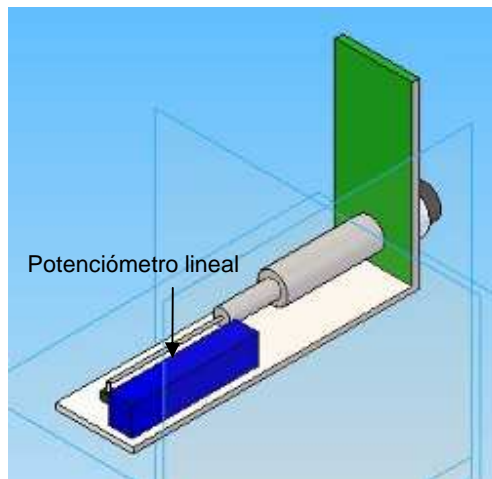


Figura 20. Generación de conceptos (Potencias en una base con potenciómetros lineales)



✚ Pedales

Figura 21. Generación de conceptos (Pedales: 1 potenciómetro y 2 pulsadores)

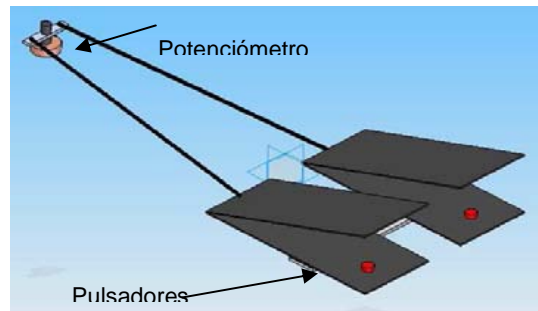
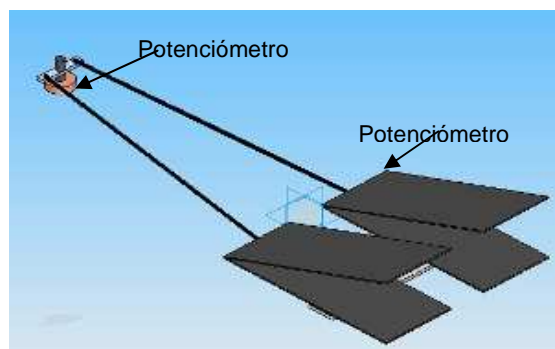
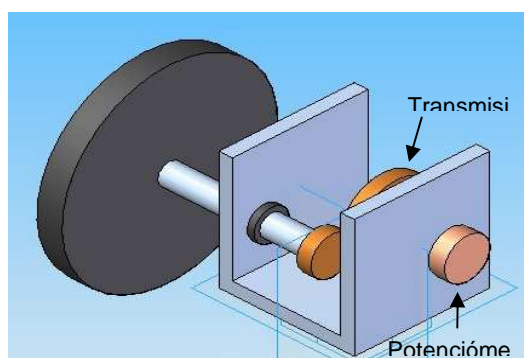


Figura 22. Generación de conceptos (Pedales: 2 potenciómetros)



Compensador

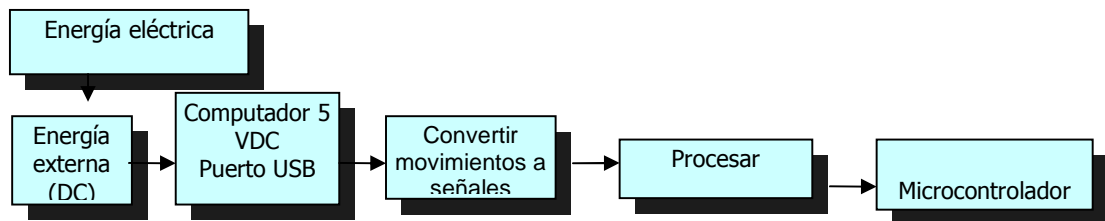
Figura 23. Generación de conceptos (Sistema de transmisión con potenciómetro)



11.4. EXPLORACIÓN SISTEMATIZADA

11.4.1. Árbol de clasificación de conceptos. A continuación mostraremos los pasos a seguir en la puesta en marcha del Simulador:

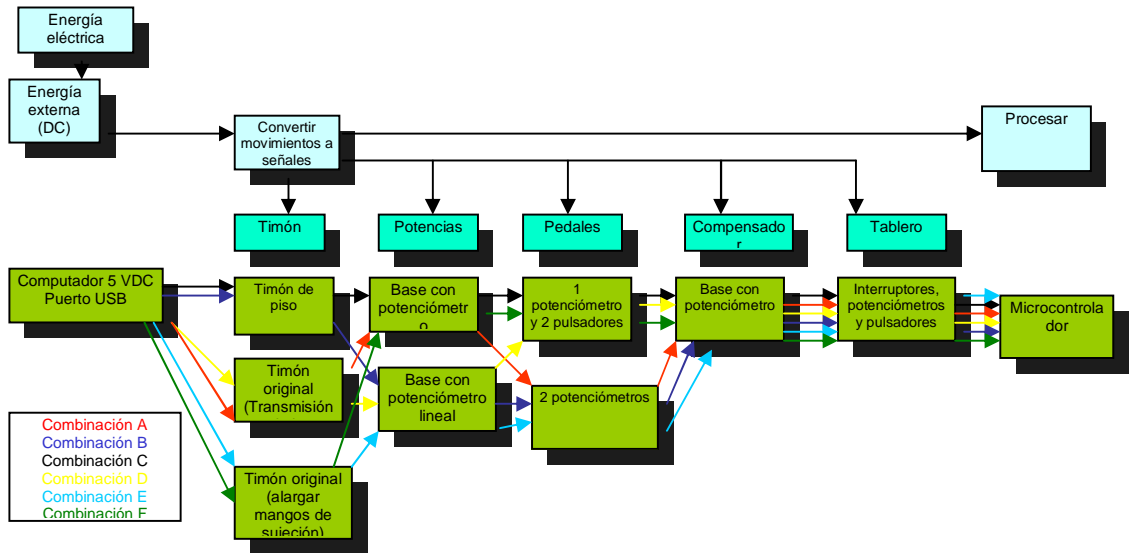
Figura 24. Árbol de clasificación de conceptos



Creemos que la mejor opción a seguir para procesar todas las señales y para controlar estas es por medio de un Microcontrolador de gama alta que maneje puerto USB, entradas A/D y sea de fácil consecución en el mercado en que nos desenvolvemos. Por tal razón se escogió el PIC18f4550.

11.4.2. Combinación de conceptos. A continuación se implementa el diseño concurrente donde el desarrollo del mejor producto se logra fusionando elementos electrónicos, mecánicos y de control al mismo tiempo, con el fin de observar los pros y los contras de los posibles prototipos.

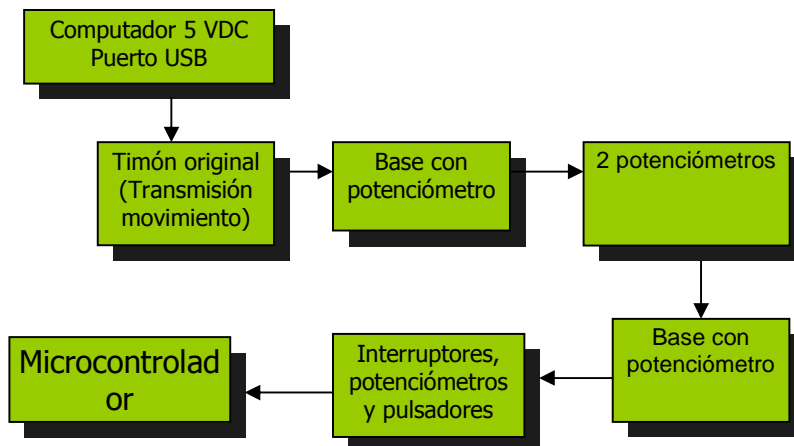
Figura 25. Combinación de conceptos



11.4.3. Conceptos generados

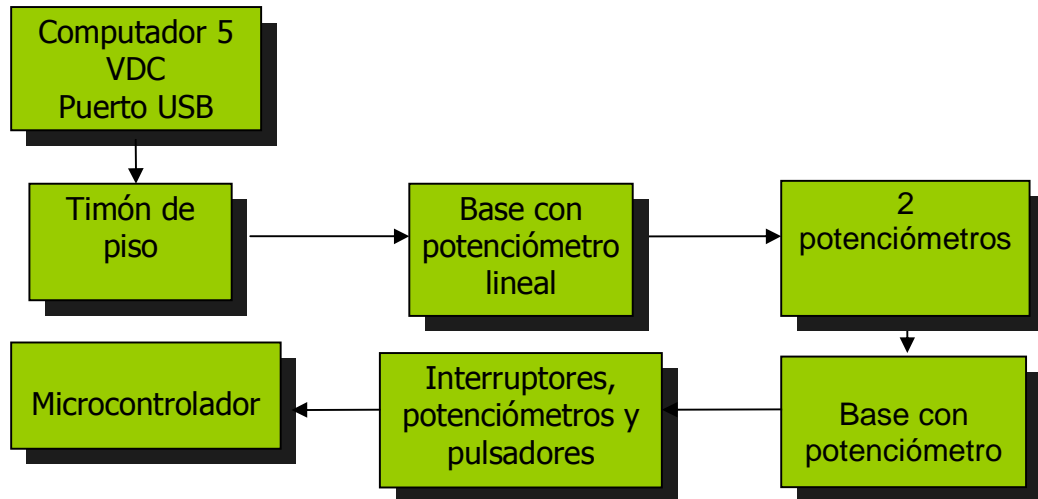
🚦 Concepto A

Figura 26. Concepto A



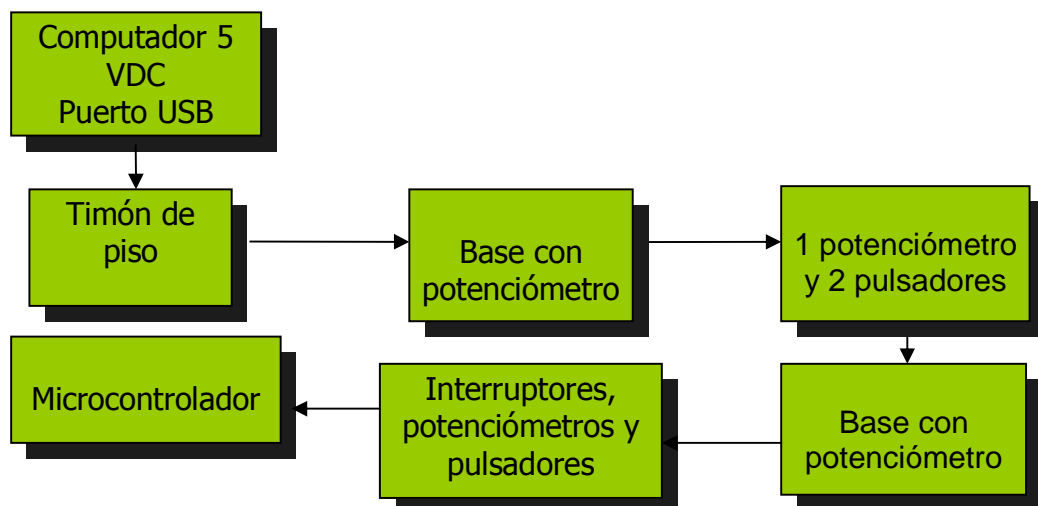
✚ Concepto B

Figura 27. Concepto B



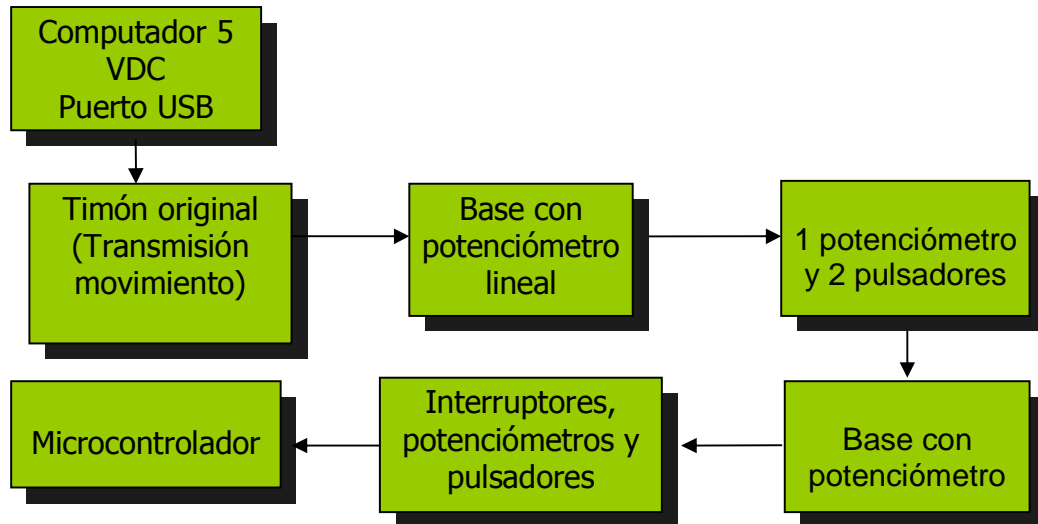
✚ Concepto C

Figura 28. Concepto C



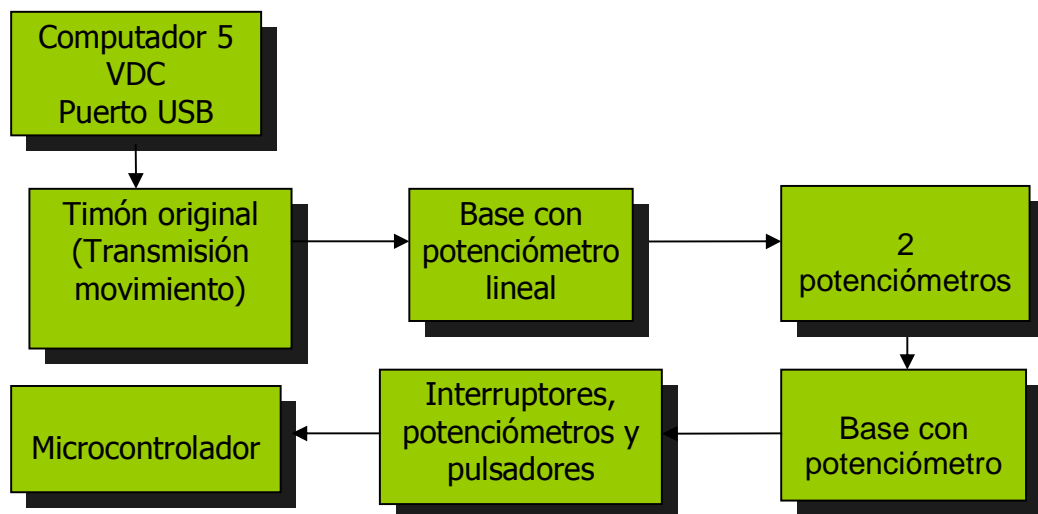
✚ Concepto D

Figura 29. Concepto D



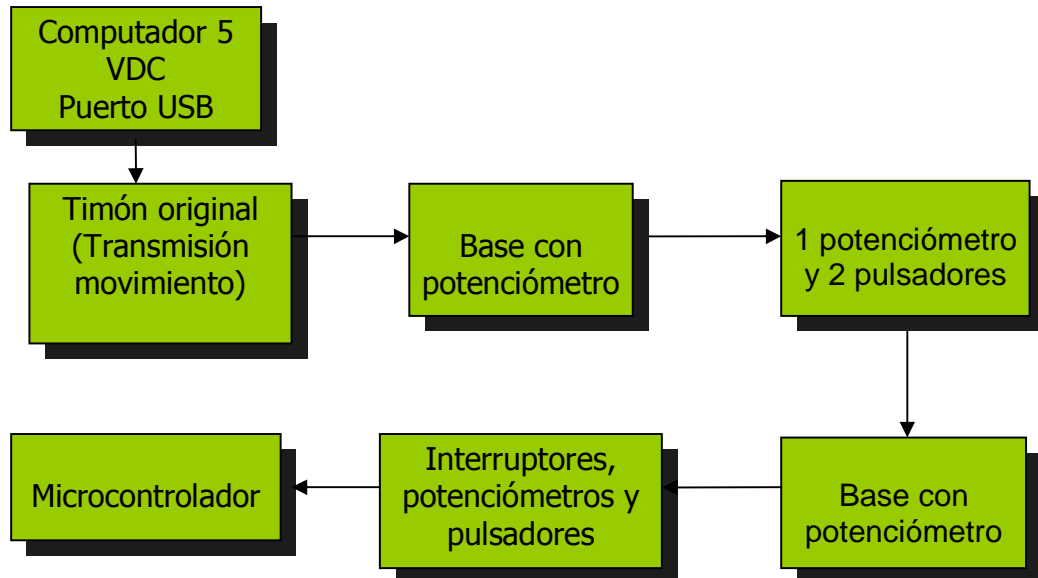
✚ Concepto E

Figura 30. Concepto E



Concepto F

Figura 31. Concepto F



11.5. SELECCIÓN DE CONCEPTOS

11.5.1. Matriz de tamizaje de conceptos. En esta etapa se evaluarán los criterios o necesidades con respecto a la referencia de la siguiente forma:

Tamizaje

+: Mejor que...

0: igual a...

-: peor que...

De acuerdo a los conceptos generados miraremos cuales serán los mas viables a desarrollar

Tabla 10. Matriz de tamizaje

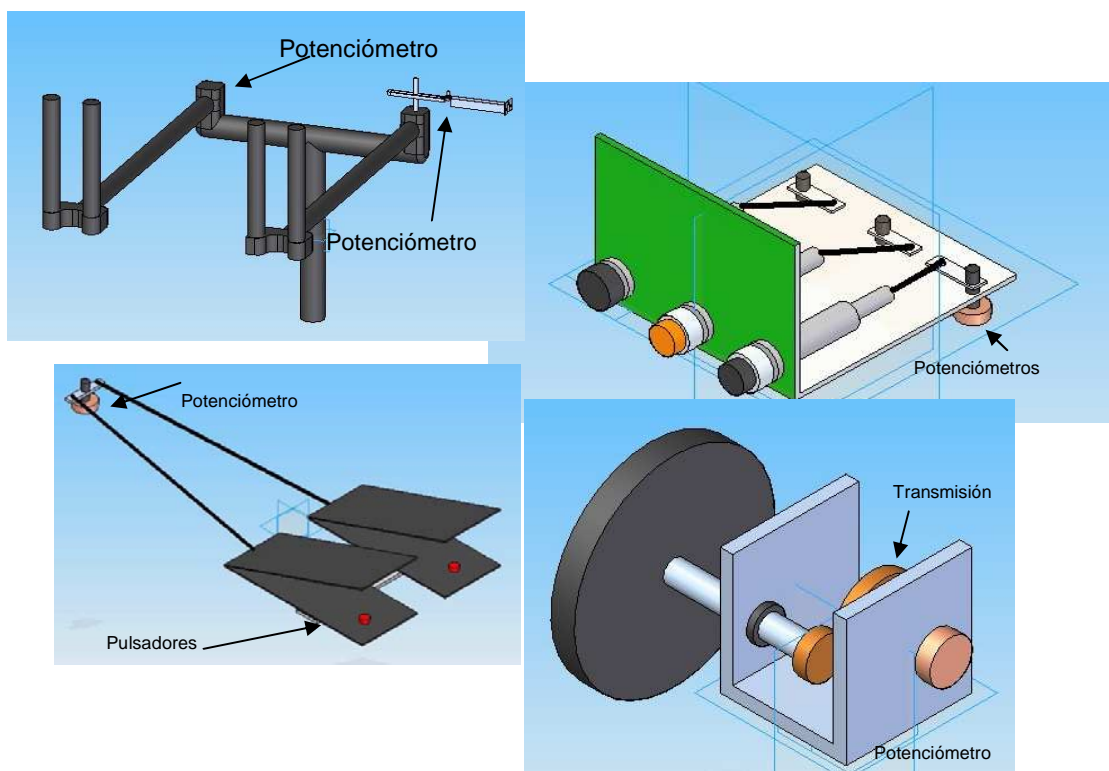
CRITERIO DE SELECCIÓN	VARIANTES DE CONCEPTOS					
	A	B	C	D	E	F
<i>El dispositivo tiene gran similitud con un avión T-41D en su estructura física.</i>	0	-	-	0	+	+
<i>Los repuestos son de fácil consecución nacional</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Algunas partes del dispositivo son removibles para un mejor mantenimiento.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>El dispositivo es robusto y resistente</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Las imágenes se visualizan en tiempo real</i>	0	0	0	0	0	0
<i>El dispositivo se conecta al PC por medio de cable USB.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>La estructura física del dispositivo es agradable y cómoda en su manejo</i>	-	-	-	-	+	+
<i>El dispositivo es fiable</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Positivos</i>	2	2	2	2	4	4
<i>Iguals</i>	5	4	4	5	4	4
<i>Negativos</i>	1	2	2	1	0	0
<i>Total</i>	1	0	0	1	4	4
<i>Orden</i>	4	6	5	3	2	1
<i>¿Continuar?</i>	No	No	No	No	Si	Si

Conceptos escogidos:

Después de realizada la matriz de tamizaje se decidió seguir con los conceptos E y F tal como se encuentran.

Debido a que los conceptos son muy parecidos y la única diferencia es el costo de los componentes que llevan (para el concepto E es mayor y se tiene una muy parecida señal en cuanto a calidad), se decidió descartar el concepto E y escoger como nuestro concepto a desarrollar el F, sin recurrir a la matriz de evaluación.

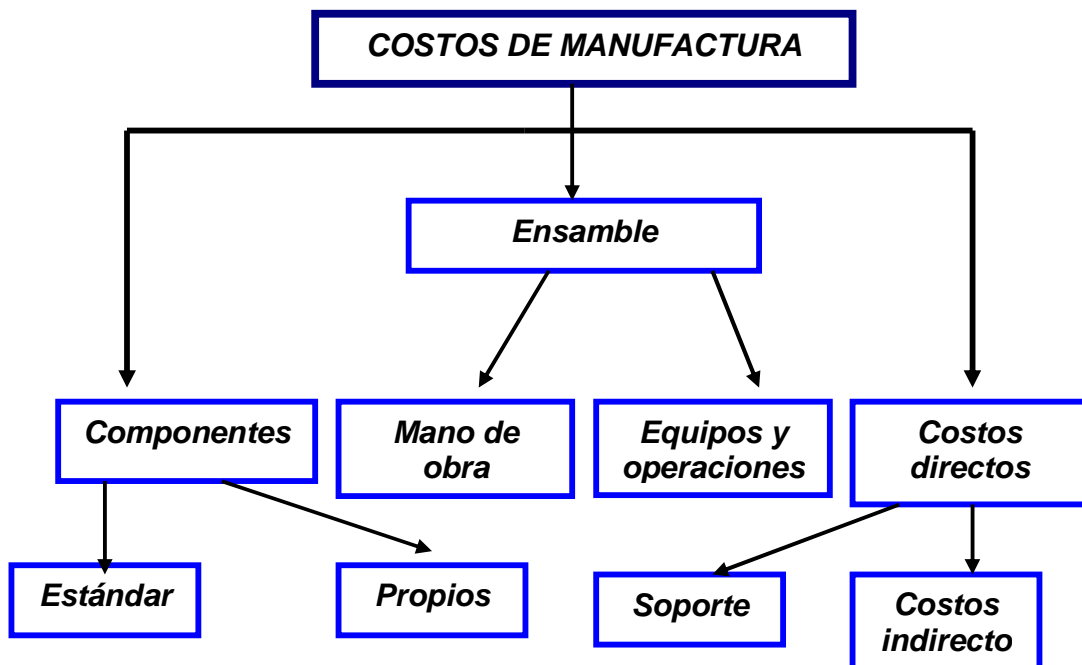
Figura 32. Diagrama de conjunto del concepto escogido (Concepto F)



12. DISEÑO PARA MANUFACTURA

12.1. ANALISIS DE LOS COSTOS DE MANUFACTURA

Figura 33. Costos de manufactura



Rodamientos
 Pernos
 Potenciómetros
 Resortes
 Ruedas
 Cables de conexión
 Engrane
 Piñón
 Circuito

Eje
 Base nivel compensador
 Base eje compensador
 Base giro potencias
 Base timón rotación
 Base potencias
 Apoyo giro del timón
 Base del timón
 Brazo apoyo timón
 Eje del freno

12.1.1. Estimación de costos de manufactura. Para la estimación de estos costos se partió del diagrama anterior que clasifica los componentes de las maquinas en 2 tipos:

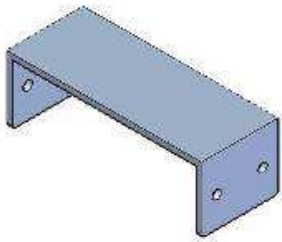
 Componentes estándar

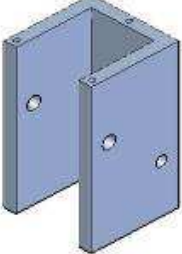
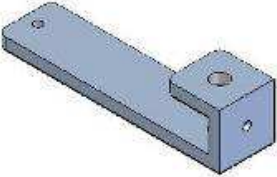
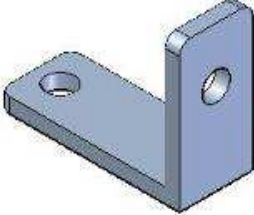

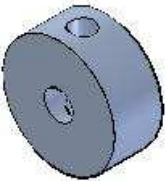
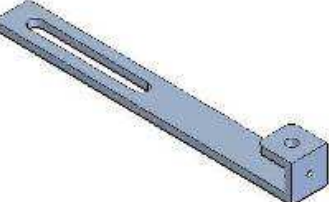
Los componentes estándar son aquellos que ya están normalizados y se consiguen en el mercado bajo su referencia característica, y nos permiten en caso dado de reparación y mantenimiento conseguirlos de forma rápida y económica relativamente hablando.

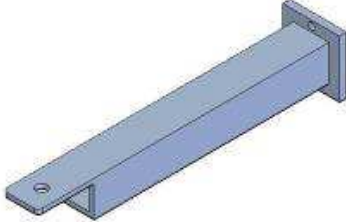

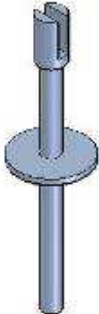
 Componentes propios

Los componentes propios son aquellos elementos de las maquinas que fueron contruidos por el diseñador para la funcionabilidad y maniobrabilidad de la maquina, los cuales pasaron por procesos de maquinado para su culminación.

Tabla 11. Componentes propios

PARTE MECANICA		
COMPONENTE PROPIO	MATERIA PRIMA	MAQUINADO
 <p>BASE SOPORTE</p>	ALUMINIO	DOBLADO A 90° TALADRADO LIMADO SEGUETEADO REDONDEADO

	BASE EJE COMPENSADOR	ALUMINIO	TALADRADO DOBLADO A 90°
	BASE GIRO POTENCIAS	ALUMINIO	TALADRADO ROSCADO DOBLADO A 90° REDONDEADO
	BASE POTENCIOMETRO GIRO TIMON	ALUMINIO	TALADRADO REDONDEADO DOBLADO A 90°
	BASE POTENCIAS	ALUMINIO	TALADRADO REDONDEADO
	BASE GIRO TIMON	ACERO 10-40	SOLDADURA TALADRADO ROSCADO
	BASE APOYO TIMON	ALUMINIO	TALADRADO DOBLADO A 90° REDONDEADO

	<p align="center">BRAZO TIMON</p>	<p align="center">ACERO INOXIDABLE</p>	<p align="center">TALADRADO SOLDADURA REDONDEADO</p>
	<p align="center">EJE DEL COMPENSADOR</p>	<p align="center">ACERO 10-20</p>	<p align="center">TORNEADO BISELADO TRONZADO</p>
	<p align="center">EJE DEL FRENO</p>	<p align="center">ACERO INOXIDABLE</p>	<p align="center">SOLDADURA TALADRADO</p>

12.2. DISEÑO PARA ENSAMBLE.

Siendo el análisis del Diseño para ensamble una práctica que se orienta en técnicas que permitan la disminución de costos, buscando y promoviendo la correcta distribución de los elementos que componen el sistema. La aplicación de estas al dispositivo es expuesta a continuación.

12.2.1. Herramientas para ensamble.

- Juego de llaves allen en pulgadas
- Llaves peston grande y mediana

- Juego de atornilladores de pala
- Juego de atornilladores de estrella
- Segueta
- Limas cuadrada, plana, circular y triangular
- Brocas en acero inoxidable 1/8, 3/13, 5/16, 3/8, 1/2 pulgadas
- Broca tungsteno 1/2 pulgada
- Soldador eléctrico
- Soldador a gas
- Torno revolver
- Taladro industrial
- Taladro manual
- Copas 5/16, 1/2, 3/8

12.3. ANALISIS DE COSTOS.

Tabla 12. Análisis de costos por componentes

COSTOS DEL SUBSISTEMA MECANICO			
DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
BASE SOPORTE	1	50000	50000
BASE EJE COMPENSADOR	1	70000	70000

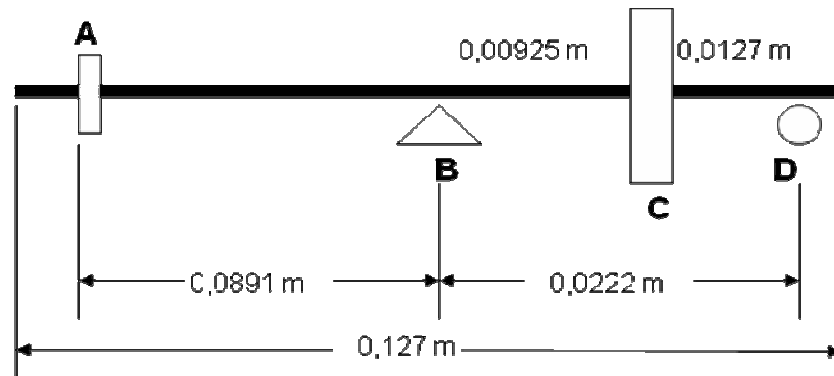
BASE GIRO POTENCIAS	3	35000	105000
BASE POTENCIOMETRO GIRO TIMON	1	40000	40000
BASE POTENCIAS	1	35000	35000
BASE GIRO TIMON	1	30000	30000
BASE APOYO TIMON	1	60000	60000
BRAZO TIMON	1	90000	90000
EJE DEL COMPENSADOR	1	55000	55000
EJE DEL FRENO	2	70000	140000
ENGRANE	1	35000	35000
CIRCUITO	1	80000	80000
PIÑON	1	33000	33000
RODAMIENTO	1	25000	25000
		TOTAL	848.000

13. DISEÑO DETALLADO

13.1. ANÁLISIS MECÁNICO.

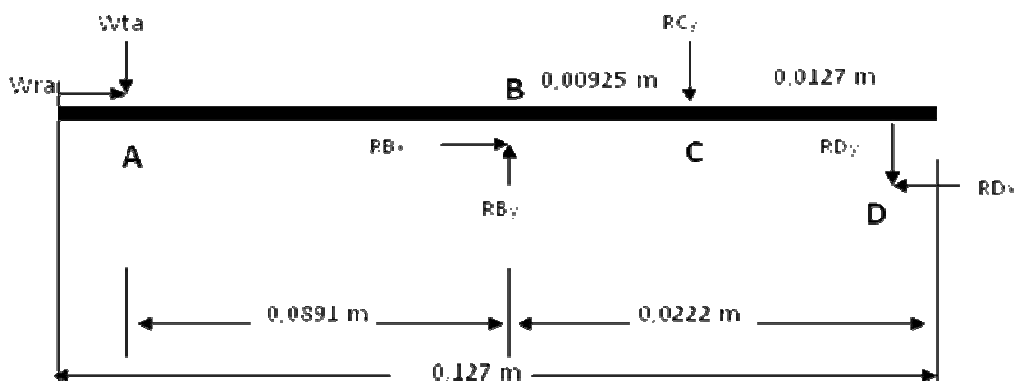
✚ Diseño del eje del compensador

Figura 34. Diagrama mecánico eje del compensador.



❖ Diagrama de cuerpo libre

Figura 35. Diagrama de cuerpo libre, eje del compensador.



A = PIÑÓN B = RODAMIENTO C = VOLANTE D = BUJE

Wra = FUERZA RADIAL EN EL PIÑÓN Wta = FUERZA TANGENCIAL EN ELPIÑÓN

La entrada al sistema es por el volante en C a través de la mano, no se usa motor y el eje gira en ambos sentidos.

❖ Determinación de las rpm:

Para este caso que no hay motor las RPM se obtuvieron experimentalmente tomando 10 datos con tiempos cronometrados cada 15 segundos.

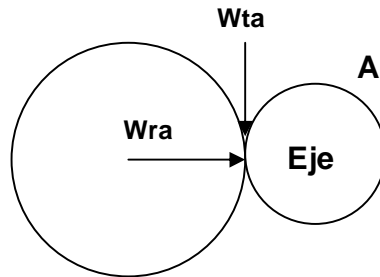
Tabla 13. Determinación de las RPM

#DATO	RPM
1	12
2	11
3	13
4	12
5	10
6	12
7	14
8	12
9	11
10	11

Promediando nos dan un total de 11.8 RPM cada 15 segundos, entonces al minuto es aproximadamente **50RPM**

❖ Engranés en a:

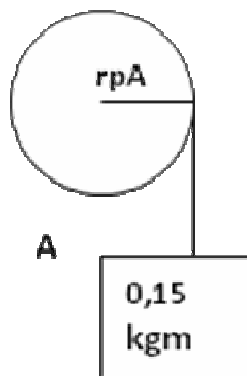
Figura 36. Engranajes en A.



N = 24	De = 13 mm	Relación 4: 1	pd = 64
$Wt = \frac{T}{rp}$	$Wr = Wt \tan \Phi$	$dp = \frac{N}{pd}$	
<p>pd = paso diametral; N= numero de dientes; De= diámetro exterior; T= torque; rp= radio de paso; dp= diámetro de paso; Φ = ángulo de presión, el mas usado es 20°.</p>			

Determinación del torque: para este caso el torque se obtuvo experimentalmente colgando un peso al piñón con el máximo peso que podía soportar para su rotación, como se ilustra.

Figura 37. Determinación del torque (1).



$F=WG$	$F_A = 0,15 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$	$F_A = 1,47 \text{ N}$
$dp = 24/64 * 25,4$	$dp = 9,525 \text{ mm}$	$rp_A = 4,762 \text{ mm} \approx 0,00476 \text{ m}$
$T_A = rp_A * F_A$	$= 0,00476 \text{ m} * 1,47 \text{ N}$	$T_{A \text{ MAX}} = 0,007 \text{ Nm} \approx 0,0615 \text{ Lbpul}$
$T_{A \text{ MAX}} = \text{torque máximo}$		$T_{A \text{ MIN}} = \text{torque mínimo}$
$T_{A \text{ MIN}} = 0,00476 \text{ m} * 0,5 \text{ N}$		$T_{A \text{ MIN}} = 0,0024 \text{ Nm}$

$$Wt_A = T_{A \text{ MAX}} / rp_A = 0,007 \text{ Nm} / 0,00476 \text{ m} \longrightarrow Wt_A = 1,47 \text{ N}$$

$$Wr_A = Wt_A \tan 20^\circ = 1,47 \text{ N} * \tan 20 \longrightarrow Wr_A = 0,53 \text{ N}$$

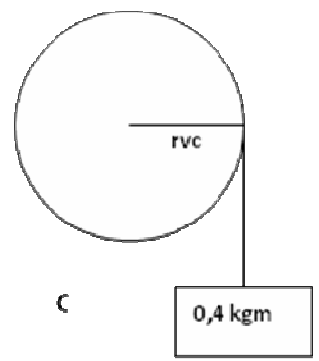
- Volante en c : entrada al sistema

Peso del volante es 0,3 Kg $D_{vc} = \text{diámetro volante} = 0,16 \text{ m}$

$$R_{cvy} = 0,3 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 \longrightarrow R_{cvy} = 3 \text{ N}$$

$T = 63025 * Hp / \text{RPM}$ \longrightarrow Experimentalmente se obtiene:

Figura 38. Determinación del torque (2).



$F_{vc} = 0,4 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$	→	$F_{vc} = 3,92 \text{ N}$
$T_{vc} = r_{vc} * F_{vc} = 0,08\text{m} * 3,92 \text{ N}$	→	$T_{vc} = 0,314 \text{ Nm} \approx 2,756 \text{ Lbpul}$
$H_{pvc} = T_{vc} * \text{RPM} / 63025 = 2,756 \text{ Lbpul} * 50 / 63025$		
$H_{pvc} = 2,186 * 10^{-3} \text{ Hp} \approx 1,63 \text{ Watts}$		Potencia máxima
$H_{pvc} = 1,394 * 10^{-3} \text{ Hp} \approx 1,039 \text{ Watts}$		Potencia mínima para 0,25 kg masa

Hp = potencia en caballos de poder

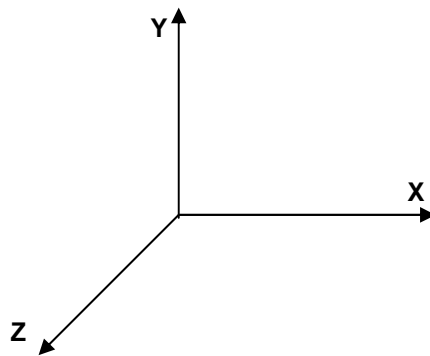
Tvc = torque volante C

Hpvc = potencia máxima en el volante C

Fvc = fuerza en el volante C

rvc = radio del volante

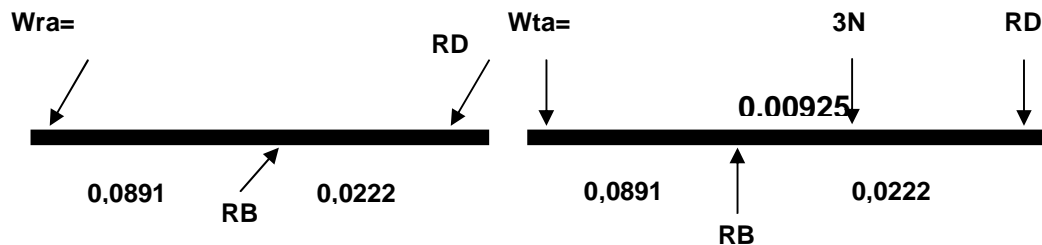
❖ Diagramas en los planos:



Plano (xz):

Plano (yz):

Figura 39. Diagrama de cuerpo libre en los planos yz y xz



❖ Cálculo de reacciones:

• Plano (xz) :

$$\text{➤ } \sum F_x = 0 = -0,53 + RB_x - RD_x = 0$$

$$\boxed{RB_x - RD_x = 0,53} \longrightarrow \text{Ecuación 1}$$

$$\text{➤ } \sum MB_x = 0 = -0,53(-0,0891) - 0,0222RD_x = 0$$

$$\boxed{RD_x = 2,13N} \longrightarrow \text{Reemplazamos en ecuación 1}$$

$$RB_x = 0,53 + 2,13 \longrightarrow \boxed{RB_x = 2,66N}$$

• Plano (yz):

$$\text{➤ } \sum F_y = 0 = -1,47 + RB_y - 3 - RD_y = 0$$

$$\boxed{RBy - RDy = 4,47} \longrightarrow \text{Ecuación 2}$$

$$\triangleright \sum MBy = 0 = -1,47(-0,0891) + 0,00925(-3) - 0,0222RDy = 0$$

$$\boxed{RDy = 4,65N} \longrightarrow \text{Reemplazamos en ecuación 2}$$

$$RBy = 4,47 + 4,65 \longrightarrow \boxed{RBy = 9,12N}$$

❖ Cálculo de esfuerzos cortantes:

- Plano (xz) :

$$\boxed{T1x = -0,53 N}$$

$$T2x = -0,53 + 2,66 \longrightarrow \boxed{T2x = 2,13N}$$

$$T3x = 2,13 - 2,13 \longrightarrow \boxed{T3x = 0}$$

- Plano (yz):

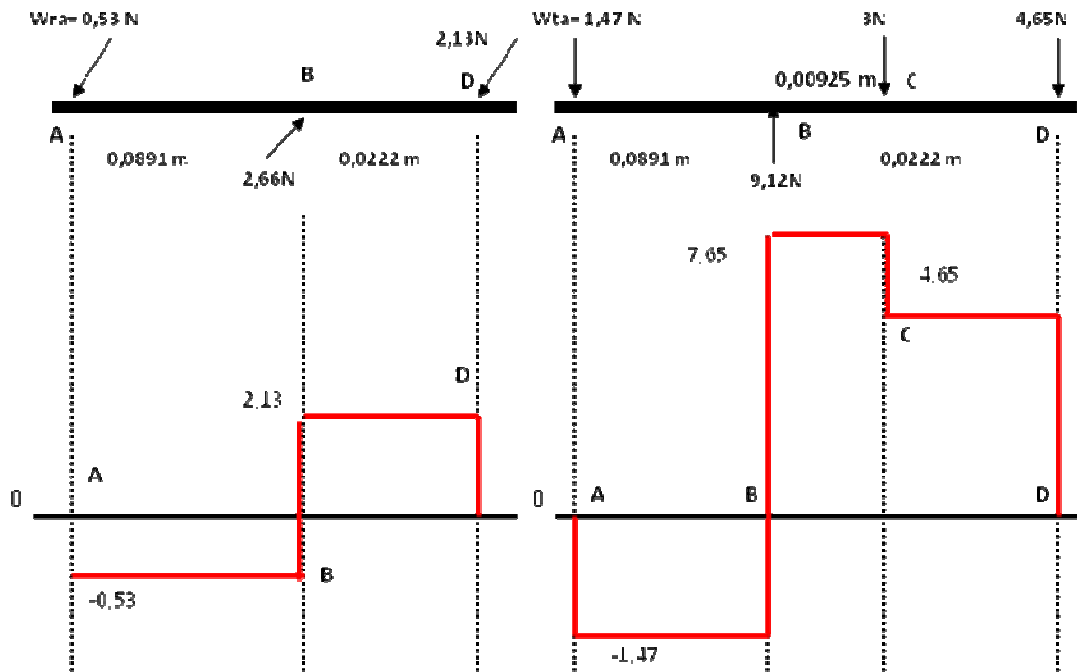
$$\boxed{T1y = -1,47N}$$

$$T2y = -1,47 + 9,12 \longrightarrow \boxed{T2y = 7,65N}$$

$$T3y = 7,65 - 3 \longrightarrow \boxed{T3y = 4,65N}$$

$$\boxed{T4y = 0}$$

Figura 40. Grafica de los esfuerzos cortantes.



❖ Cálculo de momento flector:

✚ Plano (xz):

X es la distancia perpendicular a la fuerza en acción en el sector de corte

$$\text{➤ } M1x = -0,53x \quad \longrightarrow \quad M1x = -0,53(0,0891)$$

$$M1x = -0,0472 Nm$$

$$\text{➤ } M2x = -0,53x + 2,66(x - 0,0891)$$

$$M_{2x} = -0,53(0,1113) + 2,66(0,1113 - 0,0891)$$

$$M_{2x} = -0,000063Nm \approx 0$$

✚ Plano (yz) :

$$\triangleright M_{1y} = -1,47x \longrightarrow M_{1y} = -1,47(0,0891)$$

$$M_{1y} = -0,131Nm$$

$$\triangleright M_{2y} = -1,47x + 9,12(x - 0,0891)$$

$$M_{2y} = -1,47(0,09835) + 9,12(0,09835 - 0,0891)$$

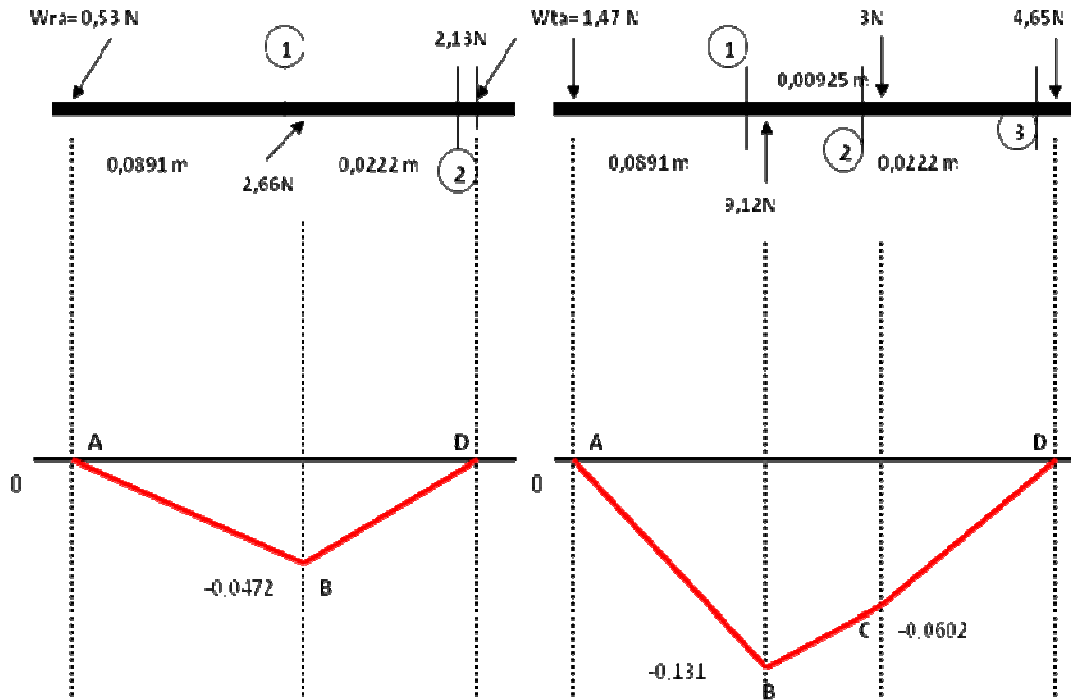
$$M_{2y} = -0,0602Nm$$

$$\triangleright M_{3y} = -1,47x + 9,12(x - 0,0891) - 3(x - 0,09835)$$

$$M_{3y} = -1,47(0,1113) + 9,12(0,1113 - 0,0891) - 3(0,1113 - 0,09835)$$

$$M_{3y} = -0,000003Nm \approx 0$$

Figura 41. Grafica del momento flector.



1, 2, 3 = eje seccionado en esos lugares

❖ Calculo de la magnitud del momento en todos los puntos:

$$M = \sqrt{MH^2 + MV^2}$$

MH = Momento horizontal (xz)

MV = Momento vertical (yz)

$$MB = \sqrt{(0,0472)^2 + (0,131)^2}$$

$$MB = 0,139 Nm \approx 1,22 Lbpul$$

$$MC = 0,0602 Nm \approx 0,528 Lbpul$$

❖ Calculo del diámetro del eje:

Acero 10-20

El diámetro se calcula con la formula de la norma ANSI/ASME B106.1M, utilizada para el diseño de flechas sujetas con estas cargas. La formula es:

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M_{MAX}}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_M}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde

N_f Factor de seguridad

S_y Resistencia máxima a la tensión del material

S_f Resistencia a la fatiga corregida del material

K_f Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga por flexión alternante

M_{MAX} Momento máximo alternante

T_M Par torsor transmitido por el motor

$K_T = K_F = 2,5 \longrightarrow$ Chaflán de bordes cortantes

$S_f = S_e$

$S_e = C_{carga} C_{tamaño} C_{superficie} C_{temperatura} C_{confiabilidad} S_e$

$$S_e = 0,5 S_u$$

S_y, S_u y las C \longrightarrow los da la tabla

$N = 2$ \longrightarrow trabajo suave

$T = 2,756$ Lbpul

$S_u = 55$ KPsi

$S_y = 30$ KPsi

$$S_e = 0,5 * 55000 \longrightarrow \boxed{S_e = 27,5 \text{ KPsi}}$$

$$S_e' = 1 * 1 * 0,9 * 1 * 0,659 * 27500$$

$$\boxed{S_e' = 16310 \text{ Psi}}$$

Reemplazamos en la formula y obtenemos:

$$d = \left[\frac{32 * 2}{\pi} \left[\left(\frac{2,5 * 1,22}{16310} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{2,756}{30000} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0,160 \text{ pul} \approx 4,08 \text{ mm}$$

El diámetro lo aproximo a:

$$\boxed{d = 6,35 \text{ mm} \approx \frac{1}{4}''}$$

❖ Cálculo de la deformación angular (θ):

T = Torque aplicado

ℓ = longitud de la barra

J = Momento polar de inercia

G = Modulo del cortante

$$\theta = \frac{T\ell}{JG}$$

En la tabla tenemos $\longrightarrow G = 11,7 \text{ MPsi} \approx 80,8 \text{ GPa}$

$$J = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi(0,00635 \text{ m})^4}{32}$$

$$J = 1,752 * 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$\theta = \frac{0,314 \text{ Nm} * 0,127 \text{ m}}{1,752 * 10^{-10} \text{ m}^4 (80,8 * 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})}$$

$$\theta = 2,81 * 10^{-3} \text{ rad} \approx 0,161^\circ$$

❖ Selección del rodamiento:

En este tipo de trabajo el eje no presenta fuerzas axiales q son eliminadas por el giro del mismo. Para este caso se utilizara un rodamiento miniatura debido al diámetro interior del eje que es aproximadamente 6.35 mm

Primero calculamos la fuerza resultante en el rodamiento.

$$RBx = 2,66N \quad RBy = 9,12N$$

$$RB = \sqrt{RBx^2 + RBy^2}$$

$$RB = \sqrt{2,66^2 + 9,12^2} \longrightarrow \boxed{RB = 9,5N}$$

Diámetro interior 6.35 mm \longrightarrow 7 mm que es normalizado

Para este caso utilizamos rodamientos de bolas extra pequeños con diámetro exterior de 22 mm.

$C = 3300 N$ → CARGA DINAMICA QUE SOPORTA EL RODAMIENTO

$C_0 = 1370 N$ → CARGA ESTATICA QUE SOPORTA EL RODAMIENTO

Calculamos vida útil L en millones de revoluciones $P = RB$

$$L = \left(\frac{C}{P} \right) = \left(\frac{3300 N}{9,5 N} \right)^3$$

$$L = 41915147,98 \text{ Millones de revoluciones}$$

RODAMIENTO 627 ZZ; PAGINA B36 Y B37 NSK CATALOGO

13.2. DISEÑO ELECTRONICO

13.2.1. Características pic18f4550. En la actualidad se cuenta con soluciones en forma de circuitos integrados para facilitar la comunicación de los dispositivos USB con un computador personal. Dentro de ellas podemos distinguir 2 grandes grupos:

- Microcontroladores que incorporan internamente el hardware necesario para la comunicación mediante USB y lo integran como un periférico más.
- Controladores periféricos USB que proveen comunicación a sistemas basados en microcontroladores o microprocesadores.

Adentrándonos en el primer grupo, llegamos al Pic18f4550. Este pertenece a la gama alta de microcontroladores que desarrolla Microchip y a modo de resumen se presentan a continuación sus características más sobresalientes.

Arquitectura: Harvard

- Memoria de programa: 32k (16386 instrucciones).
- Memoria RAM: estática 2048 bytes.
- EEprom: 256 bytes.

Periféricos:

- 5 Puertos de Entrada/Salida.
- 4 Módulos de Timer.
- 1 Módulo Capture/Compare/PWM.(CCP)
- 1 Módulo Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP).
- 1 Módulo Enhanced USART (EUSART).
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) que soporta SPI e I2C.
- Conversor analógico/digital de 10 bits y hasta 13 canales.
- Dos comparadores analógicos.

USB:

- Interfaz USB V2.0 que soporta baja y alta velocidad.
- Soporta transferencias: Control, Interrupt, Isochronous y Bulk.
- Hasta 32 endpoints (16 bidireccionales).
- Streaming Parallel Port (SPP).

Modos de Manejo de Energía:

- Run: CPU y periféricos encendidos.
- Idle: CPU apagado y periféricos encendidos.

- Sleep: CPU y periféricos apagados.

Características especiales:

- 12 modos de reloj y la posibilidad de utilizar el modulo USB y el CPU a diferentes velocidades.
- Memoria de Programa auto-programable por software.
- Niveles de prioridad en las interrupciones.
- Multiplicador 8x8 en hardware y ejecuta en un solo ciclo.
- Una sola fuente 5V, programación y depuración en el circuito (ICSP e ICD).

En el anexo A, se puede observar un esquemático completo del microcontrolador.

13.2.2. Puerto USB, especificaciones. El USB es un bus punto a punto: dado que el lugar de partida es el *host* (PC o *hub*), el destino es un periférico u otro *hub*. No hay más que un único *host* (PC) en una arquitectura USB.

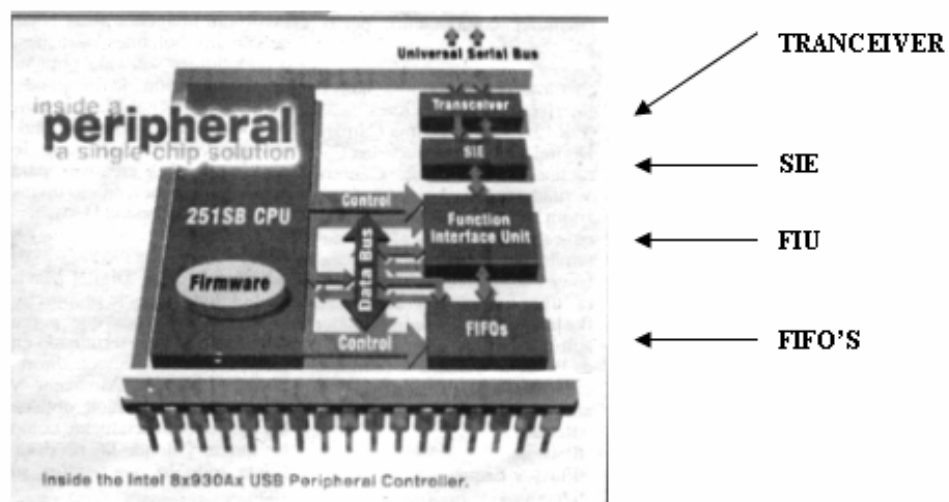
Los PC estándar tienen dos tomas USB, lo que implica que, para permitir más de dos periférico simultáneamente, es necesario un *hub*. Algunos periféricos incluyen un *hub* integrado, por ejemplo, el teclado USB, al que se le puede conectar un Mouse USB.

Los periféricos comparten la banda de paso del USB. El protocolo se basa en el llamado *paso de testigo* (*token*). El ordenador proporciona el testigo al periférico seleccionado y seguidamente, éste le devuelve el testigo en su respuesta. Este bus permite la conexión y la des-conexión en cualquier momento sin necesidad de apagar el equipo.

Al hablar de los microcontroladores con soporte USB dentro de los que se incluye el pic18f4550, podemos decir que todos estos dispositivos responden a un mismo patrón estandarizado, que más allá de las características propias de cada fabricante, comprende los mismos elementos funcionales.

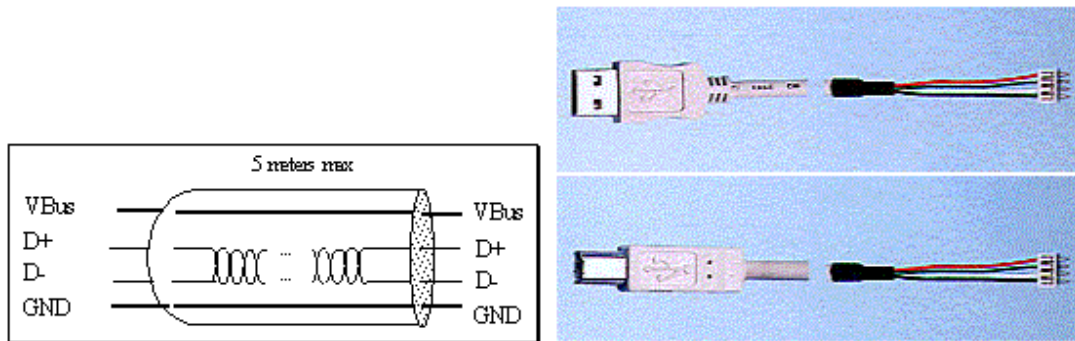
La siguiente figura muestra la estructura interna del controlador de periféricos USB

Figura 42. Estructura interna del controlador de periféricos USB



TRANSCIVER: El cable USB está compuesto por solo cuatro cables: Vbus, D+, D- y GND. La información y los datos se mueven por los cables D+ y D-, con dos velocidades: 12Mbps o 1.5Mbps, un problema serio de comunicaciones si no existe un dispositivo capaz de manejar esta situación. Este es el Transceiver, fabricado dentro del mismo chip controlador de periférico, y puede verse como la interfaz misma de un dispositivo externo contra el resto del sistema.

Figura 43. Cable USB



SERIAL INTERFACE ENGINE - SIE.- El SIE tiene la función de serializar y deserializar las transmisiones, además maneja los protocolos de comunicación, las secuencias de paquetes, el control CRC y la codificación NRZI.

FUNCTION INTERFACE UNIT - FIU.- Este elemento administra los datos que son transmitidos y recibidos por el cable USB. Se basa y apoya en el contenido y estado de los FIFOs (a continuación). Monitorea los estados de las transacciones, los buffer FIFO, y solicita atención para diversas acciones a través de interrupciones contra la CPU del host.

FIFOs.- (primero en entrar – primero en salir).

Ejemplo: El controlador 8x930Ax tiene un total de 8 buffer tipo FIFO, cuatro de ellos destinados a la transmisión y cuatro destinados a la recepción de datos. Tanto para la transmisión como para la recepción, los buffer soportan cuatro tareas o funciones, enumeradas de 0 a 3.

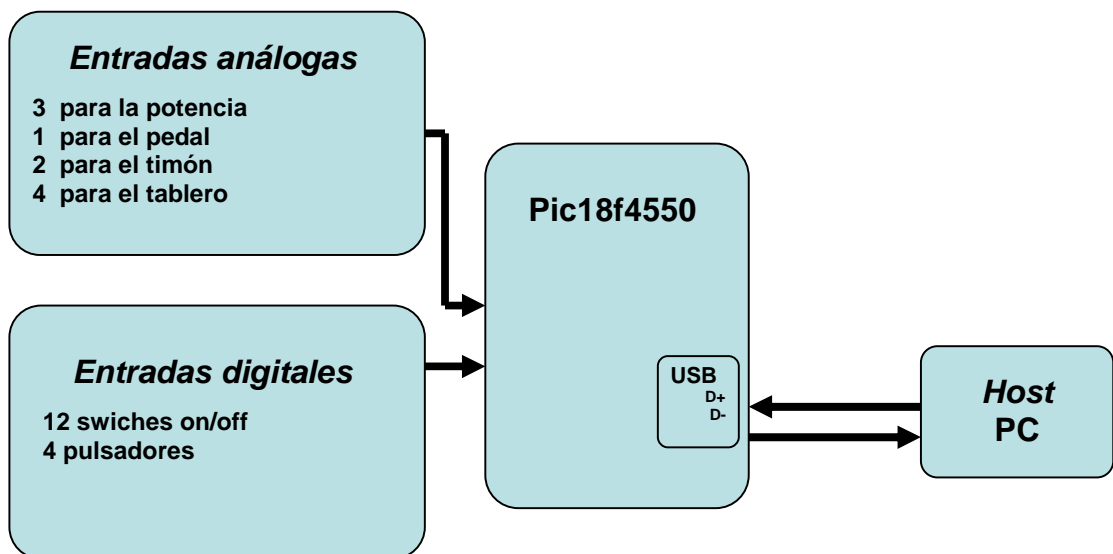
La función 0 tiene reservado en el buffer en espacio de 16 bytes, y se dedica a almacenar información de control relacionada a las transferencias. La función 1 es

configurable para disponer de más de 1025 bytes, y finalmente las funciones 2 y 3 disponen cada una de 16 bytes. Estas tres últimas funciones se emplean para el control de interrupciones y transmisiones tanto isocrónicas como las bulk.

13.2.3. Etapas electrónicas del proyecto. En el proyecto podemos identificar 3 etapas electrónicas diferentes:

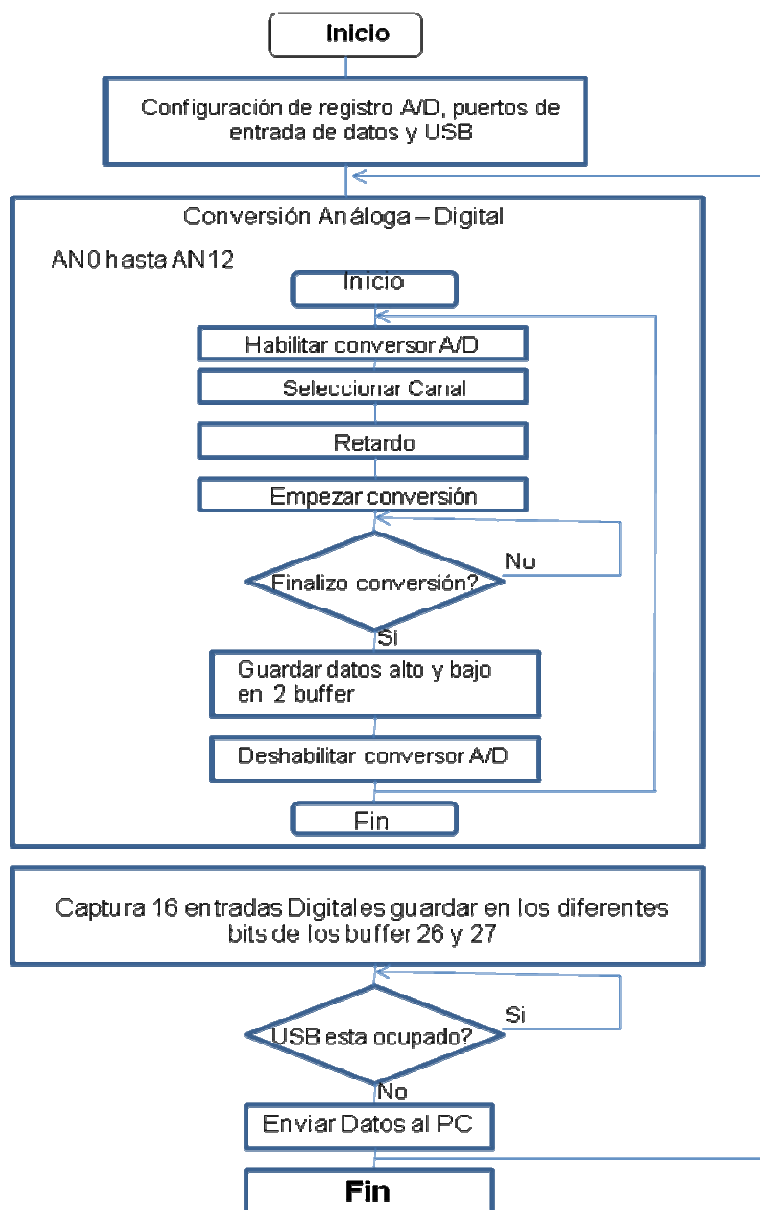
La primera es la etapa de entrada, esta entrega diferentes señales eléctricas relacionadas con los mandos del avión; esta a su vez se divide en dos grupos que son, entradas análogas y digitales. Después de la etapa de entrada ya descrita, viene la etapa de procesamiento que la desarrolla el microcontrolador Pic18f4550 y como su nombre lo dice, procesa las señales de entrada y las envía al PC. Finalmente tenemos la tercera y ultima etapa que es el PC el cual por medio de una comunicación bidireccional con el microcontrolador, enseña la interfaz visual del simulador por medio del programa Flight Simulator.

Figura 44. Diagrama de bloques de las etapas electrónicas



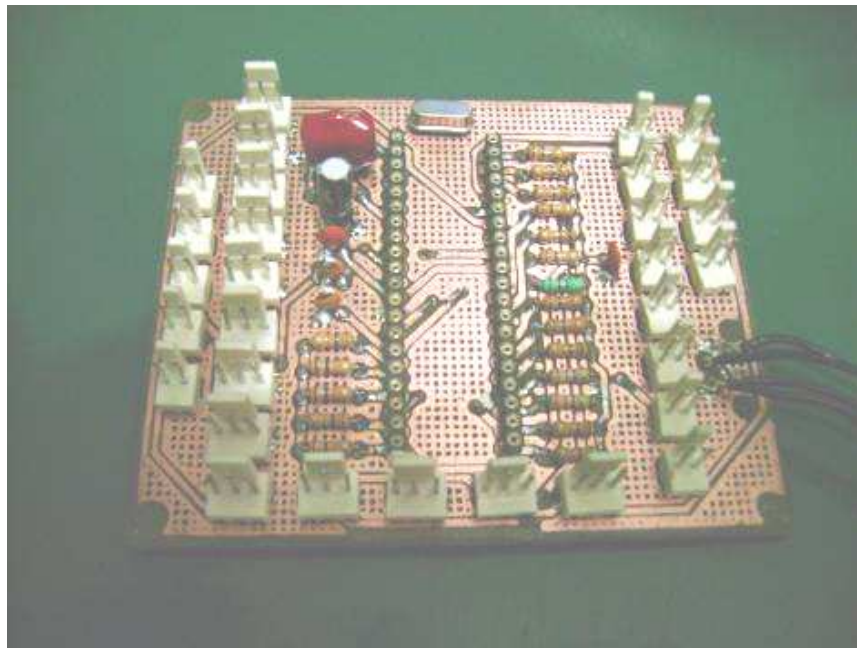
13.2.4. Programa del microcontrolador. El programa quemado en el Microcontrolador para que desarrolle la función que requerimos, se representa en el siguiente diagrama de flujo.

Figura 45. Diagrama de flujo del programa central del Microcontrolador



13.2.5. Circuito electrónico. El circuito desarrollado para la aplicación se observa en la siguiente figura:

Figura 46. Fotografía del circuito



✚ Componentes del circuito

Tabla 14. Componentes circuito

COMPONENTE	CANTIDAD
Microcontrolador Pic18f4550	1
Resistencia 10K	18
Resistencia 22 ohm	2
PTC 10 ohm (resistencia térmica)	1
Condensador 22 pF	2

Condensador 0.1 uF	2
Condensador 1 uF	1
Condensador 470 nF	1
Cristal 20 MHz	1
Conector USB tipo B	1
Conector 3 pines	13
Conector 2 pines	17

14. MANUAL DE USUARIO

Para poner en funcionamiento el Simulador de vuelo T-41D, necesitaras seguir los siguientes pasos:

- **Conecta cada control del simulador a la etapa de procesamiento electrónico**

Conecta según lo siguiente:

- Eje X corresponde al giro del eje del timón
- Eje Y corresponde al traslado del eje del timón
- Eje Z corresponde al desplazamiento de los pedales
- Eje Rx, Ry y Rz, corresponden a las 3 potencias
- Control deslizante o Cont. Corresponde al compensador.
- Hatswich1, Hatswich2, Hatswich3, Hatswich4, corresponden a las perillas ubicadas en el panel junto a los indicadores y al interruptor de 5 posiciones.
- Botón 1...16, corresponden a todos los interruptores y botones de la cabina.

Nota: Ten presente donde se conecto cada control a la hora de la calibración del dispositivo y asignación de funciones en Flight Simulator.

- **Conectar el dispositivo al PC por el puerto USB**

Al hacer esto el PC identificara el dispositivo sin necesidad de ningún Drive externo ya que en su programación los tiene incluidos.

- **Verifica que el simulador este incluido entre los hardware del PC como interfaz de juego.**

Para comprobar que el simulador esta incluido entre los hardwares del PC, siga los siguientes pasos:

- Haga clic con el botón derecho del mouse en el icono de **Mi PC** situado en el escritorio del computador y luego un clic izquierdo sobre **Propiedades**.
- En la ventana **propiedades del sistema**, seleccione la pestaña Hardware y luego de un clic sobre **Administrador de dispositivos**.
- En **Dispositivos de interfaz humana (HID)**, abra los dispositivos contenidos dando clic en el signo + ubicado en la parte izquierda del escrito, aquí verifique que este ubicado **Dispositivo de juego compatible con HID**.

Probar el dispositivo en el juego.

Para probar la calibración del dispositivo de juego en Windows siga estos pasos:

- Inicie Flight Simulator.
- En la pantalla principal, haga clic en **Configuración**.
- En la ficha **General**, haga clic en CUI 1.0 en el cuadro **Dispositivos de juego** y, a continuación, haga clic en **Propiedades**.
- En la ficha **Probar**, pruebe todas las funciones del dispositivo, tanto los ejes como los botones e interruptores, haga clic en **Aceptar**.
- Haga clic en **Calibrar joystick** y siga las instrucciones que aparecerán en la
- pantalla.

Nota: Si la opción **Calibrar joystick** no está disponible, haga clic en **Habilitar joystick** y, de nuevo, en **Calibrar joystick**.

1. Asignar acciones a los ejes, botones e interruptores

Para asignar manualmente una acción a un botón o a un eje de un dispositivo de juego, en nuestro caso el CUI 1.0, siga estos pasos:

- Inicie un nuevo vuelo en Flight Simulator.
- En la pantalla principal haga clic en **Configuración**,
- En el cuadro **Controles**, haga clic en **Asignaciones**.
- Para asignar sucesos a los botones del dispositivo de juego, haga clic en la ficha **Botones o teclas**.
- Para asignar sucesos a los ejes del dispositivo de juego, haga clic en la ficha **Ejes del joystick**.
- En el cuadro **Tipo de joystick**, haga clic en el dispositivo de juego.
- En la columna **Suceso**, haga clic en la línea de un suceso que desee asignar a un botón o a un eje del dispositivo de juego y, a continuación, haga clic en **Cambiar asignación**.
- En el dispositivo de juego, presione el botón o mueva el eje que desee utilizar para la acción seleccionada.

Nota: Para una mayor información de resolución de problemas, diríjase a la página Web: <http://support.microsoft.com/kb/315926/es#top>.

15. CONCLUSIONES

- Se entendió el funcionamiento básico de un avión T41-D.
- En la ejecución de este proyecto se conoció y entendió los distintos procesos de manufactura utilizados para la elaboración de piezas y subsistemas mecánicos para la parte físico mecánica de la cabina.
- Con base en otros diseños de cabinas se logro entender la metodología para la construcción de las mismas.
- La utilización de materiales de otras aeronaves fuera de servicio nos permitió bajar los precios de diseño y además enriqueció nuestra capacidad de recursividad.
- Se reforzó y aprendió mas acerca de el diseño y análisis mecánico de ingeniería, para la resolución de problemas de tipo mecánico como el diseño de ejes, diagramas de fuerzas y momentos cortantes, deformación angular, etc.
- Se tuvo una experiencia práctica al desarrollar piezas mecánicas por nosotros mismos, utilizando la ayuda de sistemas CAD y maquinas herramientas, lo cual es una riqueza para nosotros como potenciales desarrolladores de dispositivos Mecatrónicos.
- Se desarrollo el simulador de vuelo para el avión T-41D.

- La comunicación entre el Microcontrolador y el PC por medio de periférico USB, es algo nuevo para nosotros y se alcanzaron los objetivos; ya que se logro entender todo lo necesario para que esta se realice y que tanto podemos hacer con esta y las muchas herramientas de los HID (dispositivos de interfaz humana)

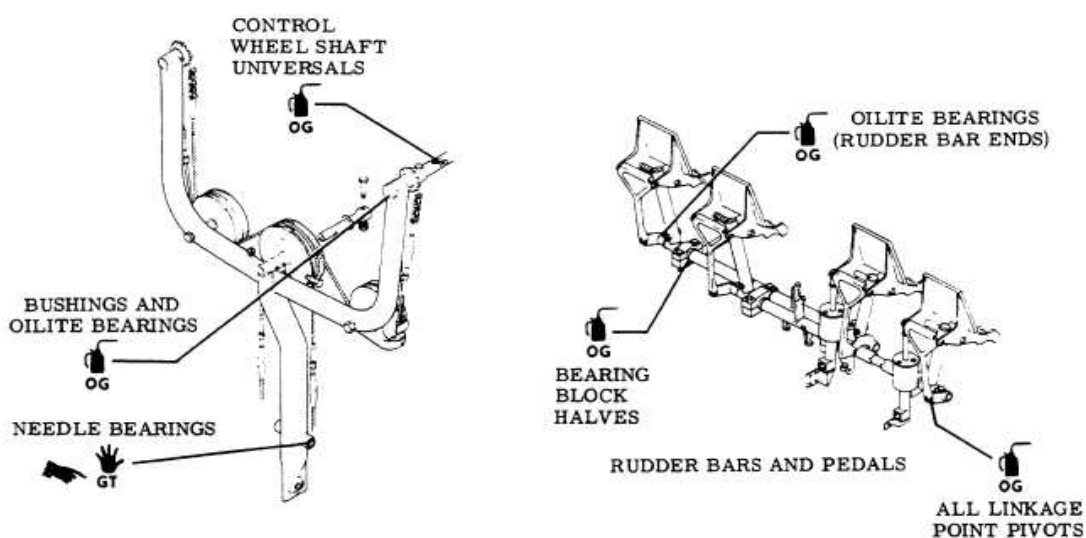
16. RECOMENDACIONES

- Antes de usar el simulador lea el manual de usuario
- Programar una rutina de mantenimiento preventivo general (mecánico-electrónico) mensual.
- La lubricación es muy importante sobre todo para los elementos conectados a partes móviles, en este caso giratorias para la correcta lectura de datos en los potenciómetros y la vida útil de los elementos.

Esta lubricación debe hacerse mínimo cada 30 días calendario.

Se recomienda aceite para los siguientes elementos:

Figura 47. Partes de la cabina recomendable aceitar cada 30 días



- **Aceites y grasas para aviación:**

Tabla 15. Aceites y grasas para aviación

TEM	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE COMERCIAL	PRESENTACION A OFERTAR
1	ACEITE	MIL 100	AEROSHELL W-100	CAJA 12 QTS
2	ACEITE	MIL-PRF-23699F-STD	MOBIL JET II	CAJA 24 QTS
3	ACEITE	MIL-H-5606	ROYCO 756	CAJA 24 QTS
4	ACEITE	MOBIL FLUID 424	MOBILFLUID 424	QTS
5	GRASA	MIL-G-81322A - MIL-PRF-81322	AEROSHELL 5	CANECA 6.6 LBS
6	GRASA	MIL-G-24139	AEROSHELL 6	CANECA 6.6 LBS
7	GRASA	MIL-G-23827	AEROSHELL 7	CANECA 6.6 LBS
8	GRASA	MIL-PRF-81322F MIL-G-81322D	AEROSHELL 22	CANECA 6.6 LBS
9	GRASA	MIL-PRF-23827C	AEROSHELL 33	CANECA 6.6 LBS
10	GRASA	SAE-AMS-G-4343 MIL-G-4343C	AEROSHELL 43C	CANECA 35 LBS
11	GRASA	MILG-81322E	MOBIL 28	CANECA 5 LBS
12	GRASA	POWDERED GRAPHITE SS-G-659A	-	TARRO 1 LIBRA
13	GRASA	MIL-G-16173D GRADE 2	-	CANECA 5 GAL
14	GRASA	MIL-G-6032D	ROYCO 32	TARRO 1.75 LBS
15	LUBRIC ANTE	MIL-PRF-7870C	ROYCO 363	CANECA 5 GAL
16	LUBRIC	DRY MOLY	FORCE 842	TARRO 11 OZ.

- Mantener la cabina en un lugar fresco y seco para evitar el recalentamiento y humedad de los dispositivos electrónicos (15°C – 25°C), y su funcionamiento sea optimo.
- Las configuraciones y calibraciones para uso de la cabina (parte física y software), debe hacerse por una persona calificada.
- Al encontrarse partes defectuosas reemplácelas.

BIBLIOGRAFIA

Apuntes Pic y programación para el 18F4550 [en línea]: Algunos piques para la programación del Pic 18F4550. Ciudad de México: Pablo Hoffman, 2005. [consultado 10 de febrero de 2007]. Disponible por internet: <http://pablohoffman.com/cgi-bin/twiki/bin/view/Oscusb/DisenoPicProgramacion>

Ayuda y soporte técnico [en línea]: Solucionar problemas de joystick en Flight Simulator. Microsoft, 2007. [consultado 15 de marzo, 2007]. Disponible por internet: <http://support.microsoft.com/kb/315926/es#top>

BAUMEISTER, Theodore; AVALLONE, Eugene. Manual Del Ingeniero mecánico. 4 ed. Barcelona: Mc Graw Hill, 1990. 956 p.

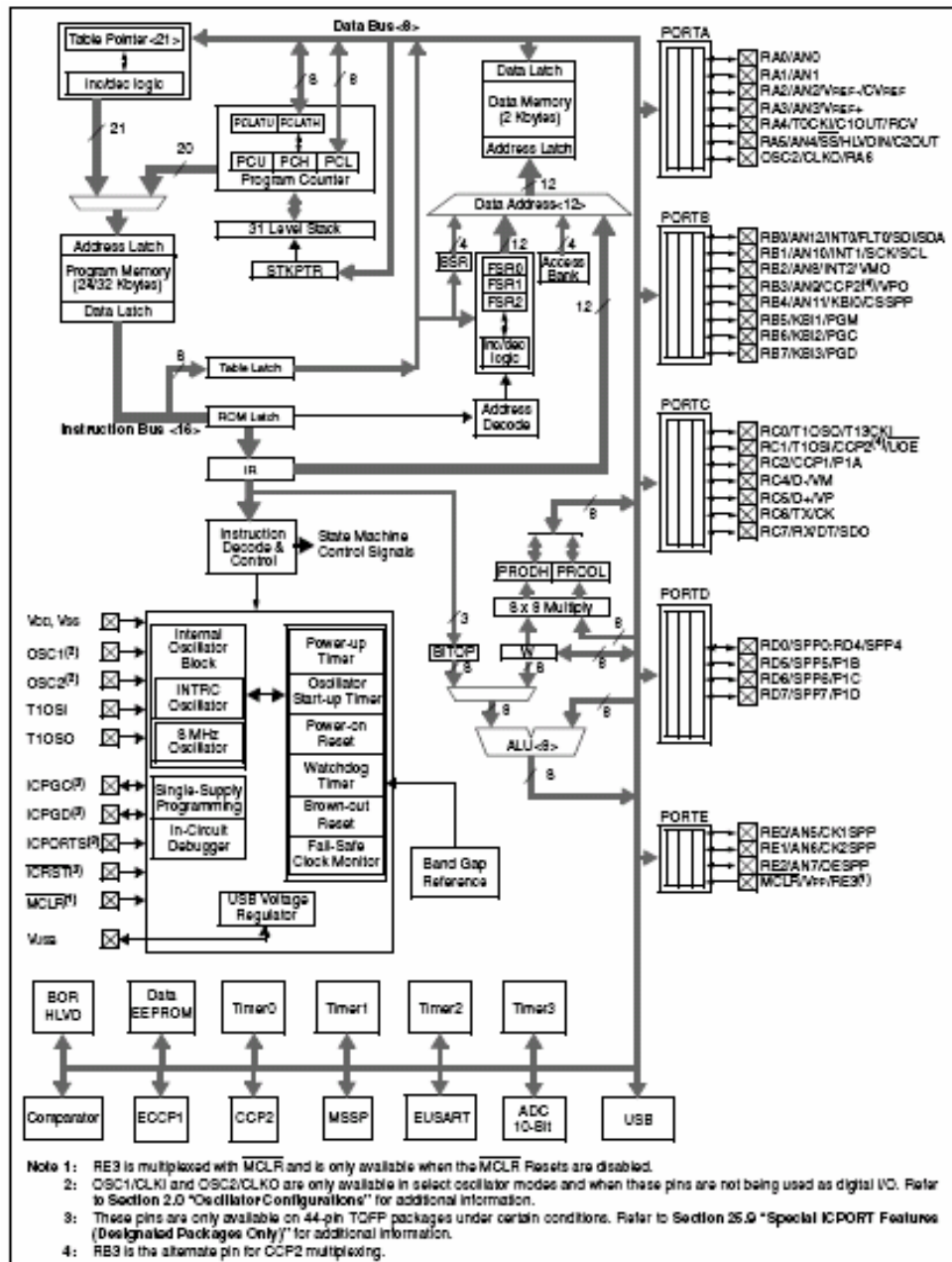
Interfaz USB genérica para comunicación con dispositivos electrónicos [en línea]: Jhon Jairo Vásquez, 2006. [consultado 01 de marzo, 2007]. Disponible por Internet: http://www.fing.edu.uy/~pgusb/Docs/Presentacion_Avance.pdf

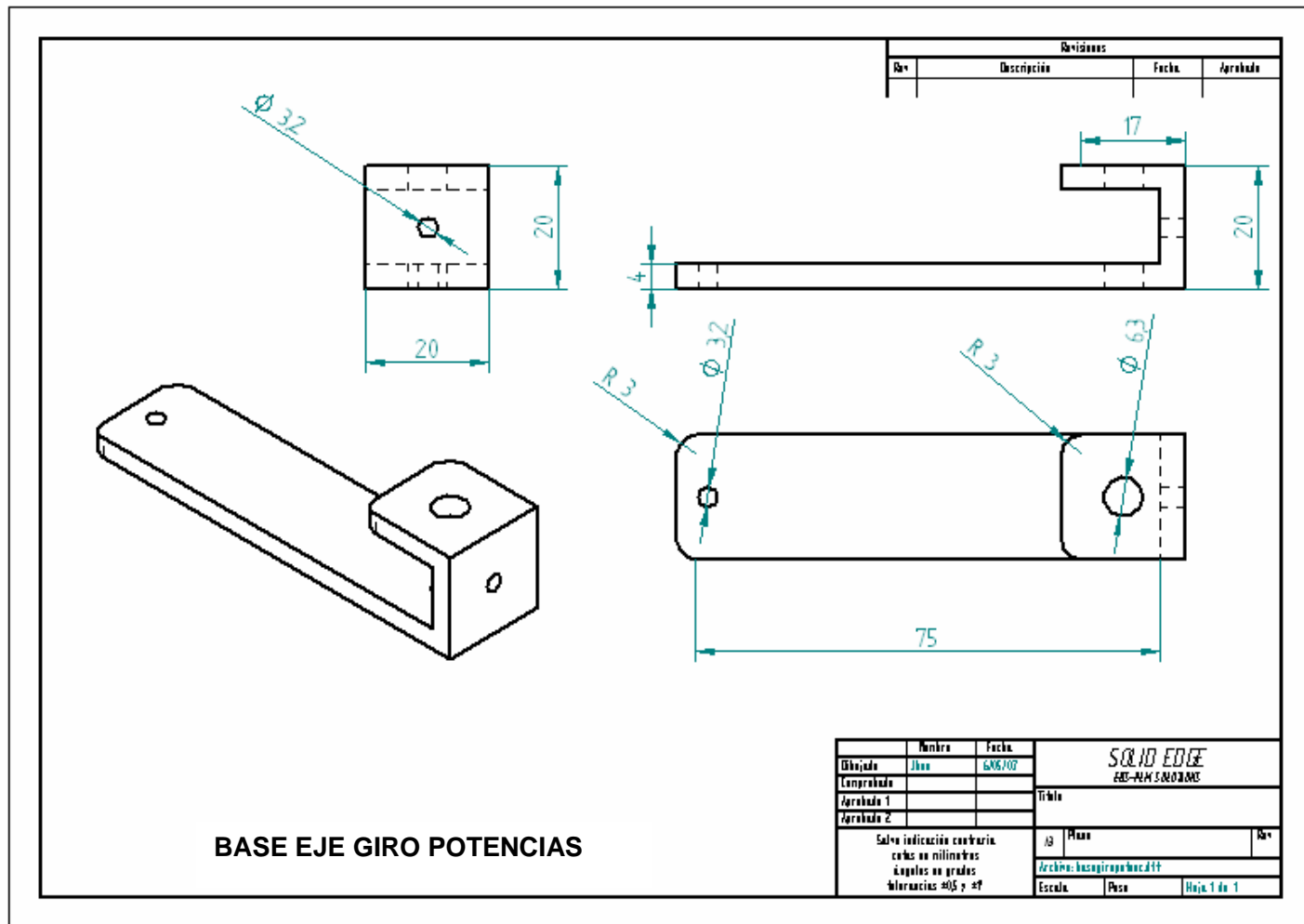
NORTON, Robert L. Diseño De Maquinas. México: Prentice-Hall, 1999. 1048 p.

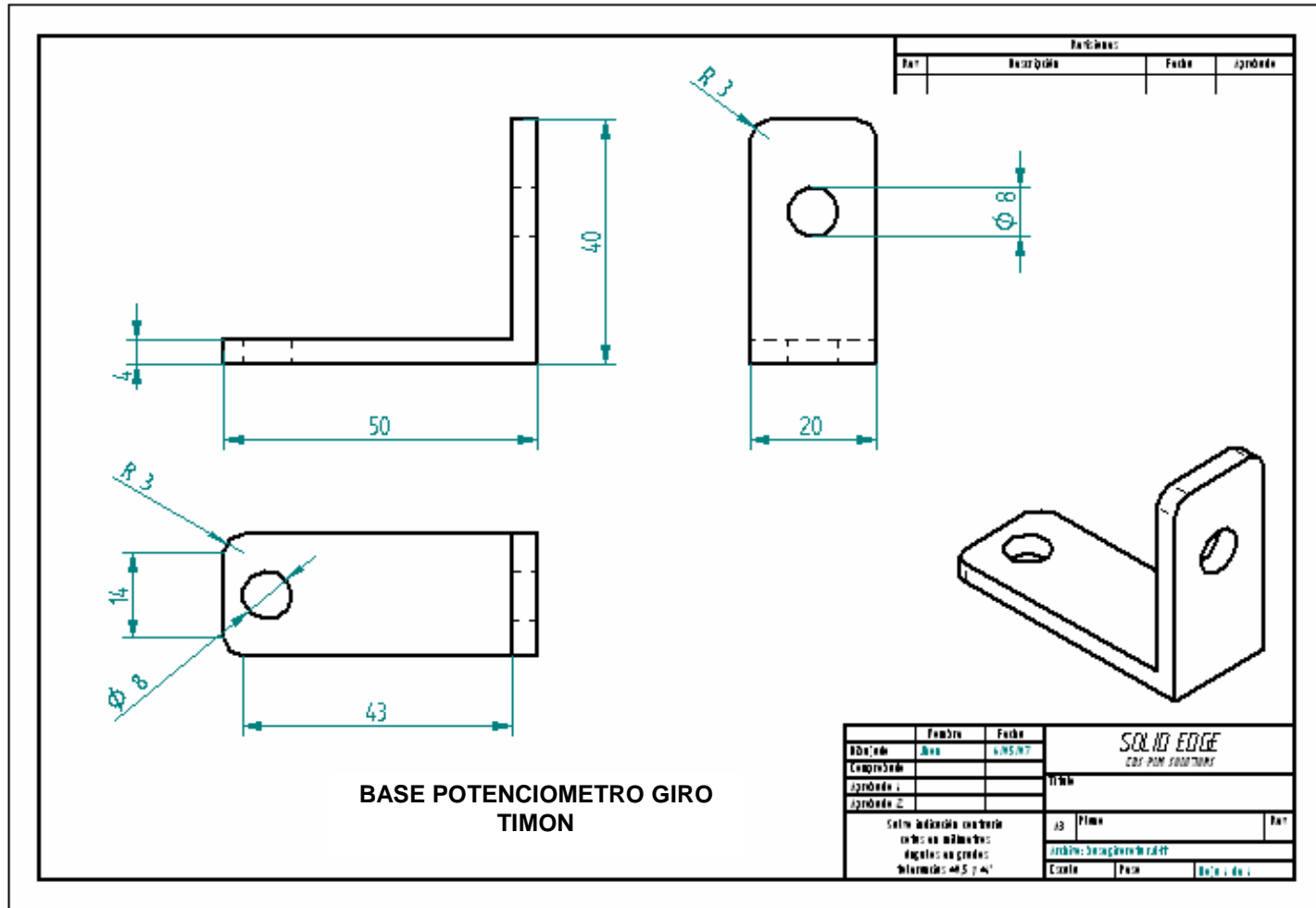
The create USB interface [en línea]: Where art meets electronics. Santa Barbara: Center for Research in Electronic Art Technology, 2006. [consultado 20 de Marzo, 2007]. Disponible por internet: <http://www.create.ucsb.edu/~dano/CUI/>

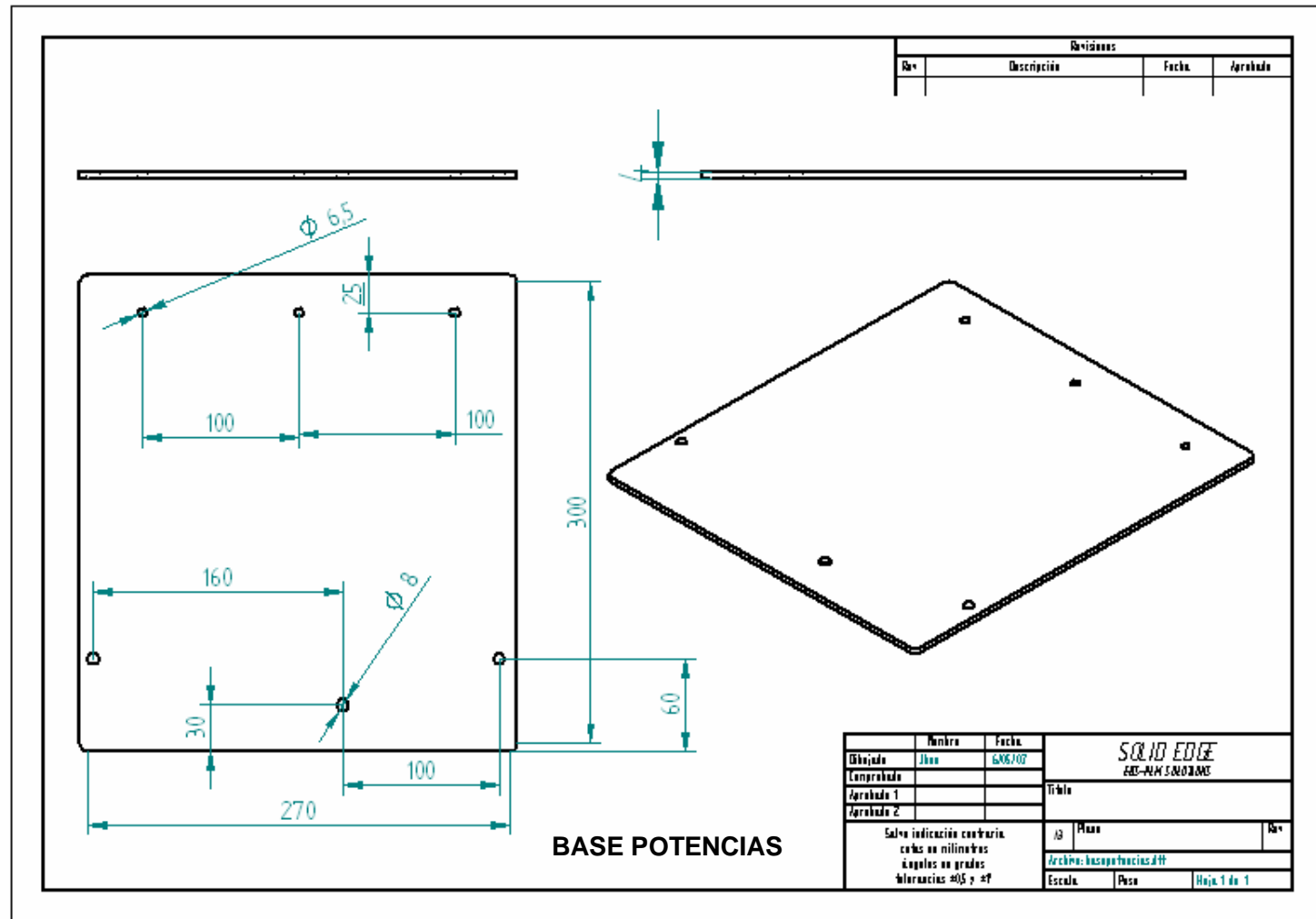
ANEXOS

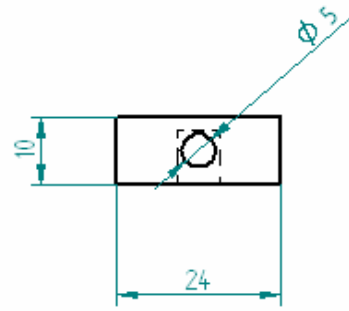
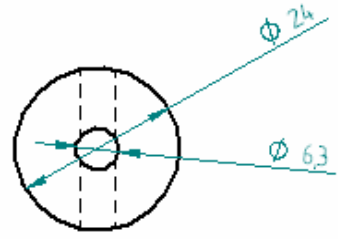
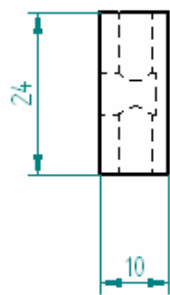
A. Esquemático Pic18f4550







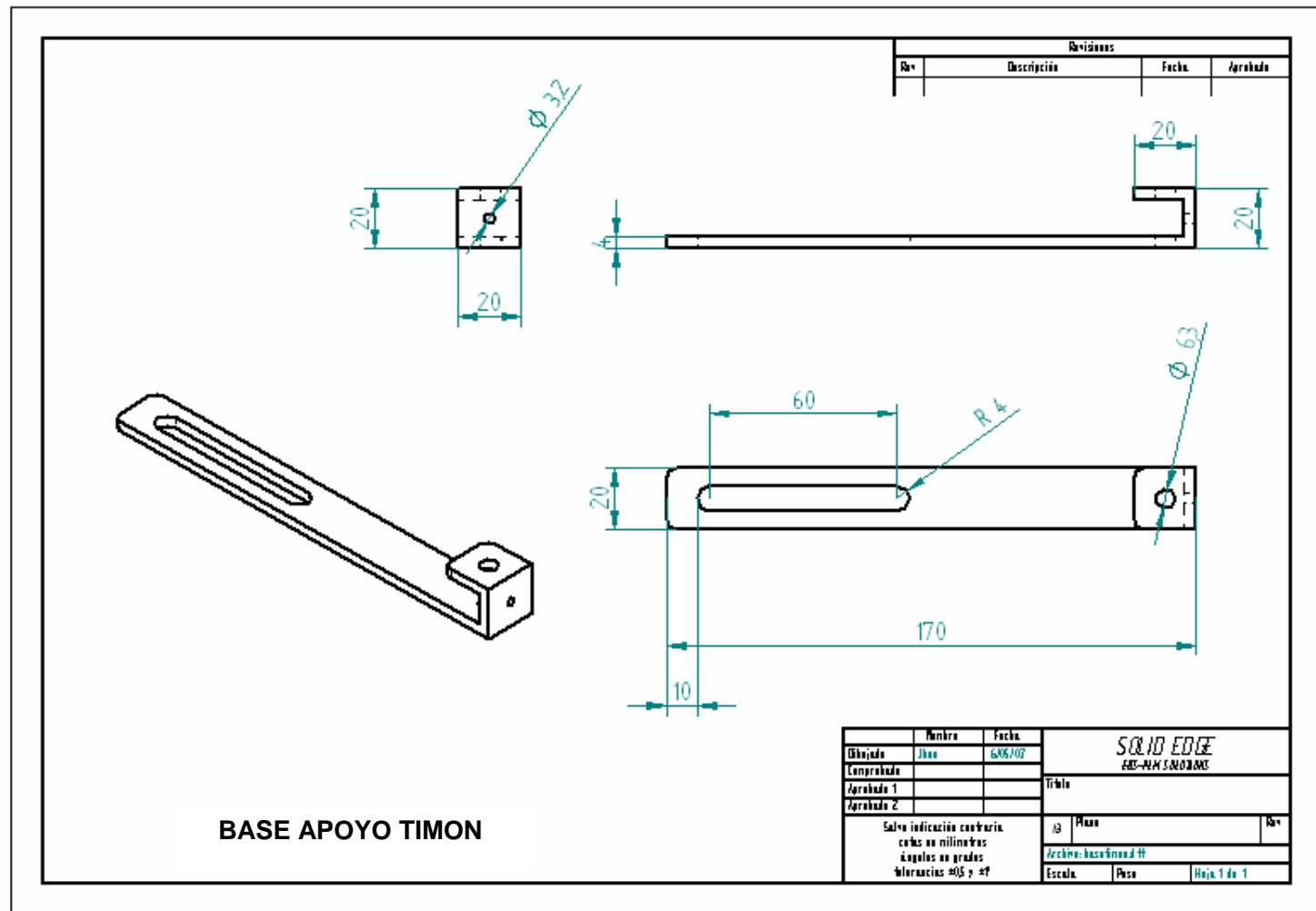


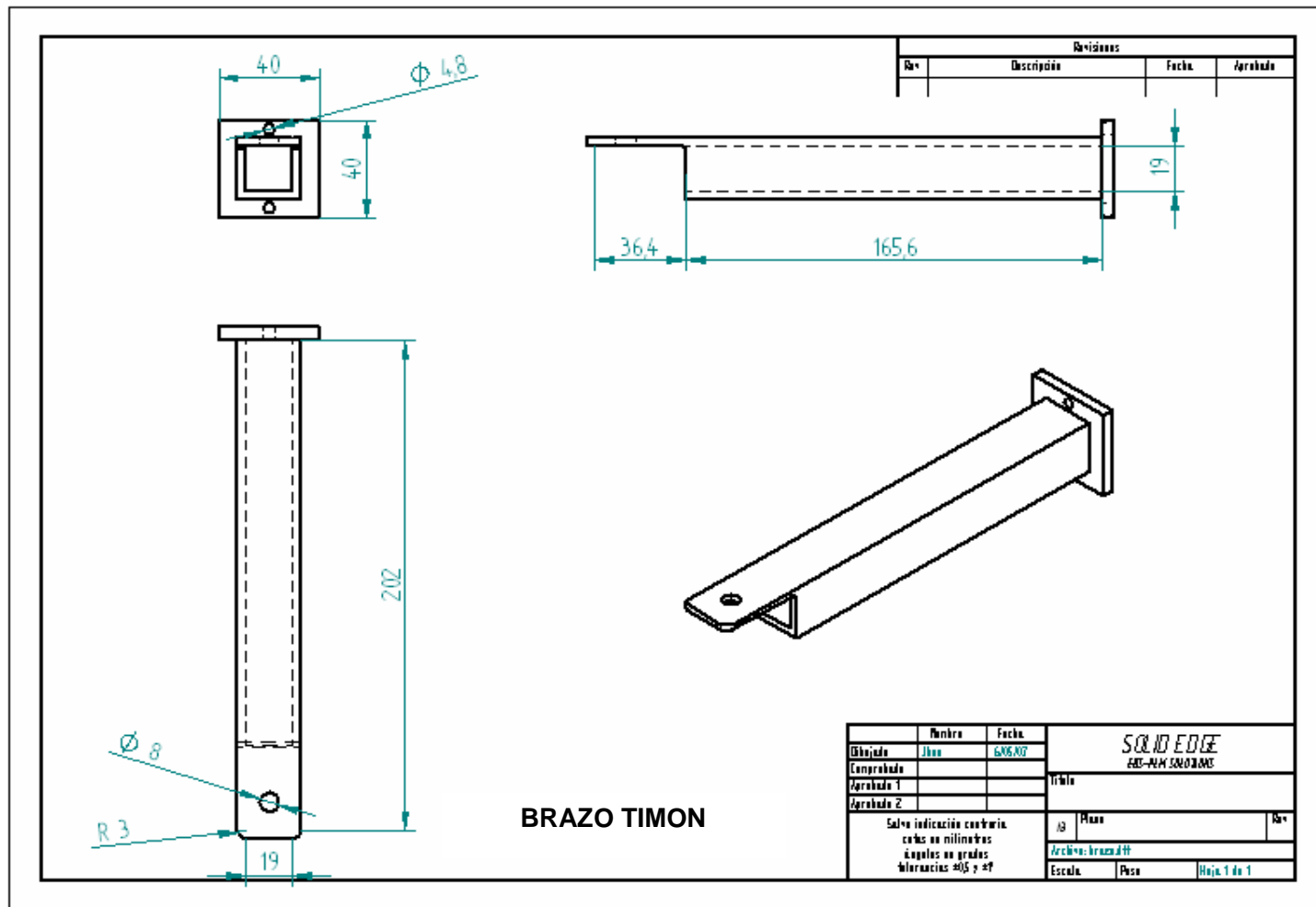


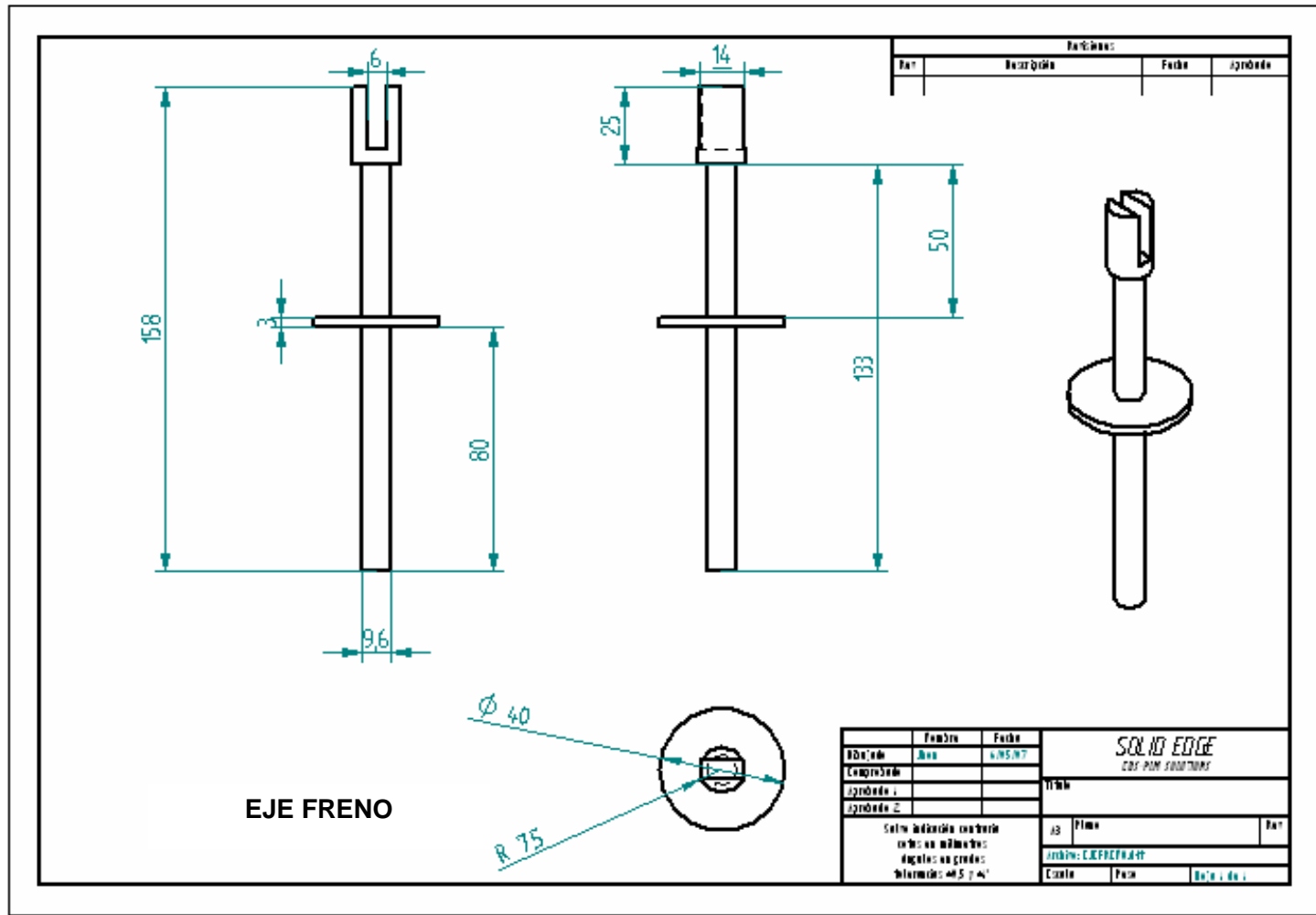
Revisión			
Nº	Descripción	Fecha	Aprobado

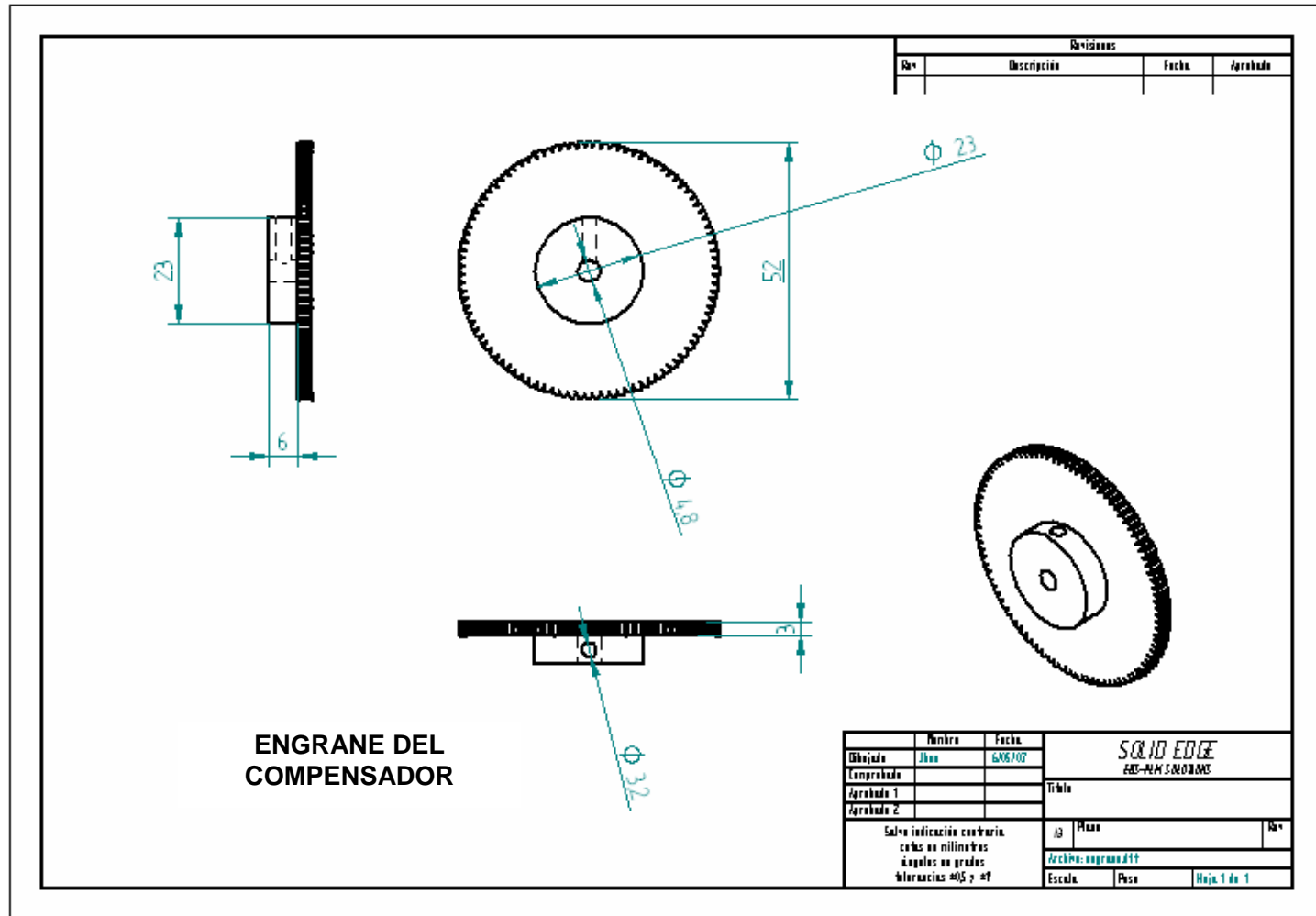
BASE GIRO TIMON

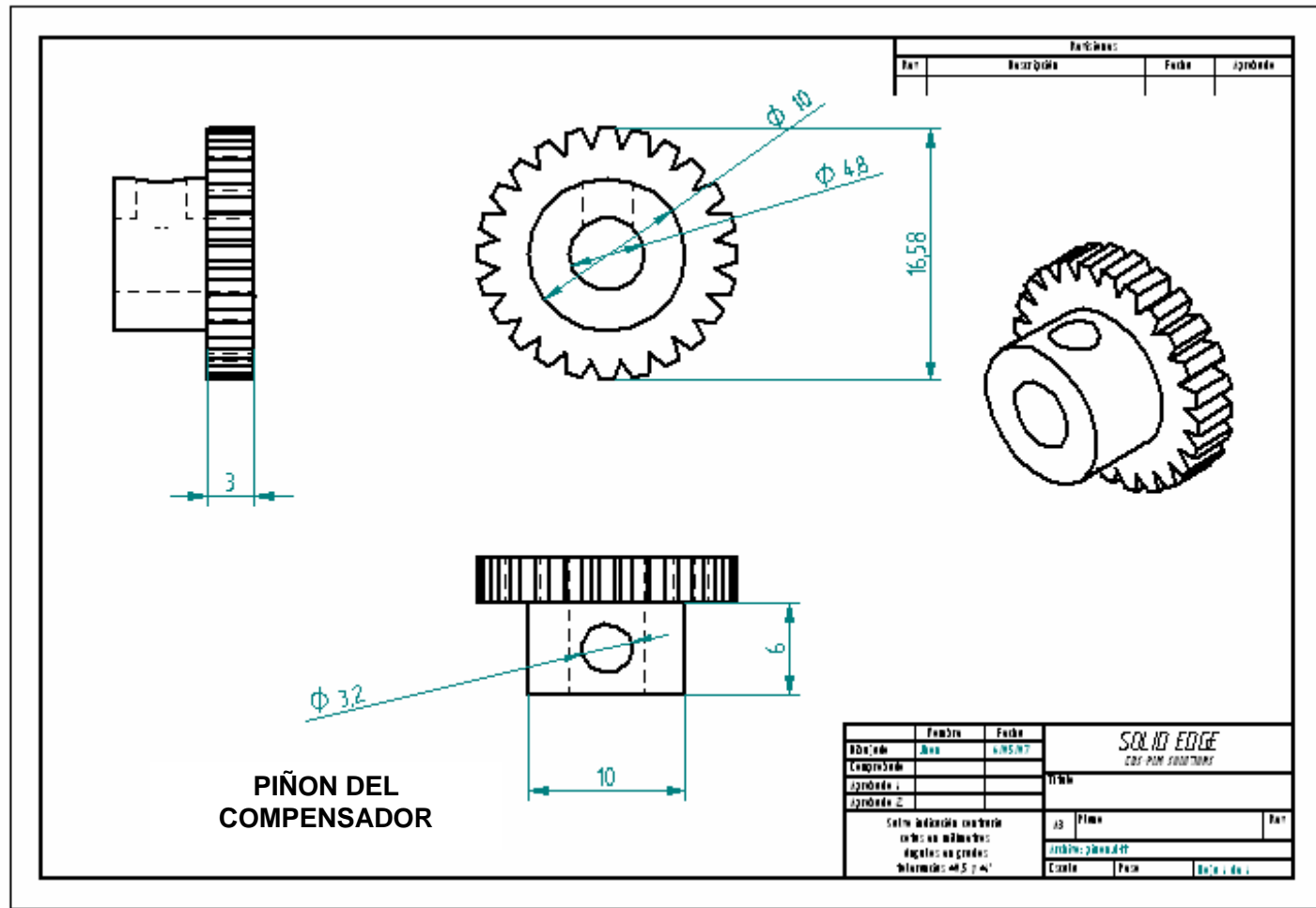
Elaborado	Nombre	Fecha	SOLID EDGE	
Comprobado	Juan	6/06/07	E02-ALM SINDIARIS	
Aprobado 1			Título	
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria: cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±0.1			13	100
			Archivo: basegir.ttt	
			Escala:	Peso
			Hoja 1 de 1	











C. Esquemático Circuito eléctrico

