

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar al título de INGENIERO AERONÁUTICO.
2. **TÍTULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN INDICADOR DE VELOCIDAD VERTICAL PARA EL BANCO DE AVIONICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN BUENVANETURA, SEDE BOGOTA
3. **AUTORES:** David Eduardo Higuera Contreras – Laura Tatiana Saenz Reyes
4. **LUGAR:** Bogotá D. C
5. **FECHA:** febrero de 2019
6. **PALABRAS CLAVES:** Indicador de velocidad vertical, programación, microcontrolador, visual basic, proteus
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El indicador de velocidad vertical, es uno de los seis instrumentos fundamentales para la adecuada navegación aérea, este instrumento de vuelo permite indicar ascensos y descensos de la aeronave, y con su principio de funcionalidad se busca diseñar uno acorde para el banco de aviónica de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá. En el proceso de desarrollo se realizaron los tres tipos de diseño, para poder obtener un instrumento completamente funcional, además de esto se realizó una programación por medio de Visual Basic para crear un programa, sencillo y amigable con el usuario, que permitiera entender la principal función de dicho instrumento.
8. **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Sistemas de aeronaves y teledetección.
9. **METODOLOGÍA:** La metodología de trabajo se desarrolla dentro de un enfoque empírico, utilizando herramientas computacionales de programación, diseño asistido (CAD).
10. **CONCLUSIONES:** (1) En el prototipo final del instrumento tuvo que utilizarse un microcontrolador PIC 18F4550 ya que el 16F887 que estaba presupuestado a usarse inicialmente, su capacidad de memoria y de procesamiento de datos era insuficiente para el procesamiento y graficas de los datos en la pantalla LCD. (2.) Para realizar la simulación del funcionamiento del circuito, fue necesario programar el microcontrolador bajo lenguaje de C+ para poder realizar la conexión entre este y la interfaz del programa para el funcionamiento completo del instrumento de vuelo.

Diseño y Construcción de un Indicador de Velocidad Vertical para el Banco de Aviónica de la Universidad de San Buenaventura, Sede Bogotá

**David Eduardo Higuera Contreras
Laura Tatiana Saenz Reyes**

**Universidad de San Buenaventura, Sede Bogotá.
Facultad de Ingeniería.
Programa de Ingeniería Aeronáutica
Bogotá, Colombia
2019**

Diseño y Construcción de un Indicador de Velocidad Vertical para el Banco de Aviónica de la Universidad de San Buenaventura, Sede Bogotá

**David Eduardo Higuera Contreras
Laura Tatiana Saenz Reyes**

MBA Aspirante. Víctor Kenry Cruz

**Universidad de San Buenaventura, Sede Bogotá.
Facultad de Ingeniería.
Programa de Ingeniería Aeronáutica
Bogotá, Colombia
2019**

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá porque estuvo ahí desde el inicio, siempre me apoyo y fue la única que creyó en mi cuando nadie más lo hacía incluso yo. A una persona muy especial que ya no está presente, pero se hubiera sentido muy orgulloso de mí.

A mi compañero de proyecto de grado por su indudable paciencia durante todos estos meses y su apoyo constante; a todos aquellos que estuvieron conmigo durante este tiempo desde el primer momento en la carrera hasta el final, ya que todos dejaron algo importante una enseñanza o una lección aprendida.

Tatiana Saenz

Agradezco a mis papas por todo el apoyo, empeño y amor que me entregaron en cada uno de los momentos de mi vida, porque sin ellos nada de esto hubiera podido suceder, porque cada uno a su manera siempre ha sacrificado sus cosas por darnos los mejor y que nunca nos haga falta nada.

A mis hermanos a los cuales he tomado como ejemplo porque cada uno de ellos tiene grandes cualidades y hacen que los admire a mi manera.

A Fanny, mi abuelita porque con su amor y cariño siempre ha estado ahí para todos nosotros con sus palabras de ánimo.

A Maria Alejandra por todo su apoyo y paciencia en los días que necesitaba de su ayuda, porque con sus palabras y con sus actos me mostraba que si se podía lograr.

Y a las demás personas y familiares que ayudaron a su manera en todo este proceso.

¡Gracias a todos!

David Higuera

Tabla De Contenido

iv

INTRODUCCIÓN	2
Capítulo 1	3
Antecedentes	3
Planteamiento del problema.....	8
Justificación y pregunta de Investigación	9
Objetivo General	10
Objetivos Específicos.....	10
Alcances y Limitaciones	10
Marco Conceptual	12
Metodología	25
Capítulo 2.....	29
Desarrollo de Ingeniería.....	29
Capítulo 3.....	67
Análisis de Resultados	67
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS.....	75
Anexo I.....	1

Lista de tablas

v

Tabla 1. TTabla 1. Verificación de conexión de pines	27
Tabla 2. Requerimientos del banco de aviónica de la Universidad de San Buenaventura	35
Tabla 3. Alturas por presión y presiones para temperaturas ISA	46
Tabla 4. Alturas por presión y presiones correspondientes para ISA +10.....	47
Tabla 5. Clasificación de los tipos de PCB.....	61
Tabla 6. Clasificación anchos de caminos en las PCB	61

Lista de Figuras

vi

Figura 1. Diseño del Banco de Aviónica. (Cely, Ojeda, & Jiménez, 2008)	17
Figura 2. Indicador de velocidad vertical por membrana (Muñoz, s.f.)	23
Figura 3. Arquitectura de un microcontrolador (Pallas, 2007)	30
Figura 4. Esquema de metodología.....	34
Figura 5. Ciclo de diseño para el indicador de velocidad vertical	35
Figura 6. Biblioteca componentes electrónicos en Proteus	40
Figura 7. Componentes Electrónicos	40
Figura 8. Microcontrolador PIC 16f887.	41
Figura 9. Esquema final del circuito utilizado	42
Figura 10. Conexión entre el microcontrolador y la pantalla LCD	43
Figura 11. Montaje del circuito en protoboard	43
Figura 12. Interfaz de la sección serial software simulador HERCULES	44
Figura 13. Esquema del programa caza fallas	46
Figura 14. Interfaz de entrada del software del instrumento	50
Figura 15. ISA+5 sección caza fallas.....	51
Figura 16. Cuadro de advertencia de lectura de datos	52
Figura 17. Esquema de programación para cada módulo de desviación estándar.....	53
Figura 18. Arquitectura del Software caza fallas.....	53
Figura 19. Resultados obtenidos	55
Figura 20. Servicio de ayuda del software.....	56
Figura 21. Módulo de importación de Datos	57
Figura 22. Conexión del circuito a simular.....	59
Figura 23. Diseño preliminar del circuito en la PCB.....	60
Figura 24. Vista en 3D del circuito en la PCB.....	61
Figura 25. Vista superior de las conexiones de los componentes electrónicos	61
Figura 26. Ensamble Diseño Hardware 1	63
Figura 27. Ensamble Diseño Hardware 2	64
Figura 28. Ensamble Diseño Hardware 3.	65
Figura 29. Ensamble Diseño Hardware 4	66
Figura 30. Montaje electrónico	68
Figura 31. Vista superior del ensamble.....	68
Figura 32. Vista posterior del ensamble	69
Figura 33. Vista isométrica del instrumento	69
Figura 34. Resultados obtenidos para temperaturas estándar	70
Figura 35. Ventana del módulo graficador	72
Figura 36. Mensaje de alerta puerto COM incorrecto	72
Figura 37. Envío de datos para su graficación.....	73
Figura 38. Visualización del resultado obtenido.....	73

Nomenclatura

VSI: Vertical Speed Indicator

RTS: Request to Send

CTS: Clear to Send

DTR: Data Terminal Ready

DSR: Data Set Ready

RSLD: Receive Signal Line Detect

TD: Transmit Data

RD: Recieve Data

LCD: Liquid Cristal Display

PCB: Printed Circuit Board

TXD: Datos Transmitidos

RXD: Datos Recibidos

PIC: Microcontrolador

CPU: Central de Procesamiento

RAM: Random Access Memory

ROM: Read Only Memory

CCS: Software de Compilación

ISA: International Standard Atmosphere

COM: Puerto Serial

EFIS: Electronic Flight Instrument System

INTRODUCCIÓN

La evolución en los sistemas de navegación y la migración de lo análogo a lo digital en la aviación ha generado retos profesionales que buscan ser abarcados por las instituciones universitarias con programas de formación para este sector de la industria. De este modo, la implementación de un banco de aviónica en la Universidad de San Buenaventura se convierte en una prioridad, con el fin de incluir los instrumentos de vuelo necesarios para poder estudiar así su comportamiento, estructura y funciones. La implementación de dicho banco de aviónica y de sus instrumentos permitirá a los estudiantes tener un acercamiento a la capacitación de materias como principios de electrónica, electrotecnia e instrumentos y equipos de abordaje, la cual representa una necesidad latente en el programa. Con el desarrollo del indicador de velocidad vertical y de los demás instrumentos construidos por estudiantes, se logrará realizar dicho acercamiento y aportando en un futuro, al entrenamiento en condiciones simuladas de vuelo cuando todo el banco de aviónica esté disponible para la emulación de dichas condiciones.

Con el fin de realizar un correcto seguimiento de la metodología y evidenciar el paso a paso trabajado en el desarrollo de ingeniería, este se dividió en tres fases fundamentales, las cuales son: diseño conceptual, en el cual se abarcará todo lo relacionado con la selección de componentes electrónicos del instrumento de vuelo y primeras pruebas de funcionamiento por medio de softwares especializados. El segundo, el diseño preliminar, indicará el proceso para el montaje del circuito en la protoboard y su prueba de funcionamiento en físico, además de trabajar la programación del control de fallas.

Por último, la tercera fase será el diseño detallado, en el cual se involucra el proceso de diseño del hardware o caja de contención, selección del proceso de construcción, materiales y

formas de sujeción para cada una de las piezas y programación del sistema que compone el indicador de velocidad vertical, se realiza este documento donde se reúne todo lo anteriormente mencionado. Y por consiguiente, cada una de las partes por separado tendrá un alcance dentro del proyecto y de manera final concluirán en el correcto funcionamiento del instrumento.

Capítulo 1

Antecedentes

A continuación, se presentarán diferentes investigaciones realizadas en el campo del desarrollo de instrumentos de vuelo y bancos de aviónica a nivel internacional, nacional y local. Cabe resaltar que no se hará un énfasis en proyectos enfocados al indicador de velocidad vertical, debido a que las investigaciones sobre este instrumento son muy escasas y las encontradas se enfocan de manera general en el grupo de instrumentos de vuelo, más no en uno específico. Por último, se presentará el planteamiento del problema y la pregunta problema en la cual se basará la investigación.

Antecedentes Internacionales

A nivel internacional, uno de los antecedentes enfocados en los instrumentos de vuelo es el proyecto trabajado por Néstor Peña Giménez en el año 2005 para la Universidad Politécnica De Catalunya, llamado Representación De Instrumentos Básicos De Vuelo; este trabajo pretendía dar una introducción acerca del funcionamiento de los instrumentos básicos de navegación, a través de la explicación de su reacción a las maniobras realizadas en el avión. Para así poder explicar las diferentes variables que se deberían tener en cuenta para programar dichos instrumentos en formato digital.

Como planteamiento del problema, se tuvo al momento de la representación digital de los instrumentos de vuelo, que se podría llegar a tener una falla la calibración de los instrumentos y hacer que el funcionamiento de los aparatos no sea el adecuado.

El resultado final de dicho proyecto pretendió generar un conocimiento en medios de programación en Java, específicamente en Java 2D, para el desarrollo de los códigos fuente, en primera incursión en el lenguaje Java. (Gimenez, 2005).

Otro de los antecedentes a nivel internacional fue la propuesta de Digitalización de la T Básica de Instrumentos de Vuelo para un ultraligero, trabajado por Jorge Miguel Lozada Villanueva y Alonso Ibrael Mejía Pérez en el año 2013 para la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la ciudad de México; con ese trabajo, se buscaba realizar una propuesta en la modificación de los instrumentos de vuelo para este tipo de aviones por medio de un cambio de lectura de dichos instrumentos de análogo a manera digital en una pantalla LCD; el documento cuenta con el siguiente objetivo: “Realizar una propuesta de modificación de la T básica de instrumentos de vuelo de un avión ultraligero, la cual consiste en digitalizar las señales de los instrumentos analógicos y presentarlas en una pantalla LCD, reduciendo así el espacio en el tablero de instrumentos”. Y con tres objetivos específicos, así:

- Dar una introducción de los instrumentos que conforman la T básica de vuelo, así como su función y la evolución que han tenido.
- Realizar los programas en el software PCW, con el que se convertirían las señales analógicas a digitales.

- Presentar el circuito electrónico gráfico en el software PROTEUS ISIS 7.6 que controlara la conversión de las señales, sobre el cual se montara el programa. (Lozada & Mejia, 2013)

Otro proyecto relacionado a nivel internacional con los instrumentos de vuelo es el Análisis De Los Sistemas De Aviónica, Control Electrónico Y Eléctrico De La Aeronave Modelo Rv-10 Y Desarrollo Del Manual De Instalación Del Arnés Eléctrico Y Electrónico, trabajado por Christian Rene Zabala Tabango en el año 2013 para la Universidad de las Fuerzas Armadas De Ecuador; con este trabajo se buscaba mostrar los resultados de análisis de la aeronave RV-10, en su estructura, sus características operacionales, el sistema de instrumentación, el sistema de navegación y vuelo; con el fin de comprender básicamente el funcionamiento de cada subsistema que interactúa mediante el arnés eléctrico y electrónico. (Tabango, 2013)

Planteando como objetivo general: “analizar los sistemas de aviónica, control electrónico y eléctrico de la aeronave RV-10 y desarrollar el manual de instalación del arnés eléctrico y electrónico”.

Este proyecto cuenta con seis objetivos específicos, los cuales son:

- Analizar las características operacionales de la aeronave RV-10.
- Analizar y comprender los sistemas de instrumentación.
- Analizar la parte estructural del RV-10.
- Comprender el funcionamiento de la planta motriz.
- Analizar y comprender el uso de las herramientas adecuadas.

- Aportar al desarrollo industrial y eficiencia productiva de F.O.R Aviation presentando al mercado un arnés acorde a las exigencias y estándares tecnológicos de calidad de la industria aeronautica desarrollada en el Ecuador.

Logrando concluir el proyecto con el conocimiento de toda la aeronave y sus subsistemas que permitieron desarrollar y presentar un manual específico de instalación del arnés y demás instrumentos relacionados, en la aeronave RV-10, manual que no existía en el mercado mundial. (Tabango, 2013).

Antecedentes Nacionales y Locales

A nivel nacional con el mismo enfoque de los instrumentos de vuelo, se encuentra el proyecto trabajado por Allain Felipe Cely Ramírez, Diana Maritza Ojeda Rodríguez Y Jhoan Sebastián Giménez García en el año 2008 para la Universidad De San Buenaventura, llamado Diseño De Un Laboratorio Didáctico De Aviónica para la Universidad De San Buenaventura; por medio de este proyecto se pretendía desarrollar un laboratorio didáctico para simular el comportamiento de varios sistemas de comunicación y navegación aérea análogos.

Según el proyecto realizado en la Universidad de San buenaventura, este presenta un planteamiento del problema, en el cual “No existe un laboratorio didáctico que sirva para simular el comportamiento de varios sistemas de comunicación y navegación aérea análogos. Este laboratorio pretende que los estudiantes se familiaricen en forma didáctica con la cabina de una aeronave y sus instrumentos de radio y navegación” (Cely, Ojeda, & Jimenez, 2008)

Cuenta con el objetivo general de “diseñar un laboratorio didáctico de aviónica para la Universidad de San Buenaventura con base en la necesidad existente”. (Cely, Ojeda, & Jimenez, 2008)

Para la metodología de este proyecto se realizó un enfoque empírico analítico, ya que se desarrolló de manera experimental, por medio de la construcción y ensamble para los avances tecnológicos y aprendizajes más prácticos con el cual se profundizó y se aplicaron conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera, obteniendo como resultado el diseño del laboratorio didáctico de aviónica como se observa en la siguiente figura:



Figura 1. Diseño del Banco de Aviónica. (Cely, Ojeda, & Jiménez, 2008)

Otro Proyecto trabajado a nivel nacional fue la Introducción Del Simulador De Vuelo Flightgear En Los Procesos De Enseñanza Y Aprendizaje De La Cinemática, Dinámica Y Fluidos, trabajado por John Mauricio Beltrán Dueñas, en el año 2015, para la Universidad Nacional De Colombia, con el fin de realizar un estudio del uso de las nuevas tecnologías que permitan articular los temas propios de la aviación simulada, con los conceptos de la mecánica en un ambiente lúdico

complementario a la actividad docente; como objetivo general: “elaboración de una propuesta pedagógica que articule el uso del simulador de vuelo flightgear en los procesos de enseñanza y aprendizaje de conceptos de cinemática, dinámica y fluidos para estudiantes de ciclo V”, con los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar una propuesta didáctica escrita que permita orientar los conceptos de movimiento, en relación con la navegación aérea.
- Construir un aula virtual en Coursesites como soporte, para el desarrollo teórico de la propuesta.
- Evaluar la comprensión del concepto vector aplicado a cinemática, a partir de las herramientas de navegación e información del simulador.

La propuesta usa el Gaming como una innovadora alternativa de reescribir esta parte de la enseñanza.

Planteamiento del problema

En la búsqueda de la respuesta a la necesidad de poder aplicar de manera práctica los conocimientos acerca de instrumentos a bordo y de aviónica en general, el programa de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad de San Buenaventura, ha decidido implementar un banco didáctico de aviónica, acoplado en él los instrumentos de vuelo más importantes encontrados en una aeronave real.

Como parte del Banco didáctico, se hace prioritario desarrollar un indicador de velocidad vertical de tipo digital, con los datos de salida que entrega la computadora de vuelo tomados con anterioridad de los tubos pitot estáticos, traduciendo las señales de presión en datos digitales por

medio de transductores para que los respectivos instrumentos indiquen al operador de diferentes alturas, velocidades o datos que puedan ser requeridos para llevar a cabo la práctica e identificar correctamente los datos que entrega dicho instrumento. Como único requerimiento para el desarrollo del proyecto fue que contara con una comunicación serial por medio de protocolos de comunicación RS232 y que todos sus componentes fueran digitales, de esta forma se acerca a los indicadores de velocidad vertical digitales que emplean los aviones y las nuevas necesidades del sector aeronáutico en temas relacionados con la seguridad, que buscan disminuir los errores por instrumentos que pudieran presentarse al utilizar instrumentos de tipo análogo.

Justificación y pregunta de Investigación

La finalidad de esta investigación es lograr el correcto funcionamiento de un indicador de velocidad vertical completamente digital, partiendo desde su diseño conceptual y reuniendo los requisitos de fabricación para así seguir con su programación, montaje, pruebas funcionales y finalmente la consolidación del instrumento completamente funcional.

Con este proyecto se busca hacer parte de proyectos conjuntos de la línea de sistemas y teledetección de la Universidad de San Buenaventura, ya que al juntarlos en un solo banco de aviónica se logrará consolidar en un único propósito diferentes proyectos con diferentes metodologías de trabajo, lo cual permitirá en un futuro realizar mejoras a lo ya implementado y generar.

¿Cuáles son las características de diseño necesarias para llevar a cabo el desarrollo de un indicador de velocidad vertical aplicado a un banco didáctico de aviónica de la Universidad de San Buenaventura, Sede Bogotá?

Objetivo General

Diseñar y construir un indicador de velocidad vertical para el banco de aviónica de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.

Objetivos Específicos

- Realizar el diseño preliminar del circuito operacional y su respectivo montaje en protoboard para verificar su funcionamiento.
- Crear una interfaz e implementar un protocolo de comunicación entre el indicador de velocidad vertical y la computadora de vuelo previamente diseñada por la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.
- Realizar el diseño detallado y construir el indicador de velocidad vertical, utilizando componentes digitales. Los objetivos son claros y precisos, son viables, medibles y evaluables. Permiten conocer la orientación y alcances del proyecto. No son tareas, están redactados de forma correcta.

Alcances y Limitaciones

Alcances

- El diseño preliminar involucrará el montaje del circuito previamente diseñado y seleccionado en el diseño conceptual; se harán pruebas en el laboratorio y se verificará su funcionamiento.
- El diseño detallado abarcará la manufactura del instrumento sin hacer detalle en los procesos técnicos de manufactura; se definirán los archivos Gerber necesarios

para la fabricación de la PCB, este servicio podrá ser desarrollado por el grupo o podrá ser subcontratado.

- Se entregará finalmente el instrumento construido junto con el software caza fallas y manuales de usuario.
- Construir un indicador de velocidad vertical con un programa caza fallas para medir la velocidad vertical de una aeronave.
- El diseño conceptual del Indicador de Velocidad Vertical abarcará los conceptos del diseño electrónico, de igual manera se realizarán las simulaciones necesarias de un concepto preliminar del circuito operacional en un simulador especializado para electrónica, siempre y cuando que este software esté licenciado por la Universidad de San Buenaventura.

Limitaciones

- Se utilizará el protocolo RS232 para garantizar una comunicación eficiente entre el instrumento y la computadora de vuelo.
- Como lenguaje de programación se tomará únicamente la plataforma de Visual Basic.net al ser un programa global, con la posibilidad de entregar un instalable al operador del banco didáctico.
- Se tomarán como lenguajes de referencia aquellos lenguajes contenidos en el entorno de programación de Visual Basic.net.
- Para el diseño conceptual se definirá el diseño, como una interconexión de componentes que en principio puedan cumplir una tarea determinada en un diagrama de flujo que represente la operación del indicador de velocidad vertical o variómetro.

- No se realizará el diseño del chip de comunicación entre el instrumento y la computadora de vuelo, este se comprará ya que contiene el protocolo de comunicación previamente implementado.
- No se corregirán errores propios de la computadora de vuelo debido a que esta es un proyecto de grado desarrollado independientemente y con anterioridad, por lo tanto, no se conoce como podría entregar los datos de entrada necesarios para el correcto desarrollo del instrumento.
- Se subcontratará el proceso del quemado de la PCB, para facilidad del desarrollo del instrumento de vuelo

Marco Conceptual

El siguiente marco teórico fue el utilizado por el grupo de trabajo para llevar a cabo el correcto desarrollo del proyecto, donde se desarrollarán temas como principio de funcionamiento, construcción y avances tecnológicos en el indicador de velocidad vertical. Cabe resaltar que los procesos de diseño detallado de los instrumentos de vuelo usados en la actualidad no se consiguen, debido a que los fabricantes de los mismos no realizan las publicaciones pertinentes de diseño o métodos de construcción. Adicionalmente, se tratarán temas de comunicación y transmisión de datos, al igual que fundamentos de programación y electrónica necesarios para el correcto desarrollo del proyecto.

Instrumento de Vuelo

Desde el primer vuelo realizado por el hombre en un avión impulsado por motor, las aeronaves han ido avanzando a medida de las necesidades exigidas por la sociedad respecto a los

medios de transporte. Es por esta razón, que en la actualidad las cabinas se encuentran provistas de cierta cantidad de instrumentos de vuelo, indispensables para realizar una óptima operación.

Básicamente, existen dos clasificaciones de instrumentos de vuelo, definidos como “instrumentos de navegación y vuelo” y los “instrumentos indicadores del comportamiento de los sistemas y elementos que lleve controlados de la aeronave”. En el primer grupo se encuentran seis instrumentos indispensables para realizar una navegación segura, los cuales son el altímetro, la brújula, el indicador de actitud de la aeronave, el indicador de velocidad, el indicador de deslizamiento y el indicador de velocidad vertical o variómetro. Dentro de este grupo se encuentran cuatro tipos de funcionamiento; es decir los que funcionan con la presión dinámica y estática. Los instrumentos que utilizan el “vacío”, los que funcionan por acción de electricidad y los que funcionan por medio de magnetismo.

En el segundo grupo de instrumentos de vuelo se encuentran aquellos indicadores del comportamiento de los sistemas; es decir, son aquellos que dan información al piloto del estado o prestaciones de un sistema de la aeronave determinado. Por ejemplo, las presiones de aceite del motor, sistemas de aire, de electricidad, etc.

Cabe resaltar que todos los instrumentos abordo de una aeronave se dividen básicamente en cuatro partes esenciales:

- Parte detectora, la cual se ubica fuera del instrumento y se conforma por un sensor o detector, dependiendo del tipo de instrumento, además de contar con un cable de transmisión hasta el indicador en cabina.
- Parte medidora, se ubica dentro del instrumento, se encarga de transformar en movimiento las señales recibidas por la parte detectora.

- Parte acopladora, es la que comprende los mecanismos de transmisión del movimiento.
- Parte indicadora, es el conjunto de mecanismos que transforman el movimiento, en indicaciones por medio de una barra o aguja sobre una escala graduada y ya determinada.

Como es sabido, la industria aeronáutica es de las más seguras, es por esto, que siempre cuenta con sistemas redundantes para así evitar fallas catastróficas, y en los instrumentos de vuelo no es la excepción. Gracias a estos avances en seguridad aérea, la toma de mediciones de presiones cuenta con varios puntos y alternativas que lleva a una medición exacta de dicha presión. (Gato & Mario, 2016)

Si se produce un fallo en un sistema Pitot principal, por ejemplo, por una congelación total de la sonda o un fallo del circuito de calentamiento, este instrumento entregará mediciones erróneas. Por consiguiente, se instalan sistemas de reserva para seguir realizando las mediciones necesarias.

Esto se puede efectuar por medio de válvulas selectoras conectadas entre las fuentes de presión apropiadas y los instrumentos de vuelo situados en la cabina y con fácil acceso para la tripulación para poder realizar el cambio y no afectar el trabajo de los instrumentos.

Para poder entender el funcionamiento del indicador de velocidad vertical, se debe empezar por la construcción del instrumento, la cual inicia por el acople de un diafragma que permitirá observar la variación de presión al momento en que la aeronave haga un ascenso o descenso. Luego, se acoplarán unas varillas y engranajes que amplificarán el movimiento del diafragma y además

transmitirá el movimiento a la aguja indicadora. Y, por último, estos componentes estarán ubicados dentro de una caja hermética que los protegerá de la suciedad y daños de elementos externos.

Como principios fundamentales del funcionamiento de este instrumento cabe resaltar que el diafragma o membrana está conectada a la entrada de la toma de presión estática del avión, de este modo la presión en el exterior de la membrana o diafragma varía inmediatamente con los cambios de altura, así mismo, en el interior del diafragma hay una conexión a la entrada de presión del avión por medio de un difusor o tubo capilar, como se observa en la siguiente figura.

Para lograr una medida adecuada de la presión, se mantiene una diferencia de mediciones de presión a ambos lados de la membrana con un retraso de 5 a 9 segundos. (Creus, 2010)

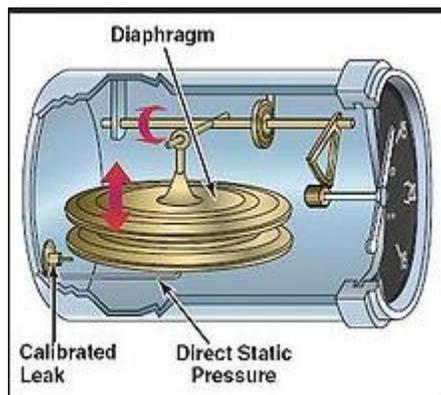


Figura 1. Indicador de velocidad vertical por membrana (Muñoz, s.f.)

Sistemas Digitales en Aviación

Como se ha dicho anteriormente, la industria aeronáutica es de las más seguras, es por esta razón que siempre se busca realizar algún tipo de avance tecnológico en pro de la seguridad aérea. Por consiguiente, los instrumentos de vuelo presentes en todas las aeronaves han ido cambiando de

una medición neumática mecánica a una medición electrónica para así poder delimitar los errores en los instrumentos debido a calibración o desgaste de componentes.

Con respecto a estos avances tecnológicos, los componentes del indicador de velocidad vertical también se han cambiado por componentes electrónicos, como, por ejemplo, los microcontroladores los cuales permiten realizar los mismos trabajos que realizaba la membrana, varillas y engranajes antes explicados, pero de una forma más rápida, precisa y efectiva que la contraparte neumático mecánica.

Este avance ha permitido que se unan todos los instrumentos para mayor facilidad de lectura y control. Como parte de esta revolución tecnológica, se llegó a un conjunto de instrumentos que es conocido como sistema electrónico de instrumentos de vuelo o EFIS por sus siglas en inglés, el cual se divide en dos pantallas fundamentales, conocidas como:

- Pantalla principal de vuelo, donde se recopilan en una sola pantalla LCD los seis instrumentos básicos para la navegación.
- Pantalla multifunción, esta segunda pantalla puede ser un sistema de respaldo para alguno de los instrumentos, además de indicar otras funciones de la aeronave, como lo son los canales de radio y funcionamiento de los motores.

Para realizar el cambio de la fabricación de los instrumentos abordo, específicamente del indicador de velocidad vertical, es necesario comprender como se logra programar una pantalla LCD y un microcontrolador, con el fin de mostrar en ella el instrumento.

Por lo tanto, para lograr la programación adecuada de las pantallas es necesario comprender que estas funcionan por medio de una conexión de un bus de 4 u 8 bits. El modo de 4 bits permite usar 4 pines del bus de datos, es decir un total de 7 pines necesarios para la programación de la interfaz de la LCD, mientras que el modo de 8 bits requiere de 11 pines para lograr dicha interfaz.

Al momento de realizar la programación, se debe tener en cuenta el protocolo de comunicación RS232, entre la computadora y el instrumento de vuelo, la cual entregará los datos de presiones, que por medio de su programación indicará en cabina la velocidad de ascenso vertical que lleva la aeronave.

Todas estas comunicaciones y transporte de datos se realizan por medio del protocolo de comunicaciones RS232, que en la actualidad es considerado como una norma o estándar mundial que indica los parámetros necesarios para realizar una comunicación serial. Por medio de dicho protocolo se estandarizan las velocidades de transferencia de datos, el control de dicha transferencia, los niveles de voltaje en los equipos, el tipo de cable permitido, las distancias entre los equipos, los conectores y demás parámetros necesarios para un correcto funcionamiento de equipos electrónicos. (Ogata)

Al momento de hablar acerca de dicho protocolo enfocado a la programación o nivel software, cabe resaltar que se debe seleccionar la velocidad en baudios, la verificación de datos o paridad de estos, los bits de parada y la cantidad de bits por dato enviado.

Para una correcta transferencia de datos, en este caso entre la computadora de vuelo y el instrumento, se debe tener en cuenta que se debe indicar que protocolo RS232 se va a utilizar, según la siguiente clasificación: (Ogata)

Request to send (RTS): En este caso la señal se envía desde la computadora de vuelo al instrumento para indicar que se requiere la transmisión de datos, si el instrumento de vuelo decide que esta optimo o “OK” para recibir dichos datos. Por medio de una línea de comunicación, la computadora transmitirá los datos.

Clear to send (CTS): En este tipo de comunicación, el instrumento de vuelo es el que indica a la computadora que debe transmitirle los datos necesarios para su funcionamiento.

Data terminal ready (DTR): Este modo de comunicación, afirma por medio de la línea de señal de la computadora esta lista también para recibir algún tipo de dato que el instrumento desee transferir.

Data set ready (DSR): Este tipo de protocolo es usado cuando el instrumento envía una señal a la computadora de vuelo, entonces la computadora decide comprobar el estado de la línea de comunicación, determinar si el instrumento se encuentra encendido y ahí si proceder a la transferencia de datos.

Receive signal line detect (RSLD): Esta línea de control de comunicaciones es manejada únicamente por el instrumento de vuelo e informa a la computadora que se ha establecido una conexión con algún instrumento nuevo.

Transmit data (TD): Es la línea de comunicación por donde se transmitirán los datos de un bit a la vez.

Recieve data (RD): Es la línea de comunicación por donde se recibirán los datos un bit a la vez.

Niveles de la Señal RS232 y Transmisión de Datos

Los niveles de voltaje permitidos entre la comunicación de cada equipo electrónico son de los elementos principales en la norma. Para las señales de datos se estipula que éstas deben tener una tensión entre -3 voltios y -25 voltios, como se había dicho anteriormente y haciendo una comparación con su representación lógica, este tomaría un valor de 1. La lógica 0 está representada por un rango de tensión entre +3 voltios y +25 voltios. Todo esto quiere decir que hay una transferencia de datos, denominada “ON”, entre la computadora de vuelo y el instrumento cuando su voltaje esta entre +3 voltios y +25 voltios y no hay una transferencia de datos, conocida como “OFF” si se manejan voltajes de -3 voltios y -25 voltios.

Cabe resaltar que el envío de los datos por cualquiera de las líneas anteriormente explicadas se hace de forma serial, cada bit de información se envía uno detrás de otro ya que solo hay una línea de datos en cada dirección. En este modo de transmisión de datos es necesario saber que el receptor o computadora de vuelo sepa que los datos enviados han llegado a su destino.

Para lograr esto al dar voltaje de arranque a los equipos lo que hace la computadora de vuelo por medio de una señal de comprobación es enviar un bit de datos de inicio, denominado como un envío lógico 0 y así poder sincronizarse con la computadora de vuelo, para después de eso dar inicio al envío completo de los datos por medio de grupos de 7 a 8 bits de información, con pequeñas interrupciones de envío para que el instrumento de vuelo pueda procesar correctamente toda la información enviada. Cabe resaltar que el envío de la información también se encuentra estandarizado por medio del Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información o ASCII.

Después de enviada la primera fila de datos, se envía un bit de paridad. Esto se usa para poder verificar la exactitud de los datos recibidos por parte del instrumento de vuelo ya que el envío de datos puede ser en grupos de números impar o par de lógicos y como este sistema de comunicación es de una sola línea de comunicación, no permite ninguna posibilidad de corrección de errores.

Por último, se envía un bit de parada. Esto normalmente toma un poco más de tiempo que el envío normal de los datos y se usa específicamente cuando que se ha terminado de enviar un grupo de datos en específico; además de eso, la transmisión de datos es normalmente asíncrona, es decir que las velocidades tanto de envío como de recepción deben ser las mismas.

Otra manera de la transmisión de datos se conoce como el “Handshaking”, este se presenta como un medio de control para saber que tanto la computadora de vuelo como el instrumento de vuelo se encuentran listos para enviar y recibir la información por medio de las líneas de

comunicación mencionadas anteriormente. El intercambio de “Handshaking” del flujo de información se puede trabajar como una serie de distintas etapas;

- RTS se pone en estado ON por el DTR.
- El DCE luego pone la línea CTS en estado ON.
- El DTE luego responde colocando la línea DTR en estado ON.
- La línea DTR permanece encendida mientras se transmiten los datos.

Al final de la transmisión de datos, primero las líneas DTR y RTS pasan a un estado de desactivado y por ultimo las líneas DCE y CTS pasan al mismo estado, esto se hace con el fin de que el modem o instrumento de vuelo informe a la computadora que ha recibido en su totalidad los datos además de indicar que las comunicaciones solo tendrán lugar en ambos extremos del enlace.

Conexiones de 25 pines

Cuando se utiliza la conexión por medio de un cable con el protocolo RS232, se tiene una configuración de un pin 1 a 1. Al usar RS232, es esencial asegurarse de que se estén utilizando las conexiones correctas. Puede ser muy difícil encontrar fallas cuando se hacen las conexiones incorrectas pues estas no son visibles por tanto se debe comprobar que los voltajes son los adecuados y que los pines se han conectado correctamente, esto normalmente resuelve los problemas.

Como se explica en las siguientes tablas

Tabla 1. Verificación de conexión de pines

DTE PIN NO	NOMBRE DEL CIRCUITO	ABREVIATURA	FUENTE
1	Tierra de protección		
2	Datos transmitidos	TXD	DTE
3	Datos recibidos	RXD	DCE
4	Peticion para enviar	RTS	DTE
5	Borrar para enviar	CTS	DCE
6	Conjunto de datos listo	DSR	DCE
7	Tierra de la señal		
8	El proveedor de datos detecta	DCD	DCE
9	Reservado para prueba de conjunto de datos		
10	Reservado para prueba de conjunto de datos		
11	Sin asignar		
12	Detector secundario de señal recibida		DCE
13	Secundario claro para enviar		DCE
14	Datos secundarios transmitidos		DTE
15	Tiempo de elemento de señal de transmisión		DCE
dieciséis	Datos secundarios recibidos		DCE
17	Recibir el tiempo del elemento de señal		DCE
18	Sin asignar		
19	Solicitud secundaria para enviar		DTE
20	Terminal de datos listo	DTR	DTE
21	Detector de calidad de señal		DCE
22	Indicador de anillo		DCE
23	Selector de velocidad de señal de datos		DCE / DTR
24	Transmita el tiempo del elemento de señal		DTE
25	Sin asignar		

Toma de Tierra

Las conexiones de tierra también se encuentran contempladas en el protocolo de comunicación en donde se utilizan dos tipos de conexión. El primero, la tierra de protección la cual asegura que ambos equipos tengan el mismo potencial de tierra, esto viene siendo muy útil cuando uno de los dos equipos electrónicos no está conectados a tierra. Este tipo de conexión se usa como una señal de retorno para las señales digitales que se transfieren a lo largo del enlace de datos, además de proteger las cadenas o grupos de datos que se podrían ver afectados por grandes corrientes que harían que se perdiera información.

Bus de Datos

El bus de datos permite la conexión entre diferentes elementos (sistemas electrónicos o subsistemas) y por medio de este, se realiza una comunicación efectiva entre los dos elementos

relacionados. En este caso, por medio del bus de datos se comunicará la computadora de vuelo junto con el instrumento, este último recibirá los datos necesarios en una cadena de “bits” donde de estos datos recibidos seleccionará los necesarios con el fin de realizar las operaciones internas que el PIC necesite y por último graficar en la pantalla LCD del instrumento. El bus de datos necesario para la comunicación simultánea de los sistemas integrados será de 8 hilos ya que esto admite la transmisión paralela de 8 bits de manera simultánea; por ejemplo, un bus de datos con 80 hilos traduce en un ancho de comunicación de 80 bits de manera simultánea.

Para lograr alguno de los tipos de comunicación anteriormente descritos, se debe comprender que el instrumento debe contar con un microcontrolador PIC, con el cual se debe realizar la ejecución de segmentación de instrucciones y los bits de configuración del instrumento, ya que este permitirá la comunicación con la computadora.

Microcontroladores

La arquitectura de los microcontroladores o PIC está compuesta por un oscilador, una unidad de central de procesamiento o CPU por sus siglas en inglés, temporizadores, control de interrupciones, E/S paralela, E/S serie, E/S analógica, memoria RAM y memoria ROM, como se observa en la siguiente figura.

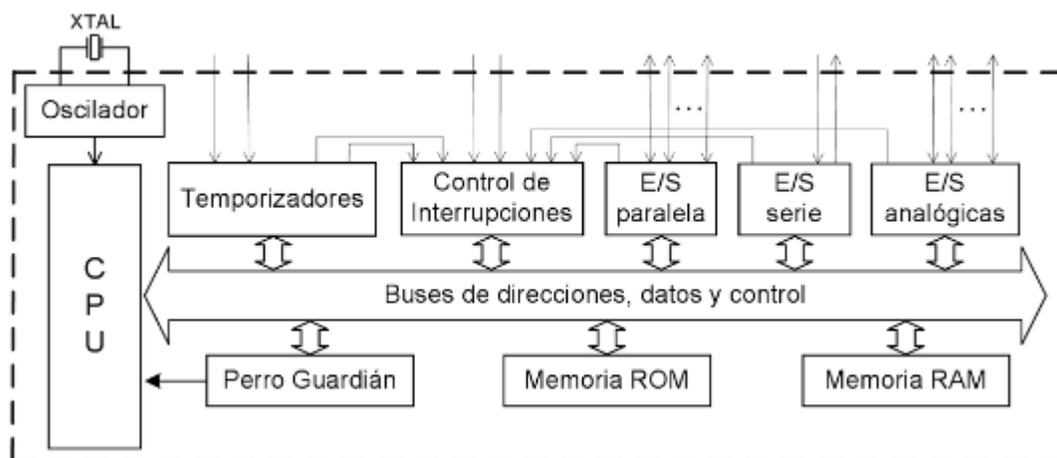


Figura 3. Arquitectura de un microcontrolador (Pallas, 2007)

Como en la mayoría de los microcontroladores, la memoria del programa es mucho mayor que la de los datos, la memoria de programa está organizada en palabras de 12, 14 o 16 bits mientras que la memoria de datos está compuesta por registros de 8 bits. Desde el punto de vista del programador, el modelo general de los microcontroladores PIC consta de un registro de trabajo, conocido como registro W, y los registros de memoria de datos. Todos los microcontroladores PIC aplican la técnica de segmentado en la realización de instrucciones que se ejecutan en un solo ciclo de trabajo, y estos ciclos equivalen a cuatro pulsos del oscilador principal que compone el microcontrolador. (Pallas, 2007)

Otra de las características más comunes es la forma de implementación de la pila, ya que dicha pila no hace parte de la memoria de datos, sino que ocupa un espacio independiente y tiene además una profundidad limitada, según el modelo de PIC.

En todos los microcontroladores, los PIC tienen un oscilador principal que determina la cadencia de operaciones internas, por medio de los pulsos generados por este oscilador son divididos internamente para generar cuatro señales denominadas Q1, Q2, Q3 y Q4, que sincronizan todo el trabajo interno cuando se deba realizar una transferencia de datos. También disponen de varias opciones para el oscilador principal, las cuales serían, un oscilador de cristal (cuarzo), oscilador RC y oscilador externo. (Pallas, 2007)

Programación en Visual Basic

Con el fin de desarrollar el programa caza fallas del instrumento se toma como referencia el lenguaje de programación Visual Basic. Net que se encuentra dentro del paquete de datos de visual estudio, plataforma que permite tener un alto rendimiento en las aplicaciones realizadas; Para el caso del instrumento se toma como base CCS para la programación del PIC y VB.NET para el programa caza fallas de apoyo.

Se usan librerías de programación con el fin de que el rendimiento del programa mejore ya que pueden ser llamadas varias veces dentro del programa sin necesidad de tener en sí mismo un ejecutable lo que hace un programa más ligero y con menores tiempos de respuesta a un programa estructurado en un único hilo de programación. Adicionalmente, se toman librerías propias del software que también pueden asociarse al programa en cualquier momento de la aplicación.

Estas librerías únicamente incluyen información compacta dentro de sí mismas, son fragmentos de código que cumplen una función específica o podrían cumplirla futuramente dentro del aplicativo diseñado.

Librerías estáticas: Es un contenedor con varios archivos del código base empaquetados, que en el proceso de enlazado durante la compilación serán copiados y relocalizados en el ejecutable final, junto con el resto de los módulos necesarios del código base. En la construcción estática de módulos compilados se desenvuelven las direcciones de las subrutinas ensambladas en la etapa de enlazado y las referencias a subrutinas de la librería se resuelven estáticamente. La dirección real, las referencias para saltos y otras llamadas a rutinas se almacenan en una dirección relativa o simbólica.

Librerías dinámicas: Son aquellas librerías que fueron creadas fuera del programa (como las librerías creadas por visual Studio) y pueden ser llamadas por cualquier programa y en cualquier momento de la ejecución, en el momento de la compilación se crea un módulo ejecutable de la misma y con las funciones que se han llamado de la misma. Cuando el programa requiera de alguna función de la librería dinámica el cargador de enlaces dinámicos podrá sustituir esta función por la función real de la librería dinámica o podrá buscarla dentro de la memoria si se encuentra disponible.

Metodología

Para el correcto desarrollo del proyecto se deben plantear unas actividades directamente relacionadas con los objetivos específicos, para que así mismo al cumplir con dichos objetivos se logre cumplir a cabalidad el objetivo general y con ello la pregunta problema: ¿Cuáles son las características de diseño necesarias para llevar a cabo el desarrollo de un indicador de velocidad vertical aplicado a un banco didáctico de aviónica de la Universidad de San Buenaventura, Sede Bogotá?

Con el fin de lograr lo anteriormente mencionado se debe realizar una programación en C como programa base para el microcontrolador, para así lograr darle las funciones básicas como lo son la recolección, procesamiento y entrega de datos hacia el instrumento para así ser ilustrado en la pantalla LCD. Para poder realizar el software caza fallas, la programación se realizará con Visual Basic.net como lenguaje de programación base, ya que entrega mayores prestaciones al tener incluidos dentro de su sistema diferentes librerías y lenguajes de programación que podrían servir de soporte al programador, en caso tal que se requiriera debido a una programación orientada a objetos a la cual se encuentra dirigida.

Dentro del diseño conceptual del instrumento se debe tener en cuenta todas las sugerencias de montaje, selección de componentes e interconexión que propone el fabricante del PIC en su datasheet, y posterior a ello se mejorará o adaptará en virtud de que llegase a existir algún requerimiento específico no cobijado por las sugerencias del fabricante

Adicionalmente, para lograr una comunicación eficaz con el “air data computer” diseñado con anterioridad en la Universidad se debe comprar un chip que tenga previamente programado un

protocolo de comunicación RS232 y así lograr una interfaz de comunicación entre el instrumento y el “air data computer”.

El programa diseñado por el grupo deberá ser instalado en el PIC microcontrolador que seleccionará los datos provenientes del “air data computer” que corresponden al funcionamiento del instrumento, los procesará y finalmente los graficará de una manera amigable con el usuario en una pantalla LCD como se muestra en las cabinas de instrumentos de cristal usadas actualmente.

Para realizar la verificación del funcionamiento del programa y la comunicación efectiva entre el instrumento y el “air data computer” e ilustración de los datos en el diseño conceptual, se realizará una simulación del circuito en un software electrónico debidamente licenciado por la Universidad o que su software sea de libre utilización académica, donde se verificará el funcionamiento del circuito con la programación previamente realizada para dichas funciones que realizará el instrumento. En el diseño preliminar, se abarcará el sector del montaje del circuito en una protoboard junto con sus respectivas conexiones a la pantalla LCD, teniendo en cuenta el diseño conceptual previamente realizado. Cuando el instrumento esté debidamente instalado en la protoboard se le realizarán diferentes ensayos con datos entregados por el “air data computer” para así compararlos con algunos cálculos realizados y así poder corroborar los datos arrojados por el instrumento.

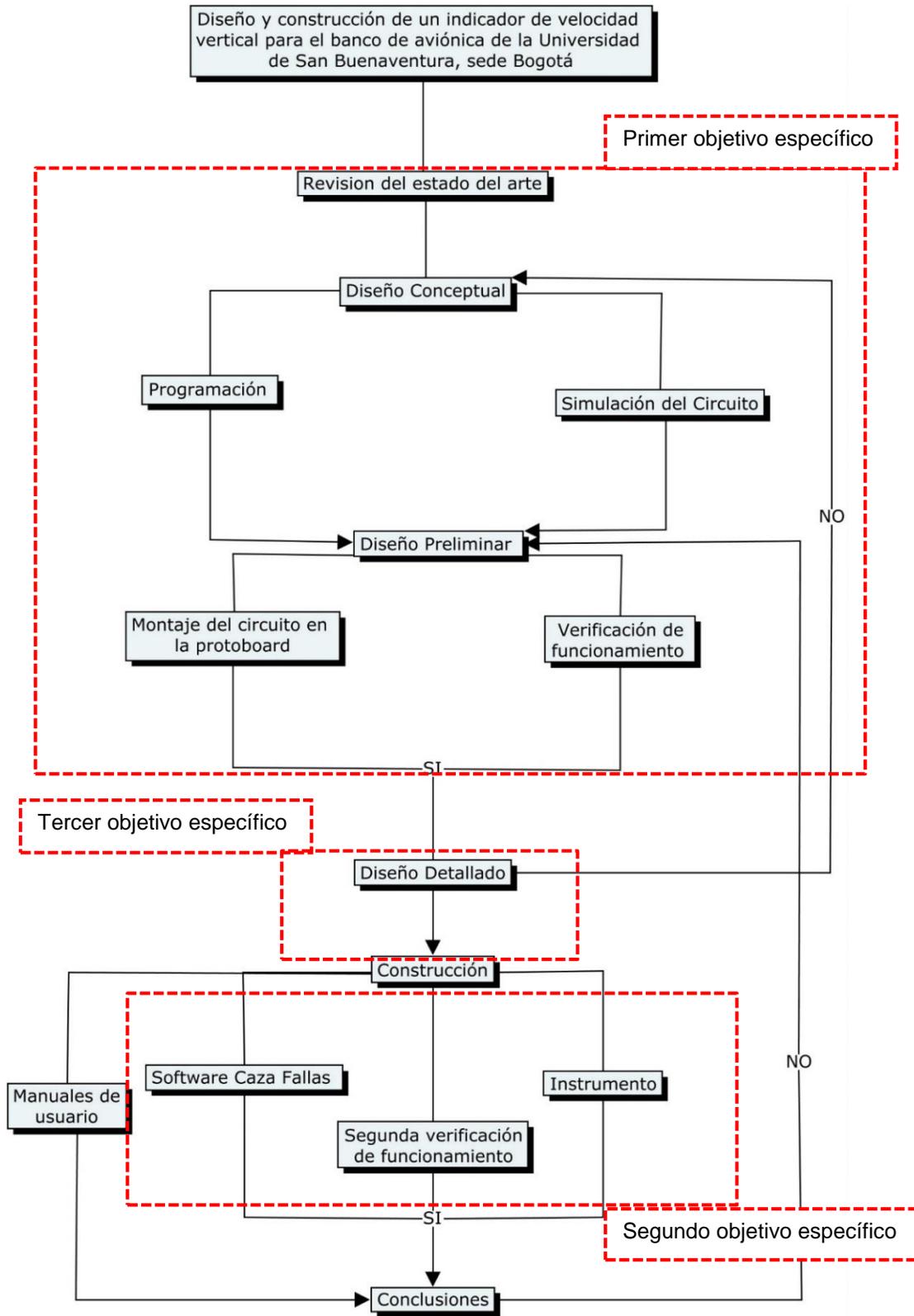
En cuanto al diseño detallado, éste se realizará para el diseño de la PCB para así tener en cuenta el número de capas, agujeros y tratamientos especiales que se le darán a la placa para realizar el montaje final del circuito en donde quedará fijo.

Para la manufactura de esta se podrá subcontratar el servicio de quemado de esta o podrá ser realizado por el grupo, pero no se realizará una profundización importante acerca de

interferencias electromagnéticas o profundización acerca de la soldadura de los componentes con la PCB, estos son estándares adicionales y externos que tendría el fabricante de la PCB.

Como producto final se entregará el instrumento dentro de su elemento contenedor para ser montado finalmente en la carcasa del banco.

A continuación, se encontrará un diagrama en el cual se podrá observar de manera más clara el desarrollo de la metodología y del proyecto.



Capítulo 2

Desarrollo de Ingeniería

Ya que el objetivo del proyecto es diseñar y construir un indicador de velocidad vertical. Esto requiere, que para cumplir dicho objetivo se implementen los 3 diseños necesarios para dar el correcto desarrollo al proyecto y concluir con la construcción del instrumento de acuerdo con las condiciones y requerimientos planteados. Con el fin de lograr lo anteriormente mencionado, se plantea el siguiente esquema de diseño, donde se verá involucrado de manera independiente cada parte del proceso.



Figura 3. Ciclo de diseño para el indicador de velocidad vertical

Se realiza un especial énfasis en dónde se encuentran involucrados cada uno de los diseños en el diagrama de la metodología explicado en el punto 3 del presente documento, donde adicionalmente, se explica cada alcance de los objetivos dentro de los procesos realizados.

A continuación, se encuentra de una manera más detallada y específica como se logró dar cumplimiento a cada uno de estos diseños planteados.

Diseño Conceptual y Preliminar

Diseño Conceptual

El diseño conceptual y preliminar del instrumento circuito instrumento de vuelo inicia con el análisis de los requisitos del banco de aviónica de la Universidad de San Buenaventura, los cuales se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 1. Requerimientos del banco de aviónica de la Universidad de San Buenaventura

Requerimientos del Banco de aviónica de la Universidad de San Buenaventura, Sede Bogotá	Componentes de funcionamiento electrónico
	Capacidad de comunicación RS232
	Recibir información de otros equipos
	Equipo dedicado solo a la indicación de VS
	Equipo modular, fácil instalación y remoción
	Bajo costo de fabricación y mantenimiento

Como segundo paso del diseño conceptual y preliminar del circuito inicio con la selección de los elementos que componen el circuito del indicador de velocidad vertical. Dicha elección, se realizó con base a los cinco tipos fundamentales de selección al momento de trabajar con elementos electrónicos. Los cuales son, los elementos generadores, elementos conductores, elementos receptores, elementos de maniobra - control y elementos de protección.

Teniendo claro cada una de las categorías, se procedió a la selección del elemento generador, el cual se asumió como un controlador de corriente, más conocido como diodo de voltaje. Después se procedió a la selección de los elementos conductores, los cuales en el diseño preliminar fueron cables jumper, que permiten el flujo de corriente y voltaje entre los componentes eléctricos, a continuación, se eligieron los elementos receptores que, para el correcto

funcionamiento del instrumento de vuelo, en este caso serían los condensadores, el chip de comunicación y el cristal contador.

Luego se seleccionan los elementos de maniobra y control, que en este caso sería un microcontrolador y el chip de comunicación nuevamente. Por último, se eligen los elementos de protección del circuito, los cuales serían los diodos de polaridad y las resistencias.

La selección tanto del microcontrolador como de las resistencias se basó según el datasheet de la pantalla LCD, la cual indicaba que se debía trabajar con microcontroladores de la serie 18F4550 o 16F887, además de utilizar resistencias de 180 ohmios (Ω).

Una de las ventajas encontradas en el PIC 16F887 fue su capacidad de reprogramación ya que, si se cometía algún error en la programación de este, podría reprogramarse hasta un intervalo de 100.000 veces. Adicionalmente, cuenta con tres contadores/temporizadores diferentes y una capacidad de soportar comunicación serial RS-485, RS-232 y LIN 2.0.

Para implementar el protocolo de comunicación dentro del circuito, es necesario utilizar un cristal, el cual es de uso externo ya que estos tienen mayor estabilidad en el proceso de comunicación respecto a los cristales u osciladores internos con los que cuentan los microcontroladores, y condensadores de diferentes valores, los cuales facilitarán el envío y recepción de información donde se tendrán en cuenta los tiempos en donde este proceso ocurre entre el microcontrolador, pantalla LCD y la computadora de vuelo o quien haga sus veces.

Diseño Preliminar

Circuito en Proteus

Proteus es un software que permite la ejecución de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño del esquema electrónico, programación del software, construcción de la placa de circuito impreso, simulación de todo el conjunto, depuración de errores, documentación y construcción.

Como en el diseño y construcción del indicador de velocidad vertical, se contempló la adición de un microprocesador, el software permite realizar una comprobación pertinente antes de dejar definido el circuito final por medio de los siguientes pasos:

- Diseño del circuito electrónico.
- Desarrollo del software.
- Simulación del circuito.
- Diseño del circuito impreso.
- Construcción del prototipo físico, circuito impreso y soldadura de componentes.

Con Proteus las fases de prueba no hacen tener la necesidad de volver a construir un prototipo del circuito, logrando un ahorro de costos y tiempo. Los diferentes módulos que componen Proteus permiten que, al momento de diseñar un primer esquema del circuito, se vaya trabajando a la vez con simulaciones necesarias para comprobar su correcto funcionamiento.

Todo esto por medio de la herramienta llamada ProSPICE o motor de simulación de circuitos electrónicos. Este motor permite que el usuario pueda utilizar inspectores de buses de datos, instrumentos virtuales, modelos animados de dispositivos electrónicos generadores de sondas y demás componentes necesarios para la comprobación del funcionamiento del circuito a diseñar y construir.

Este tipo de herramientas son de gran ayuda, por lo que permiten la programación, depuración y simulación del código que ejecutara el microprocesador que se realiza por medio del VSM (motor para la simulación de la lógica del programa cargada en el microprocesador).

Por medio del diseñador gráfico que maneja el software también permite la simulación de equipos Arduino. Este interfaz permite que la programación de componentes electrónicos se haga por medio de diagramas de flujo, lo cual facilita el trabajo y la verificación del circuito al usuario.

Cuando el diseño electrónico y el software funcionan se puede pasar a la etapa de construir el circuito impreso. Proteus genera de forma automática la lista de redes (NETLIST) a partir del diseño electrónico. Una red es un grupo de pines interconectados entre sí y la lista de redes es un listado que contiene la información completa de todas las redes que forman el diseño.

Desde la pestaña 'Diseño PCB' se puede proyectar una muestra de la placa del circuito impreso partiendo de la información de la lista de redes derivada del diseño electrónico. De esta forma, se asegura que la placa tendrá unidos entre sí, con las pistas correspondientes; los pines de los distintos componentes electrónicos de forma idéntica a como se ha definido en el esquema electrónico. Se pueden crear las pistas de la placa de forma manual o aprovechar las potentes capacidades de enrutador automático que ofrece Proteus.

Simulación del Circuito

Para la simulación del circuito del indicador de velocidad vertical, se debe tener en cuenta los siguientes componentes electrónicos, esenciales para su funcionamiento. En primer lugar, el microcontrolador tipo PIC 16F887, el cual cuenta con la mayoría de sus pines bajo un uso multipropósito, sin llegar a afectar su funcionamiento.

Su unidad de procesamiento o CPU de este microcontrolador está construida bajo la tecnología RISC, lo cual significa que la CPU cuenta con 35 instrucciones simples para su funcionamiento. Otra de las características importantes es que cada tiempo de ejecución de las instrucciones toma 4 ciclos de reloj. La frecuencia del oscilador se estabiliza por un cristal de cuarzo. Las instrucciones de salto tardan ocho ciclos de reloj en ejecutarse, entregando al usuario una velocidad de operación de 20 MHz, es decir que la ejecución de cada una de las instrucciones sería de 200nS.

El segundo componente electrónico, son las resistencias eléctricas, las cuales son de 180 ohm y permitirán el correcto funcionamiento entre el PIC y los leds, los cuales permitirán mostrar al usuario que el instrumento de vuelo se encuentra en inicio, se encuentra calculando y muestra su resultado en la pantalla LCD.

Ya teniendo claro los componentes esenciales en el circuito para su funcionamiento, se procede a la simulación por parte del software Proteus.

Para dar inicio se debe buscar cada uno de los componentes en la biblioteca que contiene el software, en esta encontraremos las resistencias, los leds, el PIC16F887 y la pantalla LCD que permitirá simular la funcionalidad del circuito, como se observa en la siguiente figura. Es importante resaltar que para poder hacer esta prueba se trabajó con una pantalla de 16X2 pulgadas, Proteus no cuenta con la pantalla que se va a usar en el diseño del instrumento de vuelo.

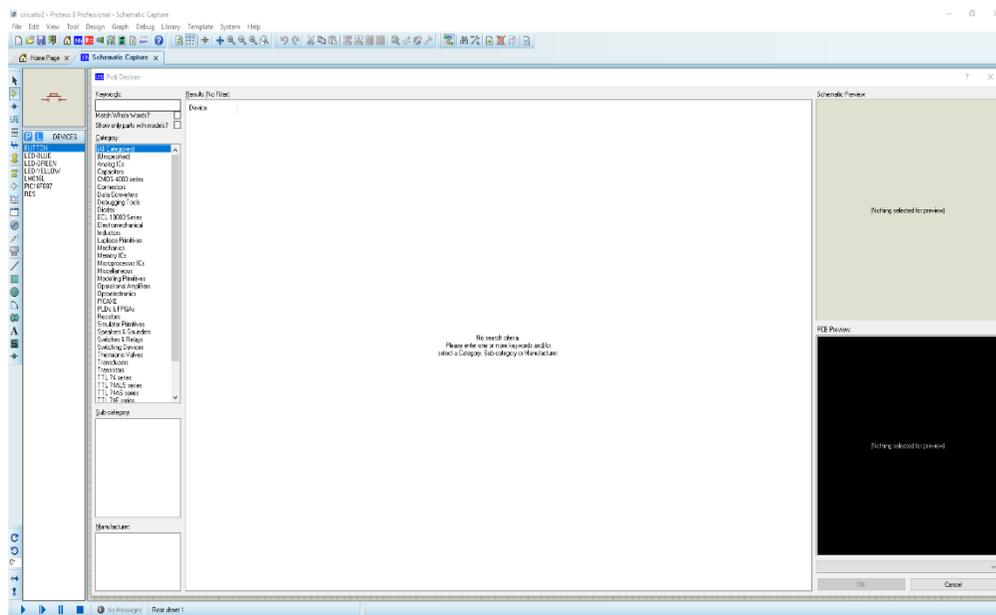


Figura 6. Biblioteca componentes electrónicos en Proteus



Figura 4. Componentes Electrónicos

Después de la selección de cada uno de los componentes, se empiezan a ubicar cada uno de ellos dentro de la hoja de trabajo para así poder ir realizando las conexiones, teniendo en cuenta el datasheet del microcontrolador, por medio de esta información se puede saber en qué pin conectar cada uno de los componentes a usar dentro del circuito, por ejemplo, según la siguiente figura, la parte nombrada como RC es un grupo de pines que permiten trabajar en esa parte la salida del oscilador o la entrada de reloj temporizador. En el grupo de pines RA se encuentra la entrada del convertidor A/D y las entradas positivas y negativas del comparador, en el otro grupo de pines RB se encuentra el otro grupo del convertidor A/D y una interrupción externa, en el grupo RD se encuentra en general el E/S de propósito general en el puerto PORTD, y, por último, se encuentran los Vss y Vdd, los cuales son el puerto a tierra y el suministro de voltaje positivo respectivamente.

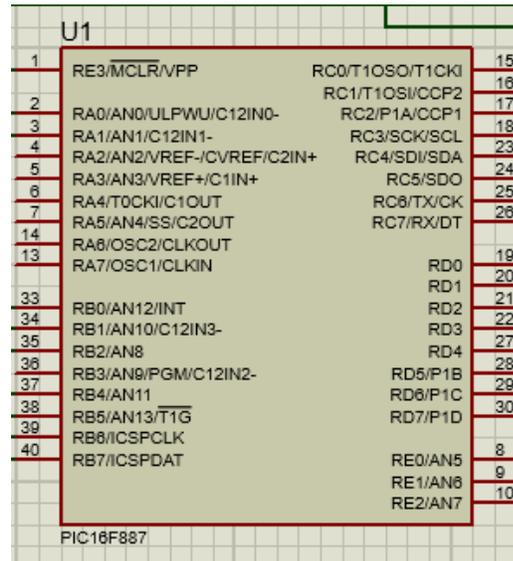
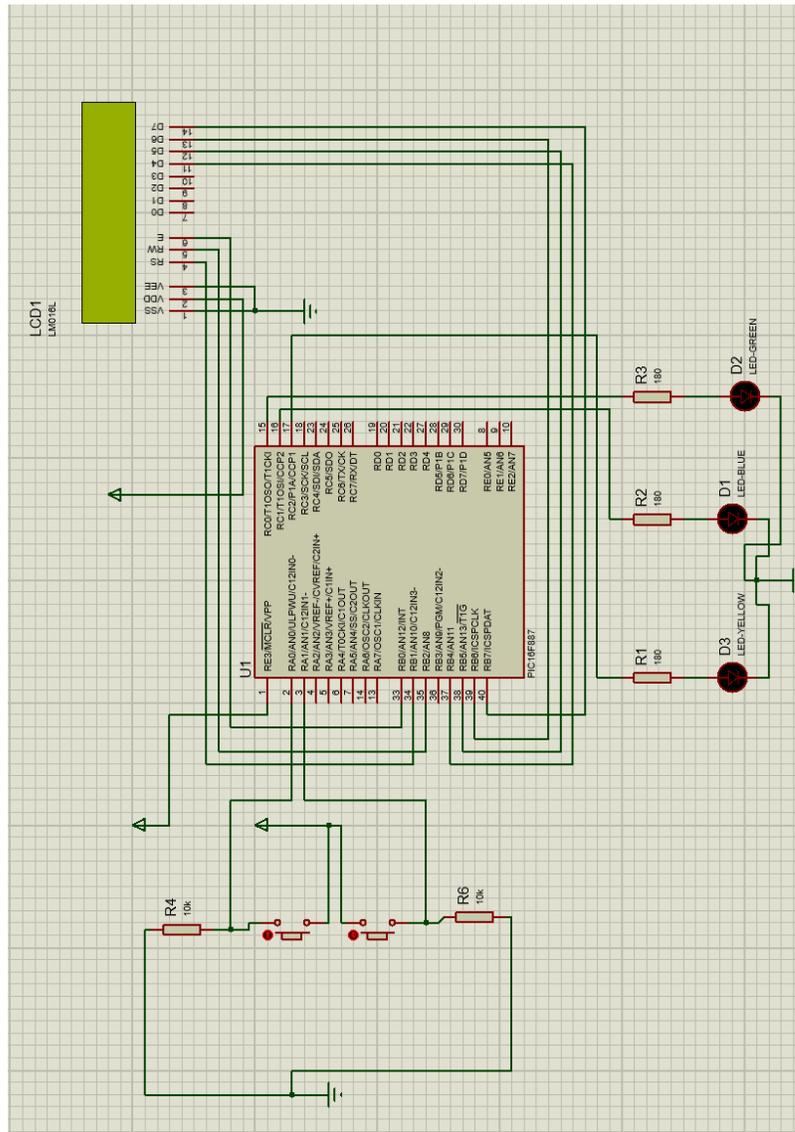


Figura 8. Microcontrolador PIC 16f887.

Después de tener cada uno de los grupos de los pines definidos, según lo investigado en el datasheet del PIC16F887, se busca el datasheet de la pantalla LCD para poder conectar cada uno de los pines de esta pantalla adecuadamente al microcontrolador, a continuación, se procede a ubicar cada uno de los componentes electrónicos en la hoja de trabajo y realizar sus respectivas conexiones, teniendo en cuenta las fuentes de voltaje, los puntos de tierra necesarios, como se muestra en la siguiente figura.



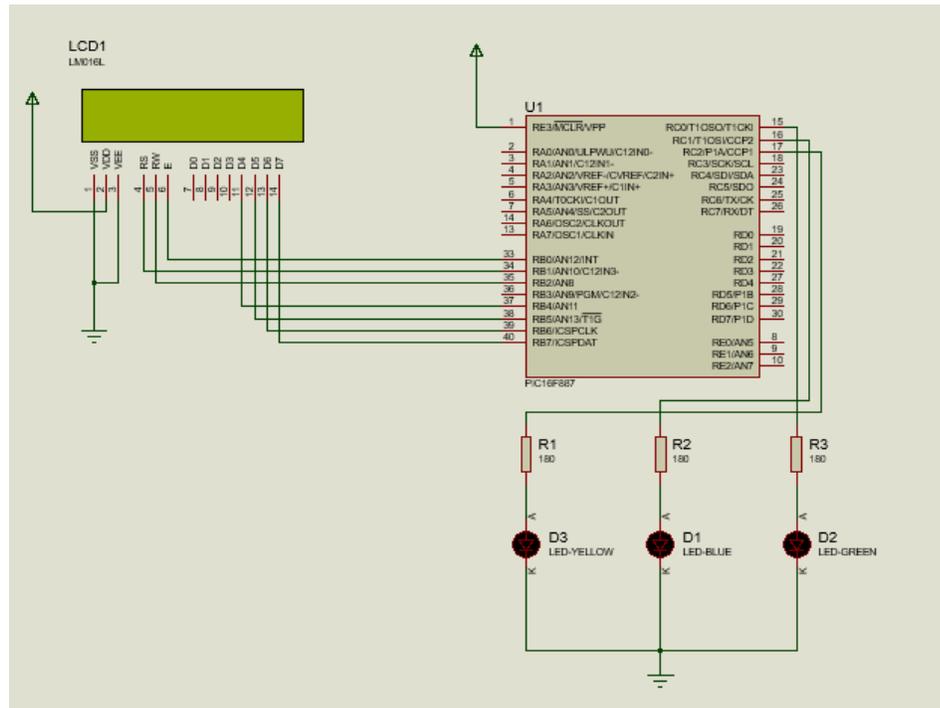


Figura 10. Conexión entre el microcontrolador y la pantalla LCD

El diseño preliminar del circuito culmina con el montaje de este en la protoboard como muestra la figura 11 y la verificación de su funcionalidad de cada uno de los componentes y evitar fallas, para poder continuar con la quema de este en la PCB.

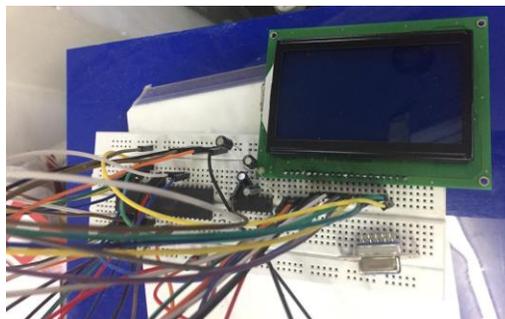


Figura 5. Montaje del circuito en protoboard

Software Caza Fallas

El software caza fallas para el indicador de velocidad vertical, es un programa que genera datos teóricos calculados mediante la información entregada por el usuario. Este software se realizó con dos finalidades, permite verificar si la información entregada por la computadora de vuelo es acorde o no a los requerimientos que el usuario define y adicionalmente al evidenciar que la computadora de vuelo entregaba información errada se buscó la manera de obtener los datos de entrada necesarios para el funcionamiento del instrumento, por medio de este software se logra calcular de manera teórica la tasa de ascenso para diferentes condiciones atmosféricas y escenarios seleccionados por el usuario.

Como su denominación lo indica, el software busca encontrar fallas en los diferentes módulos del instrumento y con base en ello se determina en donde se encuentra el error. Con el fin de saber si el software está realizando el envío de datos correctamente, se simula un puerto serial con ayuda del software HERCULES, que es de acceso libre y con él se puede simular un sistema de puertos en paralelo donde por uno de ellos saldrá la información enviada por el software y por el otro la recibirá y mostrará en la sección de puerto serial que tipo de datos envía el software hacia el puerto serial al que está conectado. Ver figura 12.

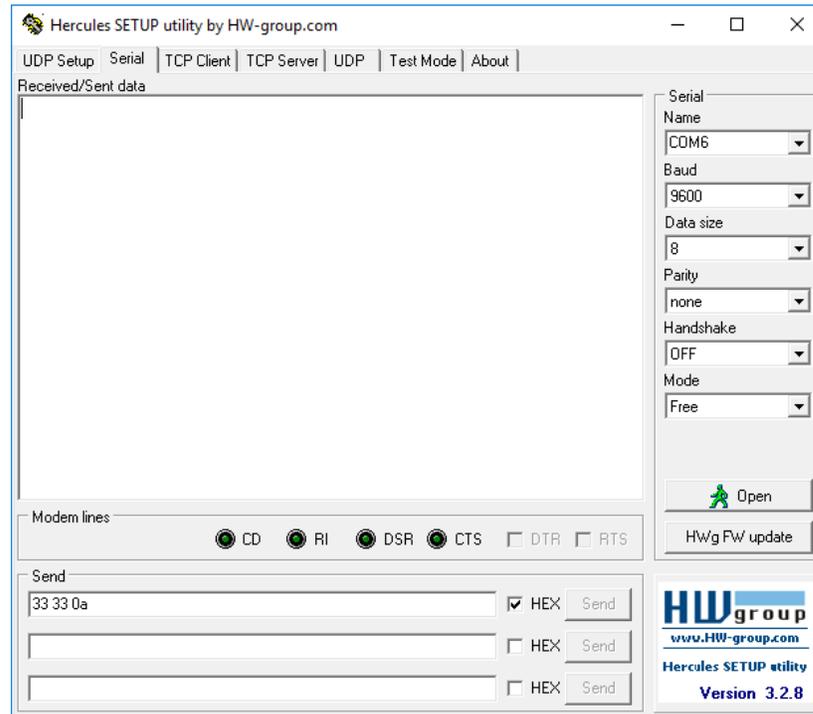


Figura 12. Interfaz de la sección serial software simulador HERCULES

Por el contrario, si en HERCULES se muestra un dato diferente al enviado desde el software caza fallas, se encuentra que hay un problema en el software y en cómo se está enviando la información, ya que esta podría estar enviándose en lenguaje hexadecimal o a manera de caracteres. Este último, es un error muy común debido a que la lógica de programación en algunos casos envía caracteres en lugar de números.

Por último, si el dato de salida por el puerto serial está siendo mostrado correctamente en HERCULES, en la pantalla del instrumento debería visualizarse el número enviado, sin embargo, si la pantalla LCD muestra líneas negras a lo largo de ella esto quiere decir que la pantalla se ha quemado o no está completamente funcional y se debería recurrir a cambiarla. Si la pantalla inicia y muestra operación bajo estándares normales de brillo y color, pero no muestra la imagen del instrumento, el error se encuentra en la programación del microcontrolador o un error muy común

es que el microcontrolador esté quemado y el usuario no se percate de esto ya que ocurre cuando hay saltos de voltaje que este no puede controlar.

En caso de que el usuario evidencie que todo el proceso se encuentra en óptimas condiciones podrá visualizar correctamente la tasa de ascenso calculada de manera teórica por el software y mostrarla en la pantalla del instrumento como se mencionó anteriormente. Con el fin de entender de mejor manera el proceso de caza fallas se explicará en la figura 13.

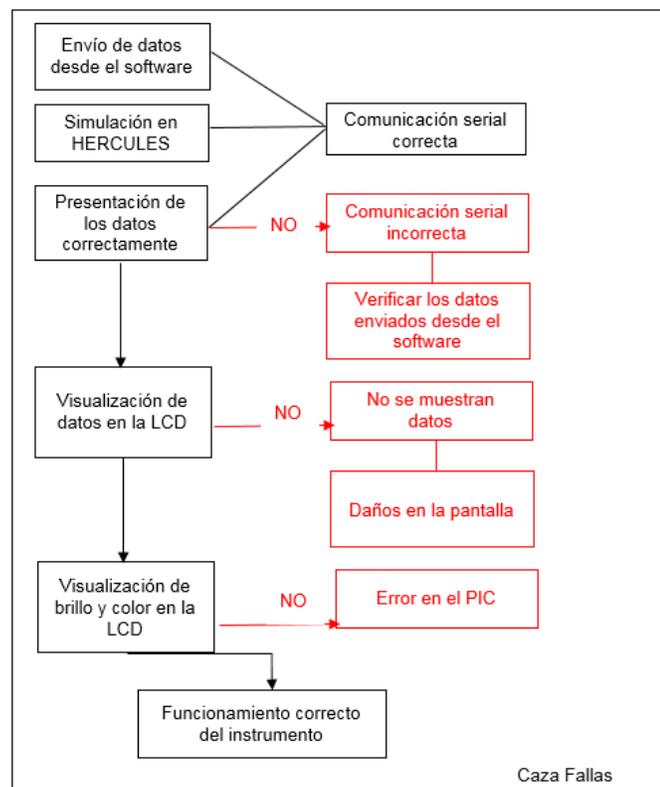


Figura 6. Esquema del programa caza fallas

El software fue programado en Visual Basic profesional 2013, utilizando una interfaz amigable con el usuario, con la posibilidad de un botón de ayuda, una opción de importar datos provenientes de la computadora de vuelo y en la sección de tasas de ascenso se encontrará el módulo de cálculo de tasas de ascenso del instrumento; Donde el usuario le entregará al programa

datos necesarios para calcular la tasa de ascenso dependiendo de la desviación de temperatura que el mismo hubiese escogido dentro de dicha opción en los menús desplegables que se brinda en esta sección.

Con el fin de estructurar el software caza fallas del indicador de velocidad vertical se han realizado previamente cálculos de altitud por presión, teniendo en cuenta las variaciones de temperatura y como afectan en los instrumentos dichas lecturas de altitud por presión y presiones correspondientes. En las tablas mostradas a continuación, se presentarán las diferentes alturas por presión y presiones correspondientes para diferentes desviaciones ISA calculadas para realizar la programación de cada módulo.

Tabla 2. Alturas por presión y presiones para temperaturas ISA

ISA		
Altura(ft)	altura (m)	Presión (pa)
0	0	101325
1000	304,8	97716,504
2000	609,6	94212,7799
3000	914,4	90811,4843
4000	1219,2	87510,3107
5000	1524	84306,9883
6000	1828,8	81199,2828
7000	2133,6	78184,9951
8000	2438,4	75261,9615
9000	2743,2	72428,0535
10000	3048	69681,1768
11000	3352,8	67019,2718
12000	3657,6	64440,3128
13000	3962,4	61942,3079
14000	4267,2	59523,2984
15000	4572	57181,3589

Tabla 3. Alturas por presión y presiones correspondientes para ISA +10

ISA +10		
Altura(ft)	altura (m)	Presión (pa)
0	0	101325
1000	304,8	97835,8222
2000	609,6	94444,5799
3000	914,4	91149,156
4000	1219,2	87947,4655
5000	1524	84837,4549
6000	1828,8	81817,1021
7000	2133,6	78884,4163
8000	2438,4	76037,4373
9000	2743,2	73274,2355
10000	3048	70592,9118
11000	3352,8	67991,597
12000	3657,6	65468,4518
13000	3962,4	63021,6661
14000	4267,2	60649,4594
15000	4572	58350,0799

Se realizaron cálculos de alturas por presión y presiones para desviaciones entre +20 y -20 sobre el estándar, con el fin de darle al usuario un amplio rango de condiciones atmosféricas y así poder evidenciar el efecto de las condiciones atmosféricas en las tasas de ascenso calculadas para la fase de vuelo seleccionada. En el ANEXO 1 se encontrará el archivo con los diferentes cálculos de desviaciones estándar con los cuales se realizó la programación de cada uno de los módulos del programa.

Para hallar las presiones correspondientes a cada altura se utiliza la teoría de atmosfera estándar y no estándar para la troposfera y la parte baja de la estratosfera, estando entre estos rangos el nivel de vuelo donde se realizan las operaciones aeronáuticas. Dicho procedimiento se realiza

con el fin de calcular datos tales como temperatura OAT, densidad, presiones y adicionalmente se calcula la altura por densidad como factor adicional como se mostrará a continuación.

- Temperatura externa:

La temperatura externa fue calculada teniendo en cuenta los siguientes parámetros

$$T = T_o - \gamma h_p \quad (1)$$

Donde:

- T_o corresponde a la temperatura a condiciones estándar, es decir, nivel del mar
- γ corresponde a la constante con valor de 0.0065 c/m o 0.0065 K/m
- H_p corresponde al valor de la altura por presión, es la altura que puede ser medida por un instrumento.

Para los casos donde las temperaturas externas tengan desviaciones atmosféricas ésta será calculada con la ecuación para la temperatura a condiciones no estándar.

$$T' = T_{sta} + \Delta T \quad (2)$$

Donde:

- T' será la nueva temperatura calculada con desviación de temperatura
- Tsta la temperatura calculada a condiciones estándar
- ΔT corresponde a la desviación de la temperatura, condición ISA

- Presión:

En el caso del cálculo de las presiones se tendrá en cuenta de igual manera que existirán presiones a condiciones estándar en caso de la condición ISA y de condiciones no estándar para los demás casos.

Se tomarán en cuenta los siguientes parámetros con el fin de calcular la presión correspondiente a la altura por presión como se muestra a continuación.

$$P = P_0 * \left(1 - \frac{\gamma h_p}{T_0}\right)^{g/\gamma R} \quad (3)$$

Po, corresponderá a la presión estándar a nivel del mar en caso de que dicho cálculo sea a condiciones estándar, en caso contrario Po será reemplazado por Psi que corresponderá al valor de

la presión a nivel del mar siendo esta 101325 Pa y no se modificara siempre y cuando no se especifique lo contrario.

Los demás parámetros tales como γ y h_p serán semejantes a los ingresados para calcular la temperatura externa.

T_o , en caso de ser condiciones estándar se utilizará un valor de 288.15 K, de lo contrario en condiciones no estándar dicha temperatura corresponderá a la temperatura T_{sl} siendo el resultado de:

$$T_{sl} = T_o + \Delta T(4)$$

R, tomará el valor de la constante de los gases ideales siendo correspondiente a 287.058 J/KgK

G, corresponderá al valor de la gravedad 9.807 m/s²

- Densidad:

La densidad será calculada teniendo en cuenta la ecuación de los gases ideales para ambos casos ya que los parámetros involucrados serán dependientes de la altura por presión, que ya tendrá implícito la variación de temperatura en caso de que así corresponda.

$$\rho = \frac{P}{RT}(5)$$

Todos los parámetros de cálculo anteriormente mencionados serán utilizados por el programa con el fin de entregarle al usuario la tasa de ascenso específica para cada caso que el usuario seleccione.

Interfaz de Entrada

En la interfaz de entrada, como se muestra en la figura 5, el usuario encontrará las opciones anteriormente mencionadas dependiendo de sus necesidades. Allí encontrará dentro de la pestaña de tasas de ascenso las opciones de ISA-20 hasta ISA+20 pasando por condiciones ISA, allí el

usuario deberá escoger las condiciones atmosféricas a las cuales desea ver la tasa de ascenso, posteriormente el programa lo remitirá a la siguiente ventana donde el usuario encontrará lo mostrado en la figura 14



Figura 7. Interfaz de entrada del software del instrumento

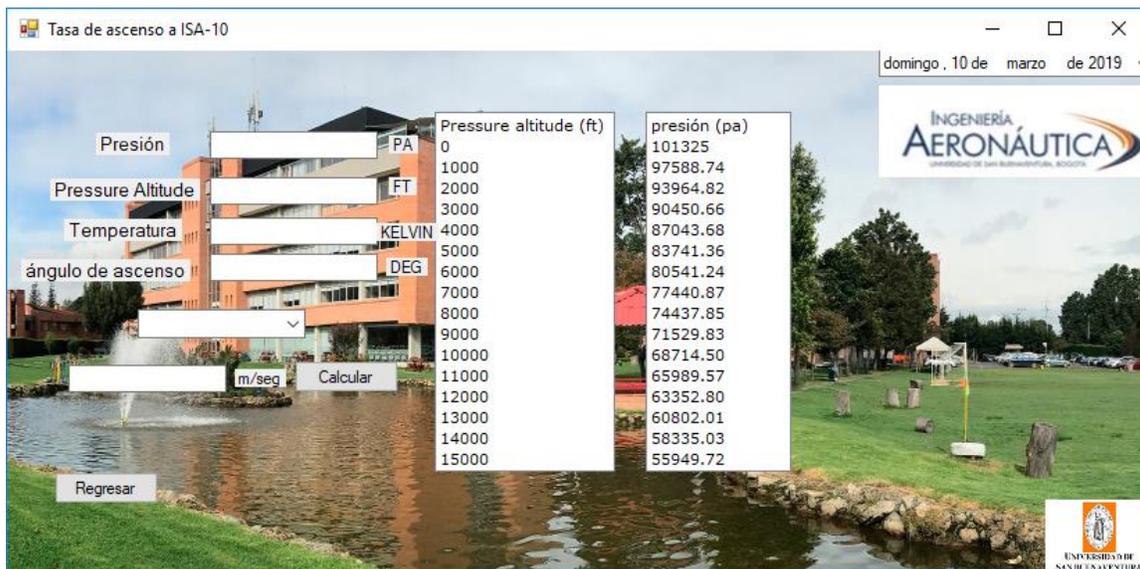


Figura 8. ISA+5 sección caza fallas

Al ingresar la tasa de ascenso correspondiente a ISA+5 (caso del ejemplo), el usuario encontrará la interfaz mostrada en la figura 15 donde deberá seleccionar de los listados allí mostrados, la presión y altura correspondientes. Aunque, allí en la interfaz se encuentre la altura en pies el programa internamente realizará las conversiones correspondientes para que no existan incongruencias en las unidades arrojadas en los cálculos. Adicionalmente, el programa solicitará la temperatura a la cual se quiere realizar la verificación teniendo en cuenta que dicha temperatura deberá ser introducida en grados Kelvin y el ángulo de ascenso al que estará la aeronave en la etapa de vuelo, dicho ángulo también podrá ser de descenso según sea el caso.

En la parte inferior de la interfaz, el usuario encontrará un menú desplegable donde podrá verificar si los datos que ingresó en presión y altura son correspondientes o si de lo contrario deberá ingresarlos nuevamente; Ya que el botón de calcular se encontrará bloqueado, y el programa no admitirá los cálculos en cuanto estos datos no coincidan en su posición dentro de la matriz. En caso de ser correctos los datos ingresados en el programa, se manifestará un cuadro de aviso según se muestra en la figura 16.

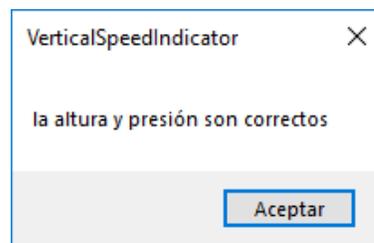


Figura 9. Cuadro de advertencia de lectura de datos

Con el fin de realizar un cálculo de la tasa de ascenso mucho más ligero y que no consuma tanta memoria del equipo y tiempo de espera, la arquitectura del programa se ha realizado por clases y por funciones, donde en una clase llamada isa+5, el programa realizará la verificación de los datos ingresados en las cajas de texto con los contenidos dentro de la matriz, ésta verificación el programa la realizará cuando el usuario seleccione la opción leer o verificar según corresponda en

el menú desplegable dentro de la interfaz; El programa tomará esta verificación como un ciclo repetitivo donde leerá el dato ingresado y lo comparará con su igual en la matriz de presiones. Cuando las posiciones dentro de la matriz sean iguales terminará el ciclo repetitivo, saldrá de la función y le indicará al usuario si los datos son correctos o dicho de otra manera son iguales en sus posiciones dentro de las matrices.

Posteriormente en otra clase llamada velo se llamará la clase anterior de isa+5 que contiene la función de verificar, y en esta nueva clase se hará el cálculo de la tasa de ascenso tomando todas las variables representativas como variables decimales (con el fin de que se lean como valores decimales de precisión doble), y de valores enteros únicamente se tomarán los valores de comparación y verificación. Todo esto puede explicarse de una mejor manera en el siguiente esquema.

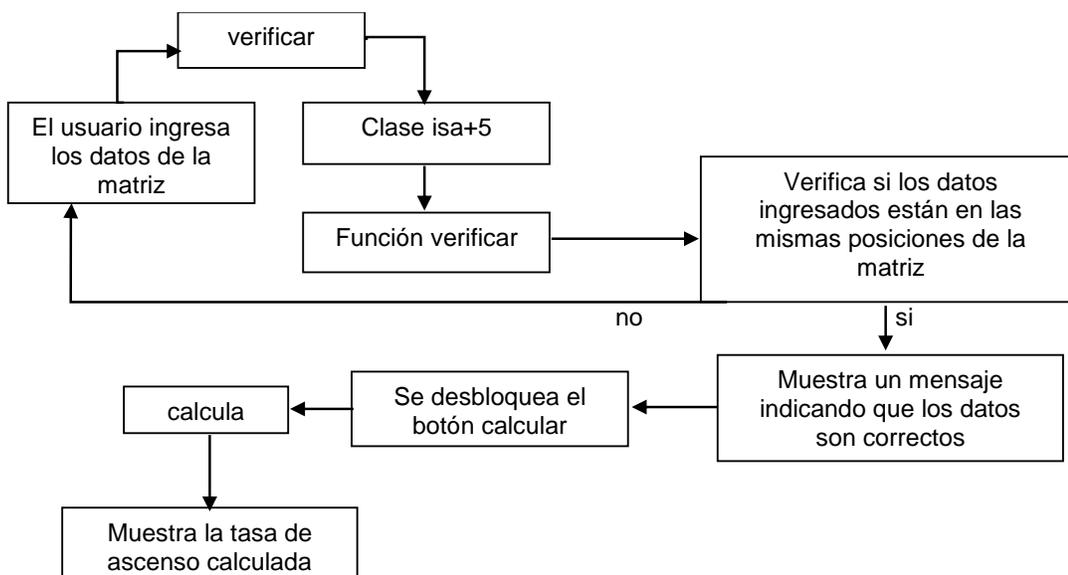


Figura 10. Esquema de programación para cada módulo de desviación estándar

Dentro de la función del botón calcular, se encontrarán todas las fórmulas necesarias para calcular la tasa de ascenso donde el programa recolectará los datos de presión y altitud ya verificados por la función de la anterior clase y adicionará a la temperatura ingresada por el usuario

la desviación a la que es correspondiente la sección de cálculo que se ha seleccionado en el menú desplegable del inicio como se ha mencionado anteriormente.

En la figura número 18 se explicará de manera más detallada el proceso de programación.

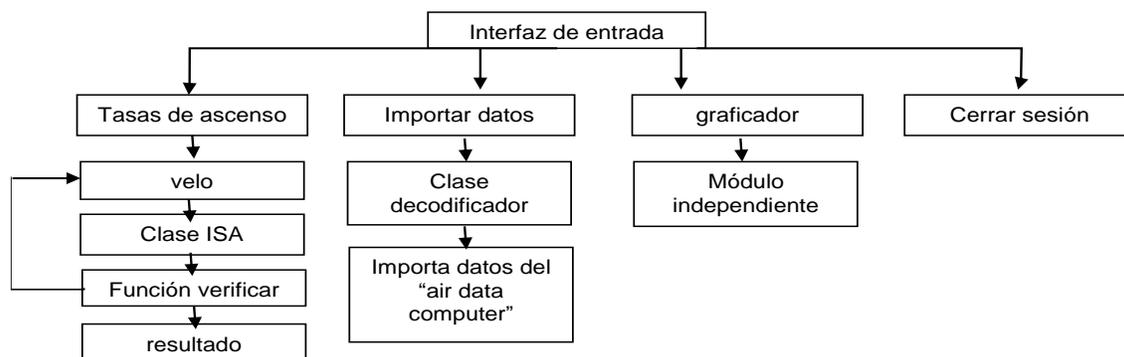


Figura 11. Arquitectura del Software caza fallas

Se toma como presión total la presión atmosférica a la que se encuentra la aeronave en esa etapa de vuelo, la presión estática se tomará como el resultado del producto de la densidad, gravedad y altura.

Con el fin de hallar la velocidad entre un punto y el siguiente, se toma la diferencia de presiones entre la presión absoluta y la estática obteniendo así la presión dinámica y por ende consiguiendo despejar de dicha ecuación de presión dinámica la velocidad. Finalmente, se obtiene como resultado la tasa de ascenso como producto de la velocidad de vuelo con el ángulo de ascenso ingresado por el usuario. Vb.net toma los ángulos como ángulos en radianes, debe hacerse la conversión respectiva y finalmente en la caja de texto número 3 se mostrará la tasa de ascenso calculada con los datos ingresados por el usuario, que posteriormente podrán ser comparados con los importados de la computadora de vuelo en el módulo importar datos.

La siguiente sección de código es la manera en la cual el programa calcula la tasa de ascenso reuniendo los datos ingresados por el usuario

Private Sub Button3_Click (sender As Object, e As EventArgs) Handles Button3.Click

```

presion_2 = Val (TextBox6.Text)
altura_2 = Val (TextBox7.Text)
temperatura_2 = Val (TextBox9.Text)
tem_2 = temperatura_2 + 5
roh_2 = presion_2 / (r * tem_2)
pn_2 = gravedad_2 * roh_2 * (altura_2 * 0.3048)
q_2 = presion_2 - pn_2
v_2 = Math.Sqrt (2 * q_2 * roh_2)
ang_2 = Val (TextBox10.Text)
angle_2 = ang_2 * (Math.PI / 180)
rated_2 = v_2 * Math.Sin (angle_2)
TextBox8.Text = rated_2

```

End Sub

Finalmente, como se muestra en la figura 19 el programa arroja los resultados en un “text-box” en la parte inferior de la interfaz. La tasa de ascenso calculada tendrá unidades de m/s y así finalmente el usuario obtendrá los resultados solicitados dependiendo del caso seleccionado previamente.

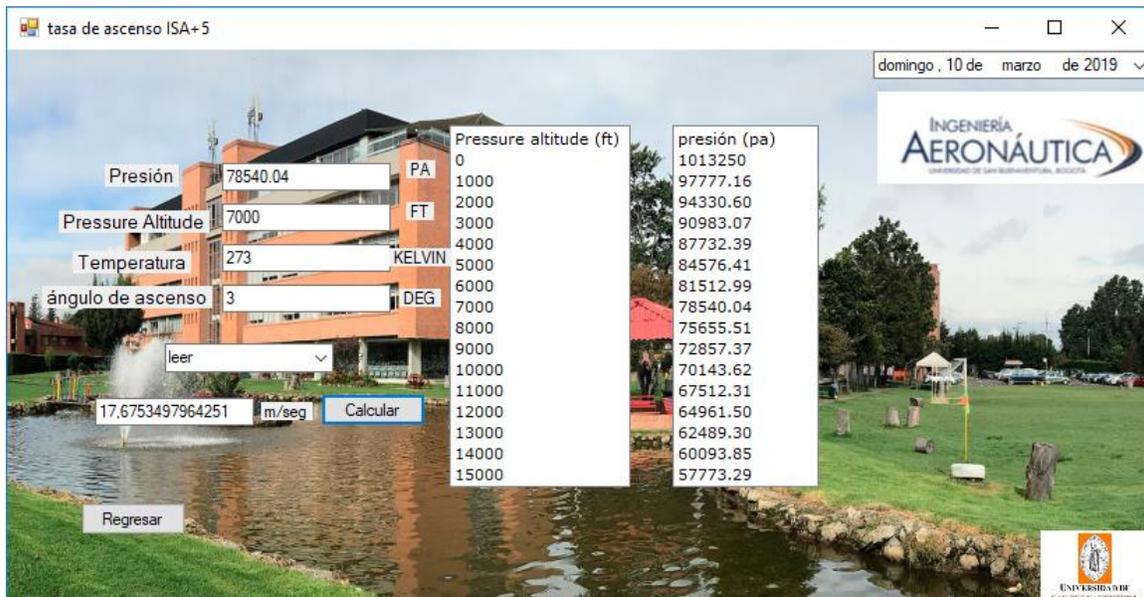


Figura 12. Resultados obtenidos

Módulo de Ayuda para el Usuario

El programa cuenta adicionalmente con un servicio de ayuda para el usuario donde podrá consultar algunas dudas significativas que pudiesen surgirle durante la navegación en el programa. Dicho módulo de ayuda se encontrará en la interfaz de inicio, allí el usuario podrá encontrar preguntas frecuentes.

Este servicio de ayuda cuenta con respuestas predeterminadas tales como:

- ¿Por qué es importante calcular la tasa de ascenso?
- ¿Qué tipo de fórmulas utiliza el programa?
- ¿En qué unidades se encuentran las variables dentro del programa?



Figura 13. Servicio de ayuda del software

Módulo de Importación de Datos

Con el fin de lograr una comunicación entre el indicador de velocidad vertical y la computadora de vuelo, se creó dentro del programa un módulo de importación de datos donde el

usuario tiene la posibilidad de importar datos desde la computadora de vuelo y se muestre la tasa de ascenso. En la figura número 21 se observa la interfaz de dicho módulo.

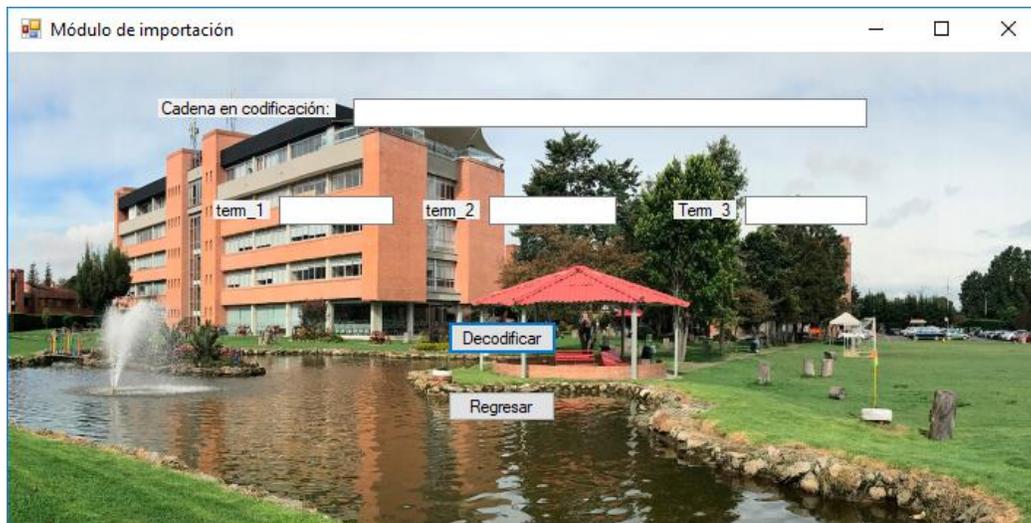


Figura 14. Módulo de importación de Datos

`Private Sub Button1_Click (sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click`

```
' Try
Dim string_to_decode As String = TextBox1.Text
Dim dato () As Double = {0, 0, 0}

Dim data As String ()

data = string_to_decode. Split (New Char () {"*"c})

dato. Set Value (Cable (data. GetValue (0)), 0)
dato. Set Value (CDbl (data. GetValue (1)), 1)
dato. Set Value (CDbl (data. GetValue (2)), 2)

TextBox2.Text = dato. GetValue (0)
TextBox3.Text = dato. GetValue (1)
TextBox4.Text = dato. GetValue (2)
' Catch ex As Exception
```

```
'MsgBox(ex.Message)
' End Try
End Sub
```

En el código anteriormente mostrado se encuentra lo que hace parte de la clase decodificador donde se pueden obtener los datos necesarios para el funcionamiento del instrumento de vuelo, por medio de la lectura de datos que entrega el “air data computer”. Esto permitiría al usuario conocer la velocidad de la aeronave sin la necesidad de ingresar los datos, ya que en esta parte del programa lo que se busca es que el funcionamiento del instrumento sea completamente autónomo.

Por medio de dicho código, se toma una línea de datos enviados por la computadora de vuelo que son cadenas de datos de 8 bits, estos se encuentran separados por un carácter específico que puede ser un punto, un asterisco o una coma, donde traen la información necesaria para el funcionamiento del instrumento.

El código del módulo de importación de datos se encuentra completamente abierto y comentado con el fin de que en el momento en el que se corrijan los errores propios de la computadora de vuelo, como lo son errores en altitud, presiones y ruido en la entrega de datos, este pueda ponerse en funcionamiento y se pueda realizar una comunicación óptima con el instrumento y con el “air data computer”.

Al momento de separar la información proveniente de la computadora de vuelo en tres términos totalmente independientes, se logra obtener los datos de presión y así hacer el enlace con el código que permite realizar los cálculos para obtener la velocidad de la aeronave; Y por ende graficar en la pantalla LCD la información necesaria para que el usuario la verifique.

```
Public Shared Function Decode(ByVal string_to_decode As String, ByVal character_spacer As String)
    Dim dato() As Double
    Dim data As String()
    data = string_to_decode.split(New Char(), {character_spacer, c})
    dato.setvalue(data.getvalue(0), c)
```

```
Return Nothing 'dato.getvalue(  
End Function
```

El protocolo de importación de datos desde la computadora de vuelo hacia el instrumento puede realizarse por medio de una comunicación serial o por medio de una conexión RS232. El instrumento se entregará con una salida de RS232 en el extremo que entra al circuito y su salida será mediante un cable serial en el otro extremo, lo que facilitará de igual manera la conexión del instrumento a un computador y permitirá el enlace con el software entregado, logrando así dos opciones de obtención de datos para graficar.

Diseño Detallado

Cabe resaltar que el diseño detallado en este proyecto abarcará todo lo relacionado con el bosquejo de la PCB por medio de simulaciones en ARES, sin hacer énfasis en el proceso de quemado de esta, ya que esto se realizó por medio de una subcontratación como se indica en las limitaciones del presente documento. Además, se tratará el diseño del contenedor o hardware del instrumento, su selección del método de construcción y elementos de sujeción.

Simulación en ARES

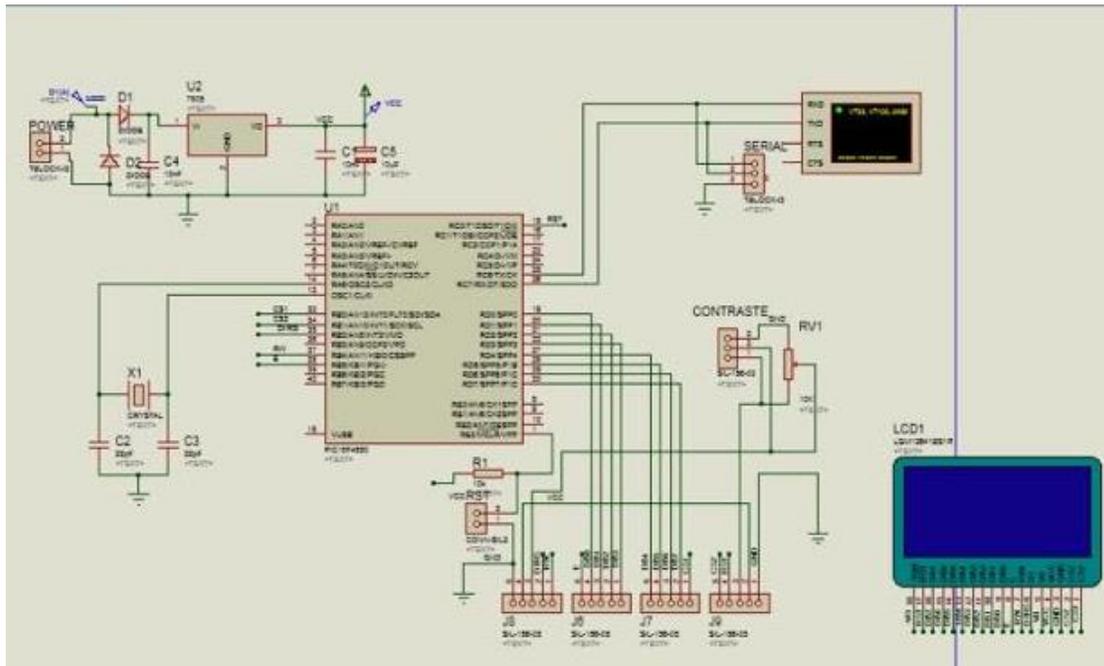


Figura 15. Conexión del circuito a simular

Al tener la programación del PIC 16F887 y las conexiones adecuadas como se observa en la figura 22, se procede a la simulación del circuito en donde el software a trabajar mostrará los errores que tienen las conexiones o la programación del microcontrolador, para así poder corregirlos y obtener el correcto funcionamiento del circuito. Por último, se realiza un bosquejo de la PCB en donde por medio de la herramienta ARES dentro del software Proteus permite ubicar cada uno de los componentes electrónicos dentro del espacio de la tableta a imprimir y dar una idea de cómo se vería el circuito después de imprimirlo.

Se ubica cada uno de los componentes como se indicó anteriormente, y por medio de la herramienta ARES se puede realizar las conexiones necesarias usando el Auto-router, el cual permitiría que Proteus diseñe las conexiones o caminos conductores entre cada uno de los elementos con base al diseño esquemático del circuito, como se observa en la siguiente figura.

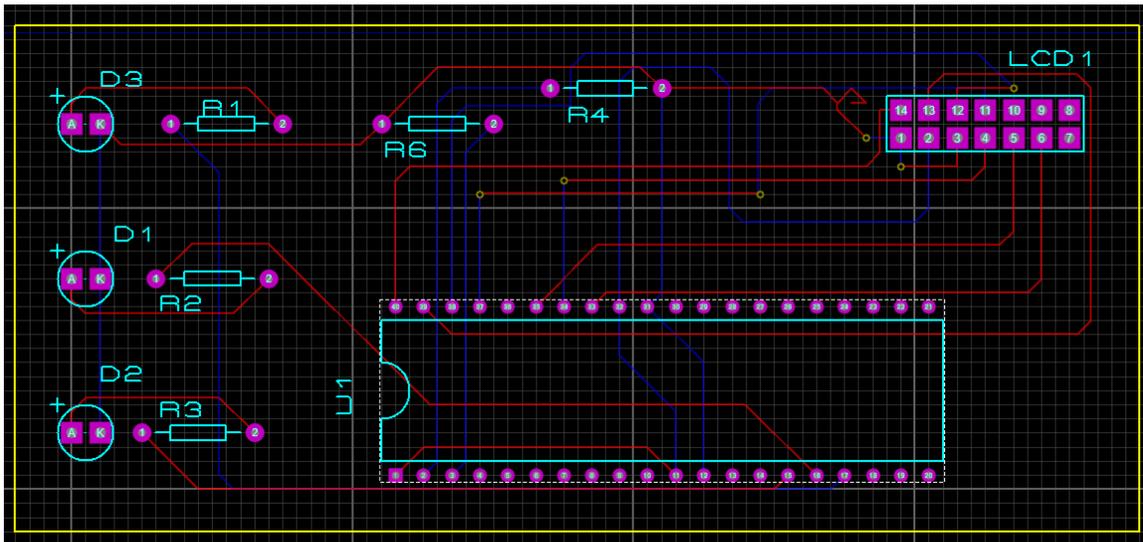


Figura 16. Diseño preliminar del circuito en la PCB

Después de tener cada una de las conexiones establecidas y verificadas, como se hizo anteriormente con la programación del microcontrolador, se procede a obtener un bosquejo en tres dimensiones (3D) de cómo se vería el circuito ya finalmente impreso y montado.

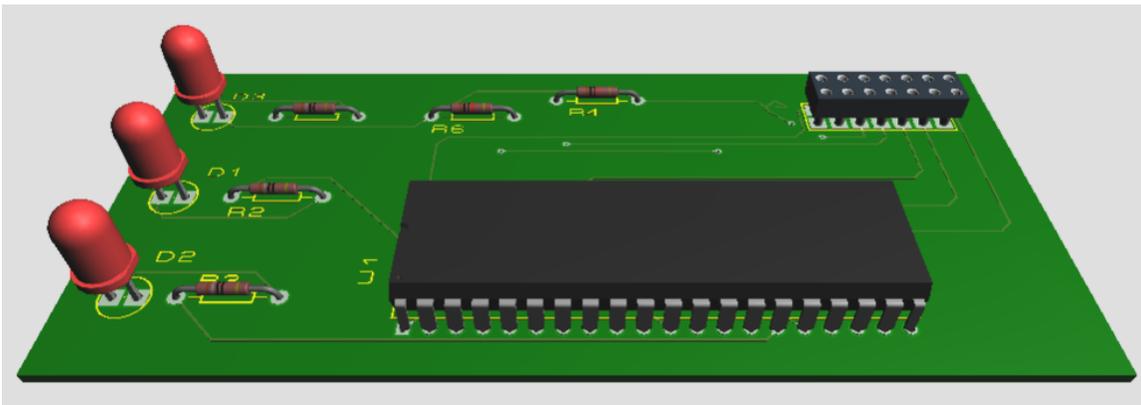


Figura 17. Vista en 3D del circuito en la PCB

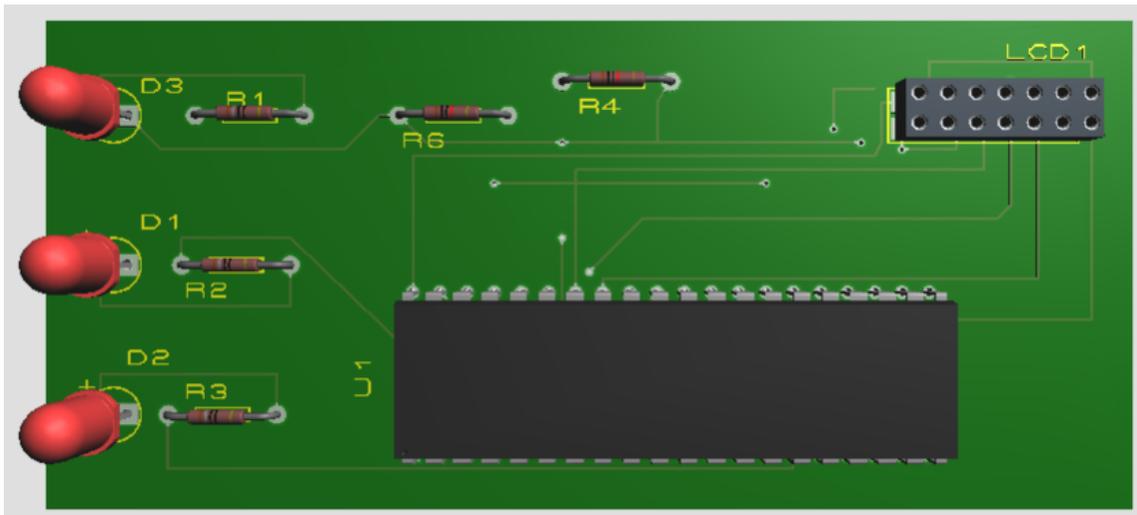


Figura 18. Vista superior de las conexiones de los componentes electrónicos

Luego de tener la vista preliminar de la PCB, por medio del mismo software se puede determinar el ancho de los caminos de conexión basándose en la norma “IPC 2221B PCB DESIGN”. Según esta norma, existen varios tipos de placas, donde se diferencian por el ancho mínimo y la tolerancia de las mismas. Esta clasificación, se puede observar en la siguiente tabla

Tabla 4. Clasificación de los tipos de PCB

Clase de la placa impresa	11	21	12	22	13	23
Ancho mínimo (mm)	0.8	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4
Tolerancia (mm)	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02

Después de determinar el tipo de placa de acuerdo con la norma y a la oferta comercial, se selecciona el ancho de los caminos conductores, esto con la facilidad que permite la norma, la cual estipula unos valores ya constantes, según lo observado en la siguiente tabla.

Tabla 5. Clasificación anchos de caminos en las PCB

Clase P.I.	11 y 21	12	13	22	23
Ancho (mm)	0.7	0.5	0.35	0.5	0.35

De acuerdo con lo determinado en la simulación de la PCB y lo preestablecido en el software PROTEUS, se coincide con lo establecido por la norma que permite trabajar con caminos de 0.35mm. Luego de esto se procede a subcontratar el servicio de quemado haciendo especial énfasis en el ancho de los caminos y las dimensiones requeridas de la PCB.

Diseño del Contenedor del Instrumento

Para proteger tanto la pantalla LCD como la PCB que contiene los componentes electrónicos del instrumento de vuelo, se diseñó una caja de contención, la cual en su parte interna deja ubicar de una manera segura la PCB, además de contener los cables de conexión tanto de la fuente de poder como de la computadora de vuelo, las especificaciones de su diseño por medio de los planos se encuentran en carpeta anexa al documento.

Para poder llegar al diseño final del hardware o caja de contención, se trabajaron cuatro diseños previos, los cuales fueron mejorando a medida de las necesidades presentes tanto en el banco de aviónica de la Universidad de San Buenaventura, como en la manipulación del instrumento al momento de querer realizar algún mantenimiento preventivo.

Esto se puede evidenciar de igual manera en la matriz de decisión trabajada con base a los diseños, esta matriz de decisión se puede encontrar en los anexos del presente documento, se ubican en esta sección para una mejor presentación del documento.

El primer diseño contemplado, consistía en dos piezas las cuales se asimilaban a una caja en la cual se ubicaba tanto la pantalla LCD como el circuito electrónico y era asegurado por medio de presión entre las dos piezas, como lo muestra la siguiente figura.

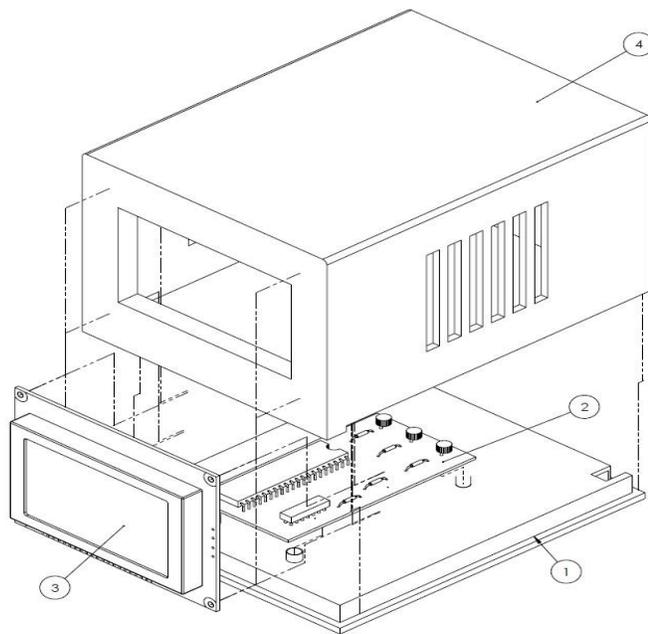


Figura 19. Ensamble Diseño Hardware 1

Después de evaluar la eficiencia del primer diseño, se llegó a la conclusión de que era muy complicado de trabajar ya que se podría llegar a un punto de desgaste en el que no se podría asegurar ninguna de las piezas si se realizaban constantes mantenimientos internos al instrumento. Es por esta razón que se trabajó el diseño de hardware número 2, en el cual se manejó el mismo estilo de caja que contendría el circuito y la pantalla, pero con un aseguramiento de las piezas por medio de tornillos. Como muestra la siguiente figura

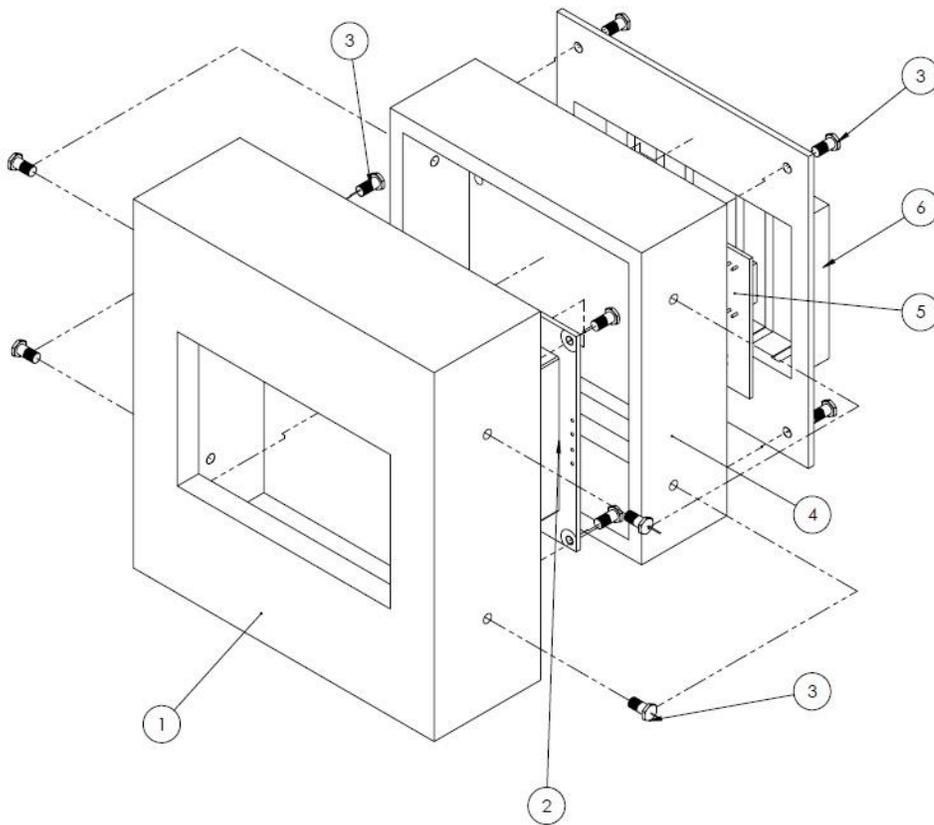


Figura 21. Ensamble Diseño Hardware 3.

Por último, se realizó un rediseño del hardware con base a la matriz de decisión planteada en los anexos del documento. Se logró tomar en cuenta las partes buenas de cada uno de los diseños anteriormente mencionados, entonces del diseño 1, se tomó su fácil construcción sin importar el método, además de tratar de mantener el menor número de piezas posibles que conformaran el hardware, pero se descartó de este mismo su método de sujeción para evitar inconvenientes futuros al trabajar la caja de contención.

Del diseño 2 se mantuvo la tendencia de tener una construcción sencilla y la menor cantidad de piezas, además de mejorar el método de sujeción por medio de tornillos, se descartó por

completo este diseño ya que no cumplía con las dimensiones necesarias para el banco de aviónica de la universidad.

Con el diseño 3, se mejoraron las dimensiones del hardware de acuerdo a lo necesitado en el banco de aviónica, también se presentaba un fácil acceso a los componentes y mantenimiento de los mismo al estar cada uno separado, pero una alta complejidad al momento de su construcción y ensamble, por lo cual se realizó una unión entre los diseños 1, 2 y 3 para así seguir teniendo la independencia de cada uno de los componentes del instrumento y una gran facilidad para su impresión y aseguramiento en el banco de aviónica. Ver figura 29.

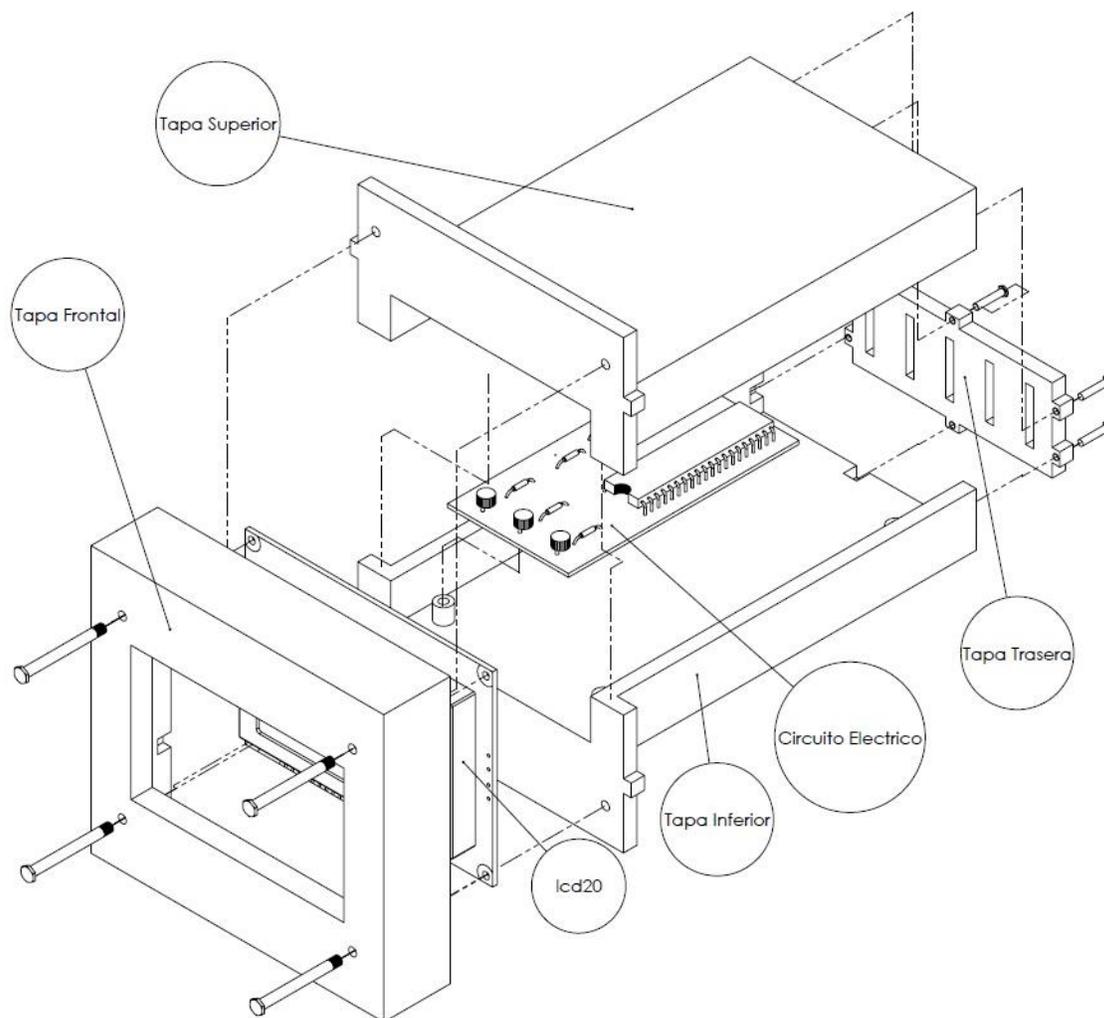


Figura 22. Ensamble Diseño Hardware 4

Construcción del Indicador de Velocidad Vertical

Para iniciar con la construcción del instrumento de vuelo, se inicia con la selección de materiales para la fabricación de la caja de contención o hardware. Esto por medio de una matriz de decisión, que se ubica en los anexos de este documento, en la cual se contempla fácil manejo del material, costos y buena relación con la parte eléctrica del instrumento.

Según las conclusiones obtenidas de la matriz de decisión la mejor opción de construcción es por medio de impresión en tres dimensiones (3D), debido a que se manejan materiales dieléctricos, sea ABS o PLA, que evitarían algún problema al presentarse un corto circuito, además de tener una manufactura fácil ya que se hace por medio de máquinas CNC, que permiten un acabado mucho más pulido y sencillo, teniendo un costo de construcción mucho más económico que los demás métodos y materiales de construcción contemplados.

La selección del material de la impresión del hardware se hizo por medio de la subcontratación de este trabajo, en donde se decidió hacerlo en ABS ya que tenía las mismas características de resistencia mecánica del PLA, pero en costos era mucho más económico.

Para la sujeción de las piezas del hardware se seleccionaron tornillos de $\frac{1}{4}$ de pulgada, ya que, según sus especificaciones técnicas, este tiene una resistencia a la carga aproximada de 7800 Lb, que en kilogramos vendría siendo 3538 Kg. Pudiendo concluir que el tornillo para la sujeción de las piezas se encuentra sobredimensionado en cuanto a factor de seguridad, ya que el hardware completamente armado tiene un peso aproximado de 20-30 gramos.

Con cada una de las piezas impresas y con la selección de los tornillos se inicia con el ensamble del instrumento de vuelo, el primero paso es verificar las conexiones de los componentes electrónicos del circuito. Ubicando de la mejor manera los cables de la pantalla LCD para así mismo facilitar su ubicación dentro del hardware o caja de contención. (Ver Figura 30).

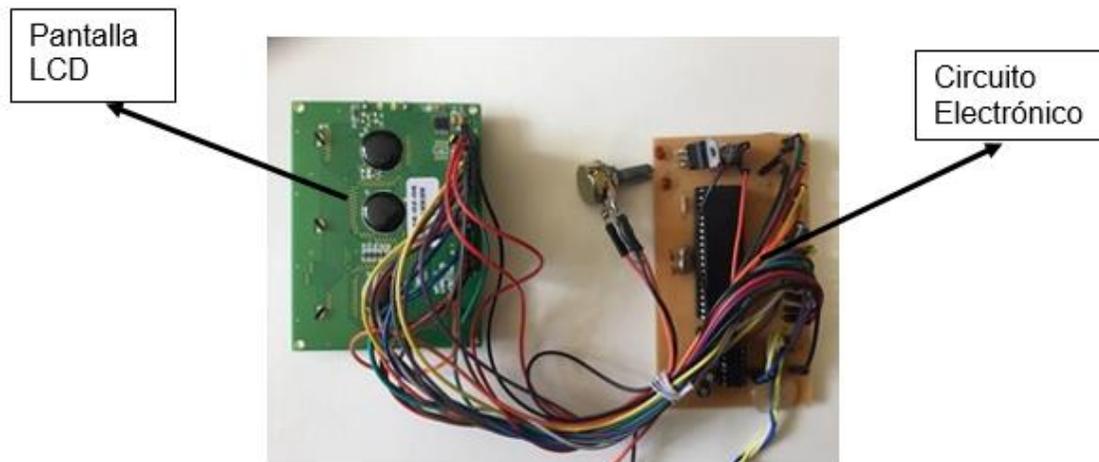


Figura 23. Montaje electrónico

Después de realizada la verificación antes mencionada, se continua con el ensamble del instrumento tapa por tapa.

El ensamble de la pantalla con la tapa frontal se realiza por medio de 4 tornillos con el fin de que la pantalla no se mueva ni se suelte, luego se realiza el ensamble del circuito con la parte inferior de la caja, donde se le diseñaron soportes para que no se mueva hacia los lados y pudiera golpearse con las paredes de la carcasa. (Ver figura 31)

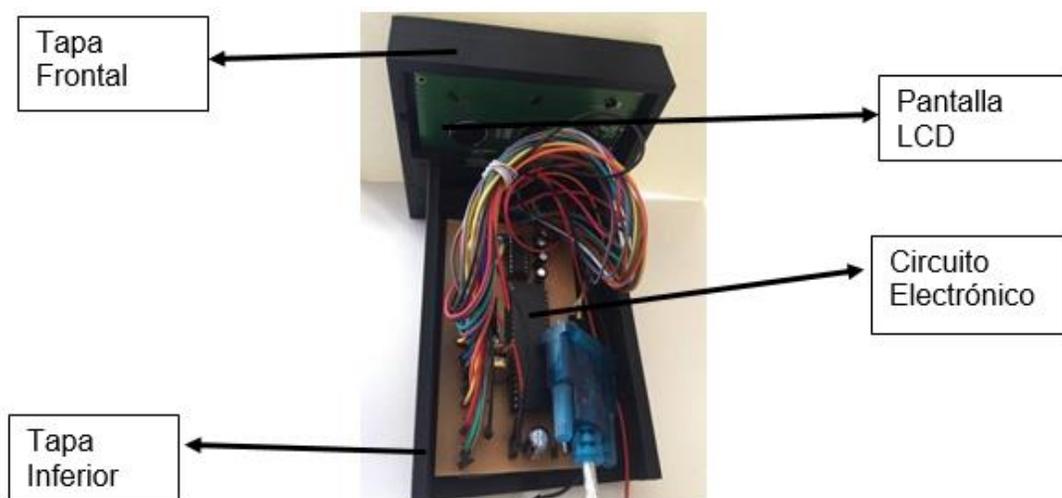


Figura 24. Vista superior del ensamble

La tercera parte del ensamble consiste en colocar la tapa superior, la cual entra a presión. Sin embargo, al colocarla queda con un poco de holgura la cual se soluciona colocando la tapa trasera.

Por último, se ubican en la parte trasera de la caja de contención los cables necesarios para su correcto funcionamiento, como lo son el cable de comunicación y el cable de poder, y así culminar con el proceso de ensamble. (Ver figura 32)

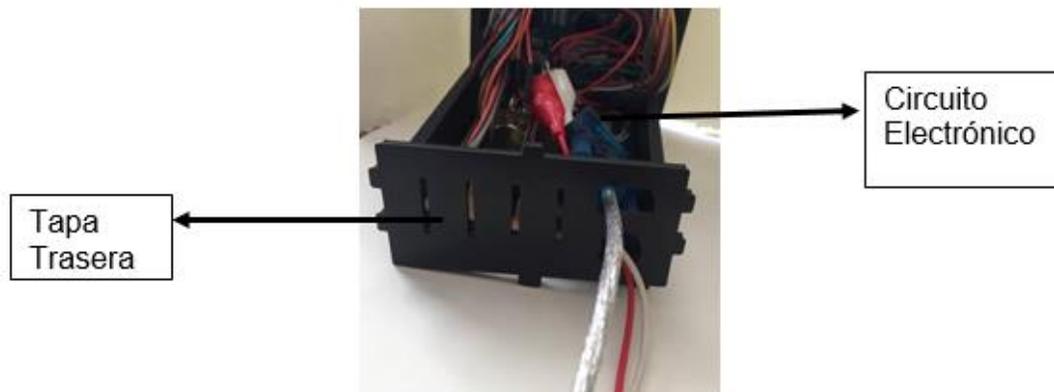


Figura 25. Vista posterior del ensamble

En la figura 33 se puede observar la vista isométrica del instrumento completamente ensamblado. En esta figura, se observa el producto final del diseño y de la metodología que fue implementada.

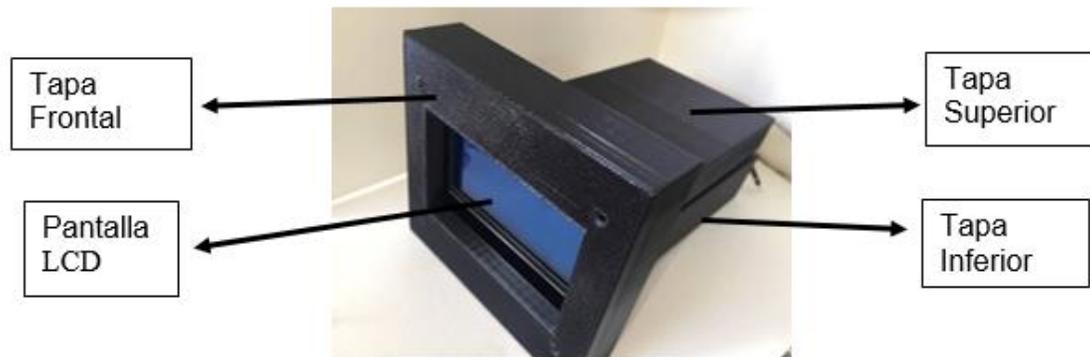


Figura 26. Vista isométrica del instrumento

En el ANEXO 2 se encuentra el video demostrativo del funcionamiento del instrumento.

Capítulo 3

Análisis de Resultados

Con el fin de realizar el análisis de resultados, se realiza una comparación entre los resultados obtenidos por el programa con unos resultados obtenidos teóricamente. Para realizar dicha comparación se tomará como parámetro comparativo datos sin desviación por temperatura, es decir, datos ISA como se mostrará a continuación:

Pressure altitude (ft)	presión (pa)
0	1013250
1000	97716.504
2000	94212.78
3000	90811.48
4000	87510.31
5000	84306.99
6000	81199.28
7000	78184.99
8000	75261.96
9000	72428.05
10000	69681.18
11000	67019.27
12000	64440.31
13000	61942.31
14000	59523.30
15000	57181.36

Figura 27. Resultados obtenidos para temperaturas estándar

Al programa se le han introducido valores de presión de 78184.99 pascales que corresponden a una altura de 7000 pies, con una temperatura estándar de 273 grados Kelvin y un ángulo de ascenso de 3 grados; se verifican los datos ingresados con la opción verificar y arroja como resultado una tasa de ascenso de 17.6979 m/s. Realizando los cálculos teóricos arroja los siguientes resultados:

Para el cálculo de la densidad se debe tener en cuenta la presión, la constante universal de los gases ideales y la temperatura en grados kelvin sin correcciones por desviaciones atmosféricas.

$$\rho = \frac{P}{RT}(6)$$

$$\rho = \frac{78184.99}{287.058 * 273}$$

$$\rho = 0.9976 \frac{kg}{m^3}$$

La presión estática se dará de acuerdo con el teorema de la estática de fluidos donde se tomará el efecto de la altura, donde la presión disminuirá inversamente de acuerdo aumenta la altura por tanto dicha presión estática será menor que la presión total.

$$P_n = \rho * g * h(7)$$

$$P_n = 9.807 * 0.9976 * (7000 * 0.3048)$$

$$P_n = 20873.99 \text{ pa}$$

Sabiendo que la suma de las presiones estática y dinámica da como resultado la presión atmosférica o total. Únicamente se tendrá como incógnita la presión dinámica de donde se podrá conocer la velocidad de vuelo.

$$q = P - P_n(8)$$

$$q = 78184.99 - 20873.99$$

$$q = 57311 \text{ pa}$$

$$v = \sqrt{2 * q * \rho} (9)$$

$$v = \sqrt{2 * 57311 * 0.9976}$$

$$v = 338.15 \frac{m}{s}$$

Según la teoría del rendimiento de aeronaves la tasa de ascenso podrá ser calculada con la relación del exceso de potencia y el peso, y una segunda teoría la cual sugiere que la tasa de ascenso podrá ser obtenida con la velocidad de vuelo de la aeronave y el ángulo de ascenso. Se tomará esta segunda teoría para hallar la tasa de ascenso.

$$rated = v * \text{sen}(\theta) (10)$$

$$rated = 338.15 * \text{sen}(3)$$

$$rated = 17.69 \frac{m}{s}$$

Finalmente, para poder ver el valor de la tasa de ascenso en el instrumento se debe ir al módulo graficador donde aparecerá la ventana mostrada en la figura 35, donde deberá colocarse el número del puerto COM (puerto serial) donde se conecta el instrumento.

Con el fin de saber el puerto COM al que se conectó el instrumento se debe ir al administrador de dispositivos del computador, luego se debe ir a la sección de puertos COM y LPT y allí se evidencia en que puerto COM del computador se conectó el instrumento.



Figura 28. Ventana del módulo graficador

Luego de colocar el número del puerto COM, se debe dar clic en el botón conectar con el fin de verificar si el número que se colocó es correspondiente a donde se conectó el instrumento, en caso de no ser así se mostrará un mensaje de alerta como se muestra en la siguiente imagen.

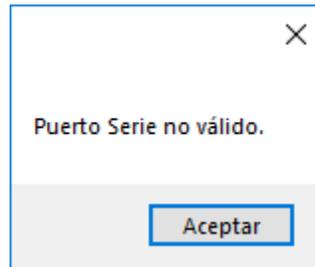


Figura 29. Mensaje de alerta puerto COM incorrecto



Figura 30. Envío de datos para su graficación

En la figura número 37, se evidencia como se realiza el envío de datos desde el módulo de graficación, antes de dar clic en el botón de enviar se debe dar enter justo en el momento en que el usuario termina de digitar el valor a enviar, esto se hace debido a que la lógica de programación y de envío de datos se hace en lenguaje hexadecimal y con el ingreso del enter termina la captura de datos y se realiza el envío correctamente hacia la LCD del instrumento.

Finalmente, como se puede ver en la figura número 38, la LCD del instrumento muestra el resultado del cálculo de la tasa de ascenso que se realizó previamente en el software, en los módulos anteriormente mencionados a lo largo del documento.



Figura 31. Visualización del resultado obtenido

Al momento de realizar las pruebas para el funcionamiento del instrumento de vuelo, se contaba con la versión beta del diseño mostrado en la pantalla LCD, esta es la observada en la figura 36, la cual está siendo mejorada para ser más amigable con el usuario y será presentada el día de la sustentación y presentación del proyecto. Esta versión incluirá mejoras en la presentación de los datos para el usuario y un gráfico más acertado a un indicador de velocidad vertical.

CONCLUSIONES

Como resultado de la ejecución del diseño y construcción de un indicador de velocidad vertical para el banco de aviónica de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá mediante el cumplimiento de los objetivos específicos se concluye:

- Para realizar la programación del software caza fallas se utilizó una deducción con base en presiones totales, estáticas y dinámicas ya que con un análisis por los teoremas de Bernoulli y Torricelli se genera una desviación de los datos más amplia con respecto a la deducción anteriormente mencionada.
- Los cálculos del programa se hicieron con base en altitudes por presión y no en altitudes por densidad debido a que la altitud por densidad se utiliza en cálculos para comparaciones del rendimiento de la aeronave mientras que la presión por altitud se toma con base a cuanta separación hay respecto a una (1) atmosfera estándar.
- Al utilizar programación por librerías y clases se reduce el tiempo de procesamiento y se exige menos consumo de maquina al realizar dichos procesos en comparación a si se realiza la programación siguiendo una única línea de código.
- Para realizar la simulación del funcionamiento del circuito, fue necesario programar el microcontrolador bajo lenguaje de C+ para poder realizar la conexión entre este y la interfaz del programa para el funcionamiento completo del instrumento de vuelo.
- En el prototipo final del instrumento tuvo que utilizarse un microcontrolador PIC 18F4550 ya que el 16F887 que estaba presupuestado a usarse inicialmente, su capacidad de memoria y de procesamiento de datos era insuficiente para el procesamiento y graficación de los datos en la pantalla LCD.
- El instrumento fue programado en la pantalla de acuerdo con las especificaciones dadas en la investigación, sin embargo, teniendo en cuenta el tamaño y color de la pantalla estas fueron limitantes para poder crear una resolución optima en el instrumento y reduciendo a este a un solo color.
- La cadena de datos entregada por la computadora de vuelo no se encuentra exacta debido a errores de esta, por lo tanto, la cadena de importación se encuentra como una

variable abierta dentro del programa para que así se pueda ingresar una cadena de datos y no necesariamente sea la enviada por el instrumento.

RECOMENDACIONES

Para la manipulación del instrumento es adecuado tener presente las siguientes recomendaciones:

1. Controlar la corriente suministrada al instrumento, debido a que puede dañar varios componentes de este.
2. Evitar caídas de gran altura, ya que esto podría dañar la pantalla LCD.
3. Revisar periódicamente, los cables de conexión para evitar fallas en su funcionamiento.
4. No aplicar grandes cargas al hardware ya que puede llegar a deformarse y dañar partes importantes del indicador de velocidad vertical.
5. Se recomienda revisar los datos arrojados por el “air data computer” ya que sus resultados se encuentran fuera de la realidad, no son confiables y adicionalmente ya este equipo se encuentra desactualizado por lo que al momento de generar una comunicación con los demás instrumentos generará errores y datos que no son confiables en los instrumentos de vuelo.

REFERENCIAS

Cely, F., Ojeda, D., & Jimenez, J. (2008). Diseño de un laboratorio didactico de avionica para la Universidad de Sanbuenaventura . Bogotá.

Gimenez, N. P. (2005). Representación de Instrumentos de Vuelo. Cataluña.

Lozada, J. M., & Mejia, A. (2013). Propuesta de digitalización de la T básica de isntrumentos de vuelo para un ultraligero . Ciudad de Mexico .

Muñoz, M. A. (s.f.). Manual de vuelo. Obtenido de

<http://www.manualvuelo.com/INS/INS24.html>

Ogata, K. (s.f.). Sistemas de control en tiempo discreto . TKM productions .

Pallas, R. (2007). Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones PIC. Barcelona : Marcombo .

Tabango, C. R. (2013). Analisis de los sistemas de avionica, control electronico y electrico de la aeronave modelo RV-10 y desarrollo del manual de instalacion del arnes electrico y electronico .

Sangolqui.

Anexo I

Matriz de Decisión Diseño de Hardware

Cada uno de los ítems de selección tiene un porcentaje de decisión acorde al color, es decir:

- Rojo = 0% - 30 % de efectividad en el diseño
- Naranja = 31% - 70% de efectividad en el diseño
- Verde = 71% - 100% de efectividad en el diseño

	DISEÑO 1	DISEÑO 2	DISEÑO 3
Ubicación Banco de Aviónica	Difícil manejo en el banco de aviónica por acceder dimensiones.	Difícil manejo en el banco de aviónica por acceder dimensiones.	Cumple con las especificaciones del banco de aviónica, más fácil de ubicar
Construcción Hardware	Construcción sencilla y económica, sin importar método	Construcción sencilla y económica, sin importar método	Construcción un poco más demorada y compleja al tener tantas piezas sueltas
Ensamble	Fácil ensamble de las piezas, ya que solo se cuenta con dos piezas del hardware, aseguramiento por medio de presión.	Fácil ensamble de las piezas, ya que solo se cuenta con dos piezas del hardware, además de aseguramiento por medio de tornillos.	Fácil ensamble, manteniendo el orden de las piezas y aseguramiento por medio de tornillos.
Mantenimiento	Mantenimiento fácil, aunque presentaría desgaste en los ajustes de las piezas, ya que se diseñó pensando en un aseguramiento por presión	Mantenimiento fácil y rápido acceso a cada una de las partes que componen el instrumento de vuelo.	Mantenimiento fácil, rápido acceso por separado de cada uno de los componentes del indicador de velocidad vertical

Matriz de Decisión Materiales Hardware

Cada uno de los ítems de selección tiene un porcentaje de decisión acorde al color, es decir:

- Rojo = 0% - 30 % de efectividad en el diseño
- Naranja = 31% - 70% de efectividad en el diseño
- Verde = 71% - 100% de efectividad en el diseño

	MADERA	ALUMINIO	IMPRESIÓN 3D
PROPIEDADES DEL MATERIAL	Material dieléctrico, no conductivo	Material dieléctrico, no conductivo	Material dieléctrico, no conductivo
COSTOS	Precios dependiendo el tipo de madera y acabado que se le quiera dar a las piezas	Alto precio, ya que se necesitaría aleaciones de aluminio, difícil de conseguir	Precios económicos, se cobra según tiempo de máquina.
FACIL MANUFACTURA	Fácil manufactura, pero entrega del trabajo demorado ya que dependen del acabado de las piezas	Difícil manufactura, mayor proceso para construir cada una de las piezas.	Fácil manufactura, solo es necesario tener una máquina de impresión 3D