



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
“AVIONES”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:**

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
“AVIONES”**

**TEMA: “ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DE UN INDICADOR DE
NIVEL DE COMBUSTIBLE PARA LA MAQUETA DEL
SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL AVIÓN T - 33”**

AUTOR: LLERENA NAVARRETE DANIEL ESTEBAN

DIRECTOR: Crnl. E.M.T. Avc. ING. VÍCTOR AGUIRRE

LATACUNGA

2015

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de graduación fue realizado en su totalidad por el A/C Sr. LLERENA NAVARRETE DANIEL ESTEBAN como requerimiento parcial para la obtención del título de TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES.

CrnI.E.M.T.Avc. Víctor Aguirre
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Latacunga, Mayo de 2015

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS**

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

YO, LLERENA NAVARRETE DANIEL ESTEBAN.

DECLARO:

El proyecto de grado titulado: **“ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DE UN INDICADOR DE NIVEL DE COMBUSTIBLE PARA LA MAQUETA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL AVIÓN T – 33”** ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en el pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en las citas correspondientes, cuyas fuentes se incorporaran en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado.

Latacunga, Mayo de2015.

Sr. LLERENA NAVARRETE DANIEL ESTEBAN

CC: 172129107-6

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS**

AUTORIZACIÓN

Yo, LLERENA NAVARRETE DANIEL ESTEBAN.

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución, el proyecto de grado titulado “**ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DE UN INDICADOR DE NIVEL DE COMBUSTIBLE PARA LA MAQUETA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL AVIÓN T – 33**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sr. LLERENA NAVARRETE DANIEL ESTEBAN.

CC: 172129107-6

DEDICATORIA

A Dios.

Por darme la vida y permitirme luchar día a día para alcanzar mis metas con éxito, por darme la fuerza y voluntad para salir adelante además de inteligencia para tomar las mejores decisiones.

A mis padres Martha y Fabián.

Por educarme y recibir de ellos todo lo necesario para cumplir con mis metas además de su apoyo y consejos que me fueron muy útiles en MI diario vivir.

A mis tíos Mercedes y Marcelo.

Que si no fuera por su apoyo no hubiesen podido culminar mis estudios universitarios, cabe recalcar sus palabras que siempre me motivaron a salir adelante.

A mi familia.

Que siempre estuvieron conmigo en los buenos y malos momentos de mi vida.

A mis compañeros, amigos y profesores que hicieron de mi estadía en la universidad más agradable siempre compartiendo momentos en las aulas que nunca olvidare.

Daniel Esteban Llerena Navarrete

AGRADECIMIENTO

Este es un momento muy importante en mi vida. Regreso la mirada, veo el camino recorrido y no tengo más que agradecer a Dios por ser el centro de nuestra familia, por la fortaleza que nos ha dado en los momentos difíciles a pesar de los cuales hemos podido mantenernos unidos porque ha sido en su regazo donde hemos encontrado la fuerza necesaria para seguir adelante.

A mis padres, Fabián y Martita que me dieron el respaldo necesario para que pueda alcanzar uno de mis sueños, pero sobre todo por el amor, el cariño, la comprensión y la paciencia que me han demostrado durante mi vida.

A mis hermanos: Néstor y Andrés que han sido mi apoyo, el brazo donde me he sostenido y he comprendido a cabalidad lo que es ser parte de una familia.

A mi primo José Alejandro por su ayuda para que pueda desarrollar esta tesis.

A mis abuelitos, aunque ya no están presente, siempre quisieron lo mejor para mí.

Es oportuno agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas por la excelente educación que nos ha brindado al Crnl. E.M.T. Avc. Ing. Víctor Aguirre Cabrera por todo su compromiso, dedicación y consejos, a mis maestros y autoridades que con su capacidad y conocimiento nos permiten llegar a ser profesionales que enorgullezcan a nuestra patria.

A mis amigos y compañeros por todos los momentos que vivimos juntos.

GRACIAS A TODOS POR FORMAR PARTE DE MI VIDA.

Daniel Esteban Llerena Navarrete

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE CUADROS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO I	1
EL TEMA	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5 ALCANCE.....	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. INTRODUCCIÓN	5
2.2. COMBUSTIBLE.....	6
2.2.1. GASOLINAS PARA MOTORES DE PISTÓN O ALTERNATIVOS (AVGAS)	6

2.2.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL AVGAS	7
2.2.2. COMBUSTIBLE PARA MOTORES A TURBINA	15
2.2.2.1. TIPOS DE COMBUSTIBLE DE MOTORES A TURBINA	16
2.2.2.2. PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES.....	17
2.3. SISTEMA DE COMBUSTIBLE	20
2.3.1 DEFINICIÓN.....	20
2.3.2. CLASIFICACIÓN	20
2.3.3. TIPOS DE SISTEMAS DE COMBUSTIBLE	21
2.2.3.1 SISTEMA DE COMBUSTIBLE PARA AVIONES JET	21
2.2.3.2.1 SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO	22
2.2.3.2. SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	25
2.3.3.3. SUBSISTEMA DE VENTILACIÓN DE COMBUSTIBLE.....	27
2.3.3.4. SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE	27
2.3.3.5. SUBSISTEMA DE MEDICIÓN E INDICACIÓN DE CANTIDAD DE COMBUSTIBLE	30
2.3.3.6. INSTRUMENTOS DIGITALES	38
2.3.3.7. SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL AVIÓN T – 33.....	39
2.3.3.8. INDICADOR Y TRANSMISOR DE CANTIDAD DE COMBUSTIBLE.....	40
CAPÍTULO III.....	43
DESARROLLO DEL TEMA.....	43
3.1. GENERALIDADES.....	43
3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	43
3.2.1 SIMULADOR DEL SISTEMA DE INDICACIÓN DE COMBUSTIBLE.....	43
3.2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUETA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE	44
3.2.1.2 OPERACIÓN DE LA MAQUETA DEL SISTEMA DE INDICACIÓN DE COMBUSTIBLE	44
3.3. DISEÑO, MODELAMIENTO, PROGRAMACIÓN Y ELABORACIÓN DEL INDICADOR DE COMBUSTIBLE.....	45
3.3.1 COMPONENTES.....	45
3.3.1.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN	45

3.3.1.2 TRANSMISOR DE COMBUSTIBLE DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE DEL FUSELAJE DEL AVIÓN T – 33	47
3.3.1.3 MICROCONTROLADOR PIC 16F877A.....	49
3.3.1.4 PANTALLA LCD.....	56
3.3.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL INDICADOR DE COMBUSTIBLE	59
3.3.2.1 DISEÑO DEL INDICADOR DE COMBUSTIBLE.....	59
3.3.2.2 ELABORACIÓN DEL CIRCUITO EN PROTOBOARD	61
3.3.2.4 TOMA DE MEDIDAS DE VOLTAJE DESDE EL TRANSMISOR DE CANTIDAD DE COMBUSTIBLE.....	67
3.3.2.5 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	71
3.3.2.6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	86
3.4 INTEGRACIÓN DEL TRANSMISOR DE COMBUSTIBLE AL INDICADOR.....	88
CAPÍTULO IV	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
4.1. CONCLUSIONES	90
4.2. RECOMENDACIONES.....	91
GLOSARIO DE TÉRMINOS	92
ABREVIATURAS.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. AVIÓN EN REABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE.....	6
FIGURA 2. CURVA DE DESTILACIÓN DE DIFERENTES COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN...	8
FIGURA 3. DETONACIÓN EN UN CILINDRO.....	10
FIGURA 4. FACTOR DE DETONACIÓN.....	11
FIGURA 5. PRE ENCENDIDO MOTOR DE PISTÓN.....	12
FIGURA 6. IDENTIFICACIÓN DE COLORES Y MARCAS DEL COMBUSTIBLE DE AVIACIÓN	15
FIGURA 7. PRODUCTOS QUÍMICOS PARA EL CONTROL DE BACTERIAS Y MICROBIOS.	19
FIGURA 8. DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE RÍGIDO.	23
FIGURA 9. TANQUE DE COMBUSTIBLE FLEXIBLE.....	24
FIGURA 10. DEPÓSITO INTEGRAL.....	25
FIGURA 11. SISTEMA DE COMBUSTIBLE POR GRAVEDAD.....	25
FIGURA 12. SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE ALIMENTACIÓN POR BOMBAS.....	26
FIGURA 13. UBICACIÓN DE LOS TANQUES DE VENTILACIÓN DEL AVIÓN.	27
FIGURA 14. ALIMENTACIÓN AL MOTOR.....	28
FIGURA 15. ALIMENTACIÓN AL APU.....	29
FIGURA 16. ALIMENTACIÓN Y VACIADO.	29
FIGURA 17. INDICADOR VISUAL DE COMBUSTIBLE.	31
FIGURA 18. SISTEMA DE INDICACIÓN POR BARRA DE GOTEO.....	32
FIGURA 19. INDICADOR MECÁNICO DE COMBUSTIBLE.	32
FIGURA 20. INDICADOR DE COMBUSTIBLE ELÉCTRICO.	33
FIGURA 21. TRANSMISOR DE COMBUSTIBLE TIPO CAPACITOR.	34
FIGURA 22. PLACA INTERNA Y PLACA EXTERNA DE UN CAPACITOR.	35
FIGURA 23. PUENTE DE CAPACITANCIA DEL SISTEMA DE CANTIDAD DE COMBUSTIBLE.	35
FIGURA 24. UNIDAD COMPENSADORA DEL TANQUE.....	36
FIGURA 25. CAPACITANCIA DE UN CIRCUITO DE CORRIENTE ALTERNA.	38
FIGURA 26. INDICADORES DE COMBUSTIBLE DIGITALES.....	39
FIGURA 27. TANQUE DE COMBUSTIBLE DEL FUSELAJE DEL AVIÓN T-33.....	40

FIGURA 28. DIAGRAMA DE CIRCUITO DEL SISTEMA DE INDICACIÓN DE COMBUSTIBLE.	41
FIGURA 29. FUENTE DE ALIMENTACIÓN S – 5 -50.....	46
FIGURA 30. CONJUNTO DE TRANSMISOR Y FLOTADOR DE COMBUSTIBLE.....	47
FIGURA 31. MECANISMO INTERNO DEL TRANSMISOR DE COMBUSTIBLE.....	48
FIGURA 32. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSMISOR DE COMBUSTIBLE....	49
FIGURA 33. CONFIGURACIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR.....	50
FIGURA 34. PUERTOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL MICROCONTROLADOR.....	51
FIGURA 35. FORMA DE CONECTAR EL OSCILADOR TIPO CRISTAL AL PIC.....	53
FIGURA 36. CONEXIÓN DEL BOTÓN RESET AL PIC.....	55
FIGURA 37. PANTALLA LCD JHD162G.....	56
FIGURA 38. CONEXIÓN DE LOS PINES DEL LCD.....	57
FIGURA 39. DIMENSIONES DE LA PANTALLA LCD JHD162G.....	58
FIGURA 40. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL INDICADOR DE COMBUSTIBLE.....	59
FIGURA 41. ESQUEMA DE DISEÑO DEL CIRCUITO.....	60
FIGURA 42: CIRCUITO ELABORADO EN PROTEUS.....	61
FIGURA 43. ELABORACIÓN DEL CIRCUITO EN PROTOBOARD.....	63
FIGURA 44. TANQUES DE COMBUSTIBLE.....	66
FIGURA 45. PINES DE SALIDA DEL TRANSMISOR DE SALIDA.....	68
FIGURA 46. ESTRUCTURA DE PROGRAMACIÓN EN PICK C.....	72
FIGURA 47. GRÁFICA VOLTAJE VS RESULTADO EN LITROS.....	76
FIGURA 48. GRÁFICA DE VOLTAJE VS RESULTADO EN GALONES.....	76
FIGURA 49. QUEMADOR DE PIC.....	86
FIGURA 50. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO EN LA FUNCIÓN LITROS.....	87
FIGURA 51. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO EN GALONES.....	87
FIGURA 52. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO EN LA FUNCIÓN TEST LEDS.....	88
FIGURA 53. UBICACIÓN DE PARTES DE LOS COMPONENTES INTERNOS DEL TRANSMISOR DE CANTIDAD DE COMBUSTIBLE.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: ESPECIFICACIONES DE GASOLINAS PARA AVIACIÓN.....	13
TABLA 2: ESPECIFICACIONES DE COMBUSTIBLES PARA TURBORREACTORES.....	17
TABLA 3: DESCRIPCIÓN DE LOS PINES DEL MICROCONTROLADOR.	51
TABLA 4: FRECUENCIA RECOMENDADA DE LOS CONDENSADORES PARA SU USO EN EL OSCILADOR.....	54
TABLA 5: PARÁMETROS DE OPERACIÓN	58
TABLA 6: DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL CIRCUITO DEL INDICADOR DE COMBUSTIBLE.	62
TABLA 7: TABLA DE MEDICIÓN DE VOLTAJE DADO POR EL SENSOR Y POR EL MICROCONTROLADOR.	69
TABLA 8: TABLA DE MEDICIÓN POR CADA UNIDAD DE LITRO Y OBTENCIÓN DE VOLTAJE IDEAL.....	70
TABLA 9: TABLA DE MEDIDAS DE VOLTAJE USANDO UNIDADES DE PIC.....	75
TABLA 10: TABLA DE VARIABLES DE ENTRADA.....	77
TABLA 11: TABLA DE VARIABLE DE PROCESOS.	77
TABLA 12: TABLA DE VARIABLES DE SALIDA	78
TABLA 13: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUETA.....	88

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1:SIMBOLOGÍA DE UN DIAGRAMA DE FLUJO. 79

RESUMEN

La construcción de este indicador permite utilizar las diferentes áreas de especialidad ya que la información recogida y el conocimiento abarca el área de motores, fuselaje y electrónica con mayor investigación en esta última porque se trata de un instrumento digital, también permite mejorar el material didáctico de los laboratorios en específico de la maqueta del sistema de combustible del avión T- 33. Para el desarrollo del presente trabajo se incluye la debida justificación que permite visualizar la importancia y aporte del presente trabajo para la Institución, determinar los Objetivos Generales y Específicos que permitan enmarcar el camino a seguir y evaluar si al final se lograron los resultados esperados. El marco teórico de este trabajo presenta todo lo correspondiente a la elaboración del proyecto, detallando las generalidades del sistema de combustible y sus diversos componentes, también explica la parte práctica que consiste en la construcción del proyecto en sus diferentes etapas. El desarrollo del tema precisa el análisis, el diseño y la programación correspondiente para la construcción del indicador y del conocimiento de las características para la prueba y posterior montaje en la maqueta y obtener un óptimo funcionamiento para que pueda ser remplazado. Esta investigación servirá para que el estudiante pueda tener conocimiento sobre el funcionamiento del sistema de combustible de la aeronave y el funcionamiento de un instrumento ya que contará con un respectivo manual de funcionamiento, además de la respectiva investigación.

PALABRAS CLAVES:

- **INSTRUMENTO DIGITAL.**
- **SISTEMA DE COMBUSTIBLE.**
- **CONSTRUCCIÓN.**
- **PROGRAMACIÓN.**
- **INDICADOR.**

ABSTRACT

The construction of this indicator allows using different specialty areas as information collection and knowledge cover the area of airframe, engine and electronics area with more emphasis on the last one because it's a digital instrument; it also improves the learning material at specific laboratories of T – 33 airplane fuel system model. This work includes adequate justification to visualize the importance and contribution of this work for the organization, identify general and specific objectives to find the proper way and assess if at the end expected end results were achieved. The theoretical frame work related to the project development, drafting, detailing of the fuel system generalities and its various components, also explains the practical consisting of project construction at different stages. The development needs analysis, design and programming for the indicator construction and knowledge of characteristics for testing and subsequent installation in the model and obtains optimum performance so it may be replaced. This research will help the student to have knowledge about the aircraft fuel system operation and instrument functioning since it will have an operating manual in addition to the investigation.

KEYWORDS:

- **DIGITAL INSTRUMENT.**
- **FUEL SYSTEM.**
- **CONSTRUCTION.**
- **PROGRAMMING.**
- **INDICATOR.**

CAPÍTULO I

EL TEMA

1.1 Antecedentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, a través de la Unidad de Gestión de Tecnologías oferta la carrera de Mecánica Aeronáutica, dedicada a formar tecnólogos especializados en la rama de mantenimiento aeronáutico con el fin de proporcionar a la industria aeronáutica, personal capacitado y con conocimientos que sirven para el desarrollo de la aviación.

Esto se lo realiza a través de la instrucción teórico práctica por parte del personal de instrucción del plantel, además cuenta con la ayuda de los diferentes talleres y laboratorios que facilitan el proceso de enseñanza - aprendizaje.

Actualmente la aviación está en constante avance y mejoras tecnológicas que ayudan a que sea uno de los medios de transporte más seguros y confiables, siendo como pilar fundamental para el avance la instrucción a las tripulaciones y personal de mantenimiento para un correcto funcionamiento de las aeronaves.

Teniendo en cuenta todo lo dicho y realizando una observación muy detallada de las diferentes maquetas con las que cuenta esta institución, se concluyó que se debe implementar ciertos elementos que van a ayudar a que el estudiante obtenga nuevos conocimientos acerca de tecnologías actualmente utilizadas en el campo aeronáutico.

Este proyecto ayudará a entender de mejor manera como trabaja el subsistema de indicación de combustible, a identificar y diferenciar el trabajo de los instrumentos analógicos y digitales.

1.2 Planteamiento del problema

La falta de instrumentos de indicación de combustible digital en los laboratorios de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, considerando que es muy importante que el personal que se forma obtenga conocimientos acerca de instrumentación digital, lleva a plantear el problema de ¿cómo desarrollar un indicador de cantidad de combustible digital para posteriormente implementarlo en los laboratorios de la Unidad de Gestión de Tecnologías?

La importancia que tiene el sistema de indicación de combustible en la aeronave es vital para el vuelo seguro de una aeronave, teniendo en cuenta que en las aeronaves de última generación utilizan instrumentos de indicación digital, para ello es muy importante que el estudiante obtenga conocimientos básicos en este tipo de indicadores.

De no implementar en los talleres una maqueta sobre el sistema de indicación de combustible digital el estudiante no obtendría un conocimiento completo sobre el funcionamiento de instrumentos de indicación digitales.

1.3 Justificación e importancia.

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de mejorar los talleres y laboratorios de la Unidad de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas, ya que ciertas ayudas didácticas como maquetas que cuenten con indicación digital no existen en los talleres del plantel que sirve a la formación del estudiante.

Por estas razones se debe realizar la construcción de este dispositivo con tecnología digital que da una medida precisa y mejor ilustrada de la cantidad de combustible que se encuentra en los depósitos de la maqueta.

Actualmente en la aviación existen muchos cambios tecnológicos como es el caso de los instrumentos que se lleva en la cabina de mando de la aeronave, que antes eran totalmente analógicos a ser totalmente digitales, reduciendo la cantidad de indicadores y relojes que existía a solamente pantallas, que nos ilustran la información del estado del avión de una mejor manera. Por esta razón es muy importante que el estudiante esté familiarizado con sistemas modernos ya que permite tener un conocimiento que permita desarrollarse en campo laboral sin ningún inconveniente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Analizar y construir un indicador de cantidad de combustible digital, conjuntamente un sistema de almacenamiento, utilizando la unidad de transmisión de combustible del avión T – 33, para simular el subsistema de indicación de combustible de la aeronave antes mencionado e implementarlo en los talleres de la Unidad de Gestión de Tecnologías.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información referente al funcionamiento de la unidad de transmisión de cantidad de combustible del avión T – 33.
- Elaborar y programar un circuito electrónico de un indicador de cantidad de combustible digital, comprobar su funcionamiento mediante la simulación en computadora.
- Construir una maqueta que ilustre el funcionamiento de un sistema de combustible y acoplar el circuito de indicación digital.
- Realizar pruebas de funcionamiento a la maqueta y analizar los resultados.
- Elaborar un instructivo de operaciones y mantenimiento para la maqueta y analizar los resultados.

1.5 Alcance.

El presente trabajo va dirigido a todos los estudiantes de la Unidad de Gestión de Tecnologías especialmente a los alumnos de la Carrera de Mecánica Aeronáutica, así como al personal docente encargados de dictar la cátedra de sistema de combustible del avión y para las personas interesadas en el funcionamiento de este tipo de indicación, permitiendo llegar a obtener un mejor conocimiento sobre este tema.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

Todos los aviones modernos cuentan actualmente con varios sistemas mecánicos y electrónicos complejos que operan de forma independiente, y todos a la vez, hacen que se comporte como una sola unidad proporcionando energía y movimiento a todos los componentes del avión permitiendo que vuele de una manera eficiente y segura.

Uno de los sistemas vitales para el avión es el sistema de combustible, que alimenta a los motores con carburantes para el funcionamiento del grupo moto propulsor, además de controlar el flujo y descontaminarlo para un funcionamiento seguro de la aeronave. Cuenta con varios elementos para su operación como son. Bombas, filtros, líneas de combustible, dispositivos de medición y monitoreo, siendo fabricadas bajo estrictas normas dadas por las diferentes autoridades aeronáuticas.

Una de las funciones del sistema de combustible es el monitoreo y el control del mismo cuenta con varios dispositivos que ayudan a los pilotos a verificar la cantidad de combustible que tiene el avión a bordo y el flujo que alimenta al motor por medio de medidores o sensores que están en los tanques, esto depende del tipo de avión e indicadores que muestran la cantidad por medio de instrumentos analógicos y digitales de igual manera la selección de los instrumentos depende de la configuración del avión.

Como todo componente mecánico y electrónico puede sufrir daños o tener fallos debido al uso continuo para esto se realiza un mantenimiento preventivo y si la situación requiere pasa ser correctivo en muchos casos, con el fin de que el sistema funcione de una manera segura y evitar

percances que pueden afectar a la seguridad de la operación del avión, siendo realizado por personal capacitado en el área.

2.2. Combustible

La energía que propulsa a un avión, independientemente del tipo de motor utilizado, se obtiene a partir de la conversión de la energía química contenida en el combustible a energía mecánica, es decir quemando combustible.

Existen dos tipos de combustible para aviación dependiendo del tipo de motor en el que se va a usar, se tiene la gasolina de aviación o AVGAS que se utiliza en motores a pistón o recíprocos y el queroseno o jet fuel que es utilizado en motores de turbina.



Figura1. Avión en reabastecimiento de combustible.

Fuente: (<http://www.elcomercio.com>, 2012)

2.2.1. Gasolinas para motores de pistón o alternativos (AVGAS)

Las gasolinas se obtienen del calentamiento del crudo a temperaturas entre 45 °C y 150 °C. El resultado obtenido se llama gasolina de primera destilación. A partir de los 150 °C se obtiene el combustible empleado en motores a reacción.

Es importante que las gasolinas empleadas en aviación deban cumplir ciertas propiedades físicas que son las siguientes:

- **Volatilidad:** Es la propiedad que mide la facilidad de la sustancia para pasar del estado líquido al estado gaseoso.
- **Antidetonante:** propiedad que mide la resistencia de la gasolina a una combustión irregular.
- **Formación de vapor:** el vapor puede obstruir las secciones de paso de la tubería que alimenta al motor, y descebar las bombas de combustible, originando el conocido vapor rock.
- **Estabilidad del combustible:** Evita la formación de residuos sólidos en los tanques de almacenamiento.
- **Anticorrosivo:** Previene la corrosión de los diferentes componentes del combustible.

2.2.1.1. Características del AVGAS

➤ **Volatilidad**

Es una de las características más importantes del combustible. La volatilidad es un término usado para describir la facilidad con la que una sustancia cambia del estado líquido a gaseoso o vapor, para motores alternativos se necesita un combustible altamente volátil debido a que la gasolina de entrar al carburador y posteriormente debe vaporizarse para que se puedan quemar en los cilindros y producir la combustión.

El combustible con baja volatilidad se evapora lentamente y eso produce que el motor demore en arrancar, que se caliente lentamente y mala aceleración además de una desigual distribución de combustible a los cilindros, pero si el combustible es demasiado volátil puede causar una

excesiva detonación que ocasiona la obstrucción de las cañerías por el vapor.

Las refinерías cumplen ciertas especificaciones conforme a las necesidades de la industria aeronáutica si una de las más importantes el porcentaje mínimo de gasolina que se debe evaporar a determinadas temperaturas.

Mediante ensayos se ha podido relacionar el comportamiento del motor con la temperatura de evaporación de la gasolina. Las relaciones más importantes se establecen a través de la curva de destilación de combustible.

La curva de destilación determina el porcentaje de combustible que se evapora a temperatura determinada

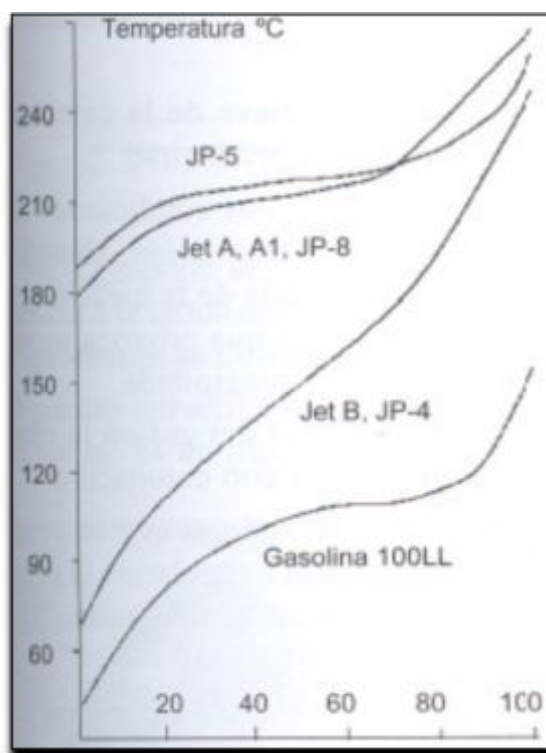


Figura2. Curva de destilación de diferentes combustibles de aviación

Fuente: (Oñate, 2007)

En este sentido son muy importantes los tres valores numéricos siguientes:

- a) **Punto del 10 %:** en este tramo el combustible se evapora a temperatura ambiente y se determina las características de puesta en marcha del motor.
- b) **Punto del 50 %:** en este punto se relacionan las características de aceleración del motor a temperatura ambiente.
- c) **Punto del 90 %:** determina que el total de la gasolina ha pasado a la fase gaseosa en el cilindro a una temperatura moderada.

➤ **Detonación. Índice de octano**

La detonación es la rápida e incontrolable explosión de combustible debido a la alta presión y temperatura del combustible en la cámara de combustión.

En condiciones normales de funcionamiento las bujías inflaman la mezcla carburada y la llama se propaga rápidamente por todo el volumen de la cámara de combustión. La propagación progresiva de la llama es clave de la combustión normal ya que transcurre un cierto tiempo, aunque corto, al producirse.

Por otro lado la propagación de la llama es diferente en condiciones anormales de funcionamiento esto se denomina detonación. Cuando un motor funciona con detonación, la presión que origina la parte de la mezcla que se inflama contra la que no se ha inflamado todavía es tan alta que provoca su inflamación espontánea, produciendo el sobrecalentamiento del motor además de pérdida de potencia y daños considerables en el mismo.

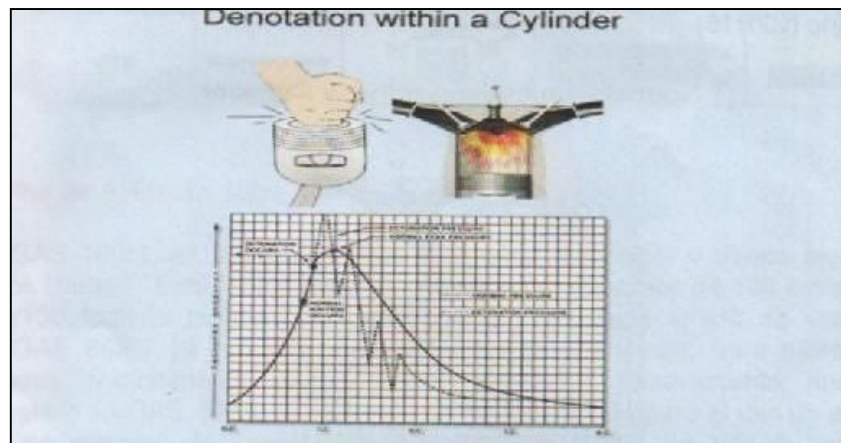


Figura3. Detonación en un cilindro.

Fuente: (F.A.A; 2012)

La resistencia del combustible a la detonación se llama índice de octano, descubriéndose que las gasolinas ricas en heptano, un hidrocarburo con siete átomos de carbono era muy detonante, y las gasolinas con otra porción de hidrocarburo llamado asotano (C_8H_{18}) presentaban gran resistencia a la detonación.

El índice de octano asegura que una gasolina probada en un motor, experimental tenga una detonación moderada igual a la mezcla de una gasolina que tenga por número indicativo de heptano. Así una gasolina de 98 octanos se comporta en el motor experimental de laboratorio igual, que una gasolina de mezcla 98 por cien de asotano y dos por cien de heptano (C_7H_{16}).

La gasolina se mezcla con compuestos antidetonantes para aumentar la resistencia a la detonación. El compuesto que se emplea es el plomo de tetra etilo (TEL). Antiguamente se usaba plomo tetra metilo, anilina y níquel tetra carbonilo

El tetra etilo se obtiene del cloruro de etileno y aleación de plomo y sodio, es un líquido muy tóxico.

➤ **Factor de detonación**

Todas las variables que tienden a aumentar la temperatura de la mezcla que entra en el cilindro que son factores de riesgo de detonación.

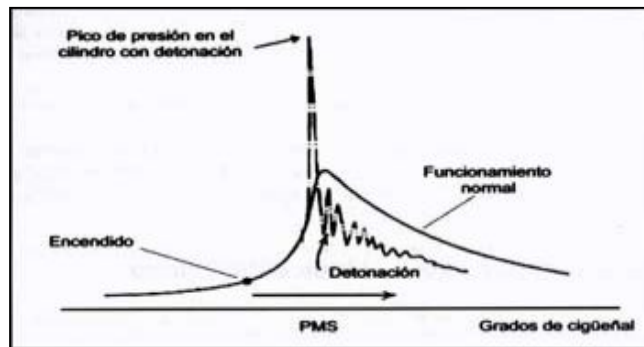


Figura4. Factor de detonación.

Fuente: (F.A.A; 2012)

La temperatura de la mezcla es el factor más importante que afecta a la detonación. Los factores que favorecen a la detonación son los siguientes:

- a) Relación de compresión alta del motor, porque aumenta la temperatura de la carga de aire que se introduce en el cilindro.
- b) Temperatura del aire de ambiente alta.
- c) Temperatura de los cilindros alta.
- d) Presión de admisión alta.

➤ **Pre encendido**

Es la combustión temprana del combustible en el cilindro debido a la presencia de puntos calientes en la cámara de combustión, normalmente focos incandescentes de carbonilla, depósitos metálicos en las bujías, etc.



Figura5. Pre encendido motor de pistón

Fuente: (F.A.A; 2012)

➤ **Bloqueo de vapor (vapor rock)**

Se llama bloqueo de vapor (vapor lock) a la tendencia que tiene la gasolina de aviación a evaporarse de manera excesiva en las cañerías del sistema de combustible. La formación de burbujas dificulta o impide el funcionamiento normal del motor.

➤ **Aditivos**

La gasolina se mezcla con compuestos antioxidantes, anticorrosivos y otros con el fin de aumentar su estabilidad durante el almacenaje, proteger las superficies metálicas del motor de la acción corrosiva de la propia gasolina, y proporcionar cualidades adicionales. Los aditivos actuales son los siguientes:

➤ **Antioxidantes**

Que previenen la oxidación y formación de depósitos de goma en los componentes del sistema de combustible.

➤ **Disipadores de estática**

Son compuestos que disminuyen la carga de electricidad estática que adquiere la gasolina. Estos aditivos no excluyen la necesidad de poner a masa el avión cuando va a ser repostado.

➤ **Anticorrosivos**

Protegen de la corrosión de las superficies metálicas del sistema de combustible.

➤ **Anti hielo**

Compuesto que disminuye el punto de congelación del agua precipitada en los depósitos de combustible, evitando la formación de cristales de hielo que pueden obstruir el paso de gasolina hacia el motor en vuelo en altura.

➤ **Inhibidores catalíticos**

Que disminuyen los efectos catalíticos del cobre y otros metales sobre la oxidación prematura de la gasolina.

Tabla 1.

Especificaciones de gasolinas para aviación.

GRADO	80 / 87	SIN PLOMO AVGAS92	100 / 130	100 LL
COLOR	ROJO.	PÚRPURA	VERDE.	AZUL.
COMPOSICIÓN	AZUFRE % MAX	0,05	0,07	0,05
	AROMÁTICOS %		5	5
	MIN			
VOLATILIDAD °C	10%	75	70	75
	40%	75		75
	50%	105	66 - 210	105
	90%	135	190	135
	PUNTO FINAL	170	225	170
	PRESIÓN REID, PSI	5,5 – 7,0	5,5 – 9,0	5,5 – 7,0
FLUIDEZ	PUNTO DE CONGELACIÓN	(-60 °C)	(-58 °C)	(-58 °C)
ÍNDICE DE OCTANO	MEZCLA POBRE	80		100
	MEZCLA RICA	87		130
ADITIVOS	TEL* , ml / l MAX	0,14		1,12
DENSIDAD, K G / L		0,75		0,75

Fuente: (Oñate, 2007)

Agua en los combustibles de aviación

El agua se encuentra en los depósitos del avión en dos formas: como agua disuelta y libre. El agua puede llegar al avión desde los propios servicios aeroportuarios, o durante tareas de mantenimiento del avión o simplemente durante su estacionamiento a la intemperie.

A pesar que los motores son capaces de tolerar cierta cantidad de agua en suspensión, sin alterar el funcionamiento normal, se debe adoptar medida de prevención oportunas.

Aunque gran parte de las medidas de prevención y control están fuera de la responsabilidad de la tripulación, conviene señalar que el comandante es el responsable final del repostado correcto del avión.

Hay varios puntos a tomar en cuenta que son los siguientes:

1. Los depósitos de combustible deben drenarse durante el pre vuelo para eliminar el agua libre que se encuentra presente en el fondo del tanque.
2. Las líneas de alimentación cruzada deben estar libres de agua en los sistemas de combustible que tengan esta característica. normalmente es necesario el bombeo de combustible antes de proceder al drenaje.
3. Los depósitos se llenen completamente después del vuelo para prevenir focos de condensación, salvo con criterios de tipo operacional que dictan la cantidad de combustible que debe existir a bordo.

Identificación del combustible

Los fabricantes de aeronaves y motores designan un tipo de combustible para cada tipo de avión y motor la existencia de más de un tipo de combustible hace que se importante la identificación del mismo para evitar el llenado de una gasolina que no esté diseñado para ello.

Para esto se utilizan varios tipos de colorantes para ayudar al personal encargado del combustible y pilotos identificar el combustible correcto para la aeronave.






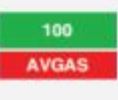


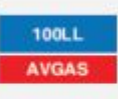





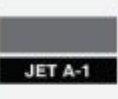



Fuel Type and Grade	Color of Fuel	Equipment Control Color	Pipe Banding and Marking	Refueler Decal
AVGAS 82UL	Purple			
AVGAS 100	Green			
AVGAS 100LL	Blue			
JET A	Colorless or straw			
JET A-1	Colorless or straw			
JET B	Colorless or straw			

Figura6. Identificación de colores y marcas del combustible de aviación

Fuente: (F.A.A; 2012)

2.2.2 Combustible para motores a turbina

Las aeronaves con motores a turbina utilizan un combustible diferente a los aviones con motores alternativos. Conocido como jet fuel su uso está destinado únicamente para este tipo de aviones y no debe ser mezclado con algún tipo de gasolina para aviación o introducirla en el sistema de combustible de un avión con empuje alternativo.

El combustible para motores a turbina tiene características significativamente diferentes a los del AVGAS. Los combustibles a turbina están compuestos por hidrocarburos de mayor viscosidad y de menor volatilidad y puntos de ebullición más altos que los de la gasolina.

El combustible para motores a turbina sostiene una llama continua dentro del motor. Por lo general contienen un contenido de azufre superior a gasolina y comúnmente se le añaden varios inhibidores. Se utilizan para controlar la corrosión, la oxidación, el hielo y la microbiana y el crecimiento bacteriano. Estos aditivos por lo general ya se encuentran en el combustible para su uso en el aeropuerto.

2.2.2.1. Tipos de combustible de motores a turbina

Hay tres tipos de combustible de motores a turbina que están disponibles en todo el mundo, aunque algunos países tienen su propio tipo de combustible que es único en ese país.

El primero es el JET – A, es el combustible más popular en los Estados Unidos, el JET – A1 es el más popular a nivel mundial. Tanto el JET – A y el JET – A1 tienen una baja volatilidad y baja emisión de vapor, su flashpoint oscila entre los 110 y 150 °F. El JET – A se congela a -40 ° F y el JET – A1 a - 52.6 ° F.

El tercer tipo de combustible es el JET – B que es básicamente una mezcla de queroseno y gasolina, su volatilidad y su formación de vapor se encuentra en niveles entre el JET – A y el AVGAS. Se encuentra disponible básicamente en lugares como Alaska y Canadá debido a su bajo punto de congelación aproximadamente de - 58 °F, y su volatilidad da un mejor desempeño en frío.

Tabla 2.

Especificaciones de combustibles para turborreactores.

COMBUSTIBLE	JET - A	JET - A1	JET - B
PESO ESPECÍFICO 15°C, MIN; kg / dm	0,775	0,775	0,750
PESO ESPECÍFICO 15 °C, MAX; kg / dm	0,829	0,829	0,829
DESTILACION °C			
Evaporación, 10% máx.	204	204	204
Evaporación, 50% máx.	232	232	204
Evaporación, 90% máx.	243	243	260
TENSIÓN DE VAPOR REID, A 37°C, PSI.			3,0
PUNTO DE INFLAMACIÓN, MIN, °C	48	48	
PUNTO DE CRISTALIZACIÓN, °C	(-40)	(-47)	(-49)
AZUFRE, MAX%	0,3	0,3	0,3
AZUFRE MERCAPTANO, MAX %	0,003	0,003	0,003
AROMÁTICOS, VOL% MAX	20	20	20
PODER CALORÍFICO INFERIOR Kcal / kg	10,212	10, 212	10, 212

Fuente: (Oñate, 2007)

2.2.2.2. Propiedades de los combustibles

a) Volatilidad

Propiedad que mide la facilidad de una sustancia para pasar del estado líquido y gaseoso.

b) Estabilidad Térmica

La estabilidad térmica mide la resistencia de un combustible a su descomposición a alta temperatura.

c) Peso específico

El peso específico determina una propiedad limitada sobre sus propiedades. Por lo general los combustibles con peso específico alto poseen o manifiestan las siguientes características:

- Tienen un contenido menor de hidrógeno.
- Su combustión se produce con llama muy luminosa, con formación de humos y partículas de carbón.
- Su coste es menor que los combustibles de densidad más baja.

d) Poder calorífico

El poder calorífico del combustible (poder de combustión) es la cantidad de calor que libera por unidad de peso. Se expresa por medio kilocalorías / kilogramo y su valor es de 10.200 Kcal/kg.

e) Punto de inflamación

El punto de inflamación mide la facilidad de ignición que tiene el combustible durante su operación. Por razones de seguridad en vuelo y manejo en tierra se especifica su punto de inflamación.

f) Punto de cristalización

Es la temperatura en la que empieza a formarse núcleos de cera en el seno del combustible.

g) Azufre

Por lo general, la presencia de azufre es muy indeseable en los combustibles para motores a turbina porque pueden atacar los materiales del sistema de almacenamiento y de distribución. Pueden formar también productos de combustión que atacan a los componentes del motor expuestos a la corriente de gases. Las especificaciones son muy restrictivas a la presencia de este elemento, que atacan el cobre, cadmio y gomas del sistema de combustible.

h) Propiedades de combustión

Las propiedades de combustión más importantes son las siguientes:

- Limitación de la temperatura del metal del forro de combustión de la cámara.
- Formación de carbonilla y humos.

i) Aditivos

En los combustibles para motores de turbina se emplean una serie de aditivos para mejorar las características específicas.

Entre los aditivos del combustible se incluyen antioxidantes, para impedir o disminuir la formación de depósitos de óxidos en el sistema de combustible, inhibidores de la corrosión, anti hielo bactericidas y fungicidas.

j) Pureza del combustible

La presencia de agua en el combustible de aviación permite la formación de microbios que crecen viven en el mismo, siendo una gran amenaza. Los tanques de combustible de los aviones a turbina tienen numerosas zonas donde el agua puede asentarse y permitir la formación de microbios. Esos microorganismos forman una capa o película que pueden obstruir los filtros, corroer revestimientos de tanque y degradar el combustible.

Estos pueden ser controlados por medio de sustancias biosidas que se vierten en el combustible además son conocidos por inhibir el crecimiento bacteriano.



Figura7. Productos químicos para el control de bacterias y microbios.

Fuente: (F.A.A; 2012).

Puesto que los microbios y bacterias son contenidos por el agua en el combustible, esto debe llevar a mejorar las prácticas de control y tratar de mantener la menor cantidad de agua, además de evitar tener almacenado el combustible en los tanques por largos periodos de tiempo, tener drenajes o sumideros de agua en los tanques o recipientes donde se tenga almacenado el combustible además investigue todos los indicios de formación de agua descubiertos en el combustible.

También existe la amenaza de formación de hielo para evitar este problema se debe seguir las instrucciones del fabricante en cuanto al manejo del combustible y el mantenimiento del sistema.

2.3 Sistema de combustible

2.3.1 Definición

Todo avión propulsado requiere combustible a bordo para operar el motor o motores consiste en tanques de almacenamiento, bombas, filtros, válvulas, líneas de combustible, dispositivos de medición y monitoreo diseñados y certificados bajo estrictas normas del Código de Regulaciones Federales (14 CFR). Cada sistema debe proporcionar un flujo ininterrumpido de combustible, independientemente de la actitud de la aeronave.

Como el combustible es una parte de carga significativa de peso de la aeronave, el avión debe contar con un fuselaje lo suficientemente fuerte para soportar los diferentes cambios de peso y mantener un control del vuelo de la aeronave a todo momento.

2.3.2. Clasificación

Desde el punto de vista operativo, se puede clasificar a los sistemas de combustible en dos grupos: sistema principal y sistema auxiliar. Por el tipo de alimentación se clasifica en: alimentación por gravedad y por presión.

Sistema principal

El sistema principal de combustible es el conjunto de instalaciones y dispositivos que sirven para la alimentación de combustible al avión para su operación.

Sistema auxiliar

El sistema auxiliar de combustible es aquel que permite aumentar el rango de acción o aumentar el alcance del avión con dispositivos suplementarios.

2.3.3. Tipos de sistemas de combustible

2.2.3.1 Sistema de combustible para aviones jet

Este sistema es complejo y cuenta con características y componentes con mayor complejidad que no se puede encontrar en los sistemas de motores de pistón. Por lo general tiene más opciones y facilidades con las que la tripulación puede contar en la gestión del combustible del avión, con características como un APU, un sistema de punto único para reabastecimiento y el vaciado de combustible rápido en caso de emergencia se suman a la complejidad de este tipo de sistema.

El sistema de combustible tiene los siguientes subsistemas para motores recíprocos y jet que son:

- Almacenamiento.
- Ventilación.
- Distribución.
- Alimentación.
- Indicación.

La mayoría de este tipo de sistema de combustible para este tipo de aeronaves son muy similares además pueden llevar mayor capacidad de combustible ya que cuenta con tanques integrales en las alas y en la parte central del fuselaje, según la normativa aeronáutica son sellados para evitar

fugas de combustible. Dependiendo del uso que vaya a dar la línea aérea puede adaptar tanques de combustible auxiliares para vuelos de largo alcance o transoceánicos, estos depósitos están ubicados en la parte central del fuselaje, pero afectan la logística del vuelo, reduciendo la capacidad de carga de la aeronave y además de complicar el funcionamiento del sistema de combustible.

2.2.3.2.1 Subsistema de Almacenamiento

Este subsistema trabaja por medio de los tanques de combustible. Los tanques de combustible permiten el almacenamiento a bordo del mismo. Su construcción es a base de materiales anticorrosivos y cuentan con ventilación por medio de líneas o tapas de ventilación.

Los depósitos de combustible tienen un área en la parte inferior llamada sumidero, para almacenar los contaminantes o el agua que se encuentran en el tanque. Este sumidero está equipado con un drenaje para drenar el agua del tanque durante el pre vuelo.

Existen tres tipos de tanques de combustible, dependiendo del diseño de cada avión, que son: depósitos rígidos, depósitos integrales, depósitos flexibles o de goma.

Tanques rígidos

Los depósitos rígidos son los más empleados en aviación. Pero su uso en la actualidad es poco frecuente a excepción de los aviones ligeros, siendo utilizado para almacenar otros tipos de fluidos como: aceite y líquido hidráulico.

Su fabricación es de aleación de aluminio, las chapas se pliegan y sueldan para conseguir la estanqueidad necesaria. El depósito tiene una boca de llenado con el espacio suficiente para permitir la expansión térmica del combustible el cual no debe ser menor al 2 % del volumen total del tanque.

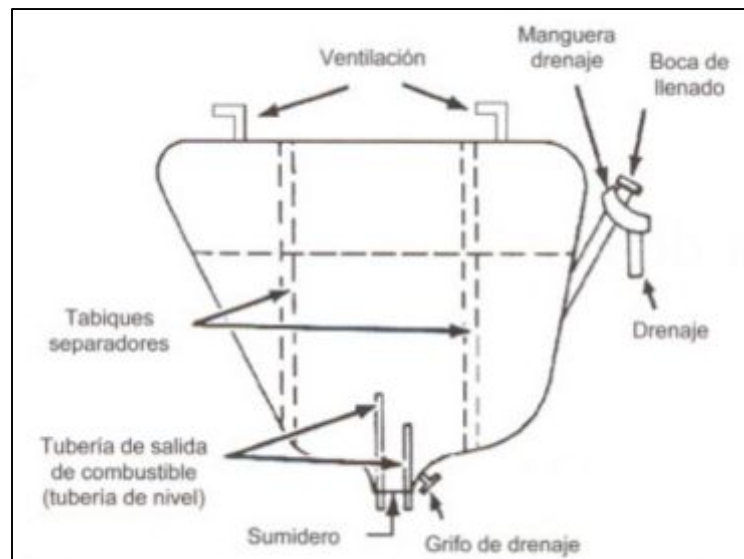


Figura 8. Depósito de combustible rígido.

Fuente: (Oñate, 2007)

Tanques Flexibles (Bladder)

Los tanques flexibles de combustible tienen un amplio campo de uso en la aviación en general a excepción de la comercial, aunque existen casos en los que se ha combinado con depósitos integrales en las alas.

Los depósitos de combustible están fabricados de un material elastómero con el fin de adaptarse a los complicados volúmenes internos del avión. Se fabrican para adaptarle en zonas del fuselaje y las alas del avión.

La zona donde se va a adaptar el tanque de combustible está especialmente diseñada para evitar que se desgarre el material elástico del depósito. El depósito tiene una abertura con una brida metálica al circuito general del sistema de combustible, a través de esta brida se conecta al circuito de filtro, bombas, etc.

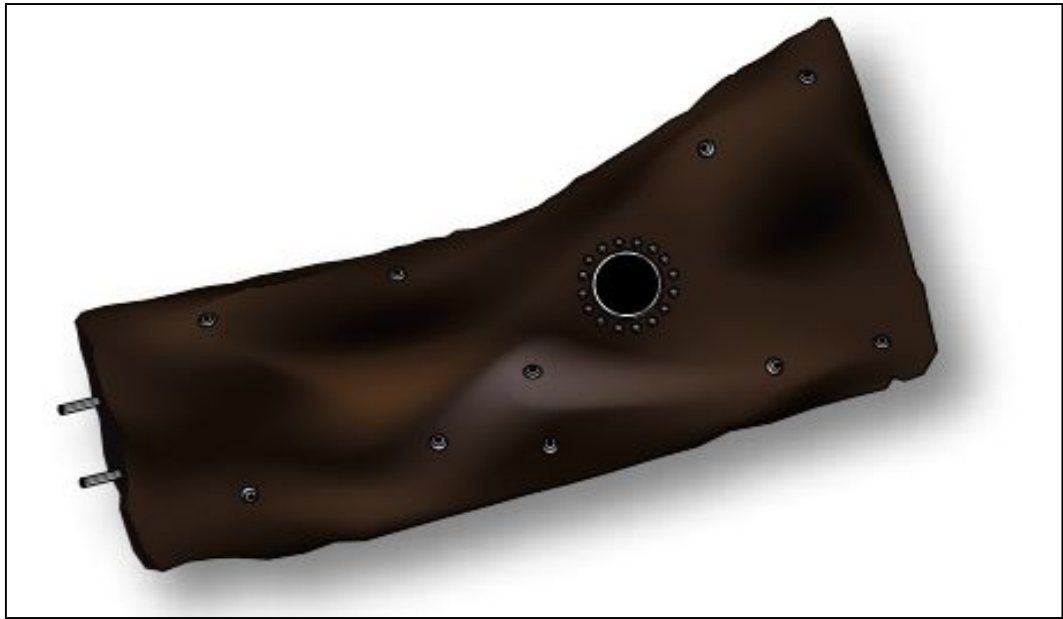


Figura9.Tanque de combustible Flexible.

Fuente: (F.A.A; 2012)

Tanques integrales

Los depósitos integrales actualmente son de uso estándar en la aviación comercial. Se los llama así porque forman parte de la estructura del avión. Físicamente están constituidos por volúmenes internos en zonas previstas en la estructura del avión como son las alas, parte del fuselaje y los estabilizadores que tienen forma de caja en donde el combustible es almacenado y sellado herméticamente.

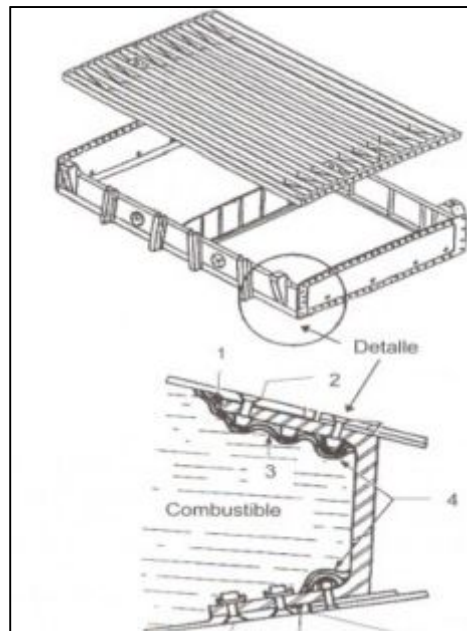


Figura10. Depósito Integral.

Fuente: (Oñate, 2007).

2.2.3.2. Subsistema de Alimentación

Sistemas de combustible por gravedad

Para la alimentación al motor de este tipo de sistema se utiliza la gravedad ya que los tanques de combustible ubicados en las alas se encuentran por encima del motor como muestra la figura.

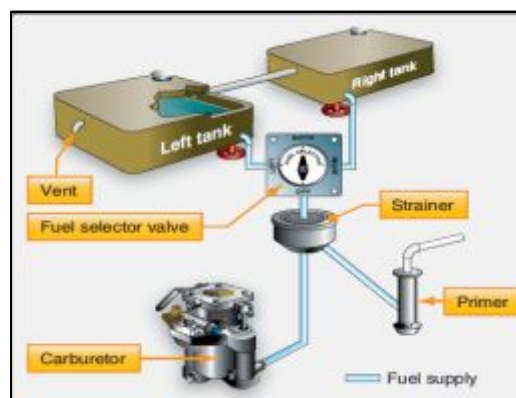


Figura11. Sistema de Combustible por Gravedad

Fuente: (F.A.A; 2012)

El espacio que está por encima del combustible se ventila para mantener la presión atmosférica en el tanque a medida de que se vacía. Los dos tanques se ventilan entre sí para garantizar la igualdad de presión cuando ambos tanques alimentan al motor.

Subsistema de alimentación por bombas

Los aviones de ala media y baja que poseen un solo motor no pueden ser alimentados por un sistema por gravedad debido a que los tanque de combustible no se encuentran por encima del motor, en su lugar se utilizan una o más bombas que impulsan el combustible hacia el motor.

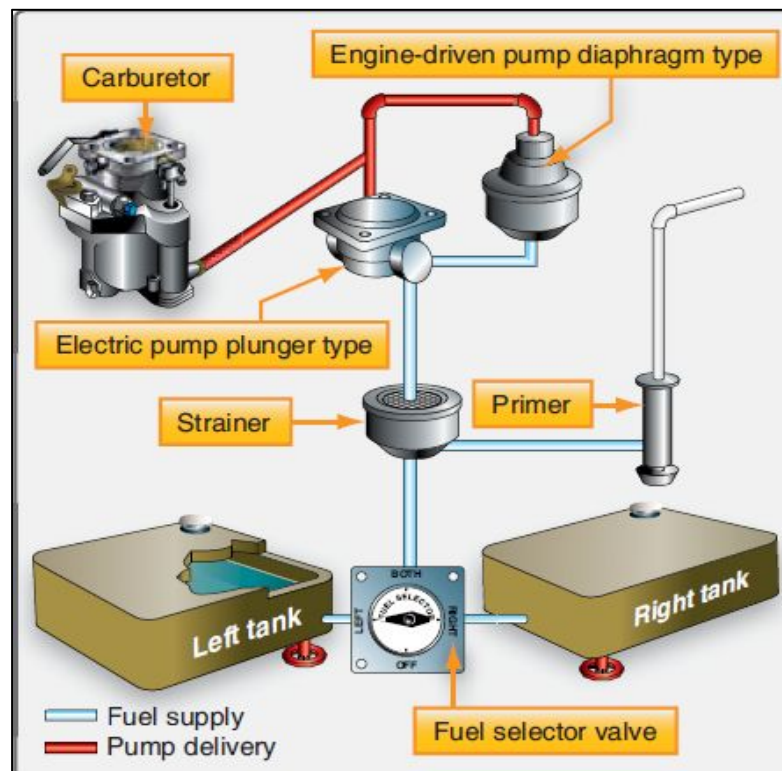


Figura12. Sistema de combustible de alimentación por bombas.

Fuente: (F.A.A; 2012)

Por lo general el sistema cuenta con una bomba mecánica, que es impulsada por el motor y una bomba eléctrica que están ubicadas en disposición paralela. Estas llevan el combustible de los tanques al carburador o inyectores las dos bombas proporcionan redundancia. La

bomba de combustible del motor es la principal y se mantiene la bomba eléctrica para casos de falla de la bomba primaria. Además la bomba eléctrica se usa para el encendido de la aeronave y para prevenir el vapor lock durante vuelos a gran altitud.

2.3.3.3. Subsistema de ventilación de combustible

Este subsistema cuenta con tanques de combustible que son ventilados a la atmosfera, se someten a la presión dinámica generada por el aire de impacto por medio de una toma en la parte exterior del avión. La ligera sobrepresión reduce la evaporación excesiva, e impide la presencia de presiones negativas en el depósito durante ascensos rápidos.

El subsistema de ventilación consiste en dos o más tuberías de ventilación en cada ala, que terminan en uno o dos depósitos colectores de ventilación (surge tan), en los extremos de cada ala. Son tanques de rebose, previenen el derrame de combustible durante el repostaje e incluso durante las maniobras inclinadas del avión.

Además sirven como cámaras de expansión térmica del combustible, ya que es sometido a los cambios de temperatura normales. Por lo general los depósitos de ventilación no contienen combustible.

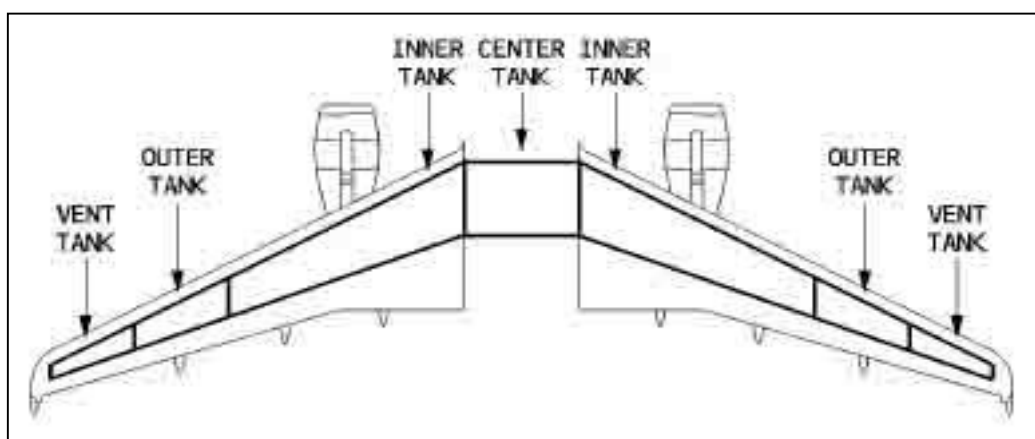


Figura13. Ubicación de los tanques de ventilación del avión.

Fuente: (<http://www.tcas.es>, 2006)

2.3.3.4. Subsistema de distribución de combustible

El sistema de distribución de la aeronave tiene tres funciones que son:

- Alimentación al motor.
- Alimentación al APU.
- Sistema de llenado y vaciado.

La alimentación al motor asegura un suministro continuo de combustible presurizado hacia el motor durante la operación de vuelo del avión por el uso de bombas eyectoras y eléctricas. Además posee la función de crosfeed (alimentación cruzada) que permite la alimentación de combustible a los dos motores desde cada uno de los tanques principales del ala.

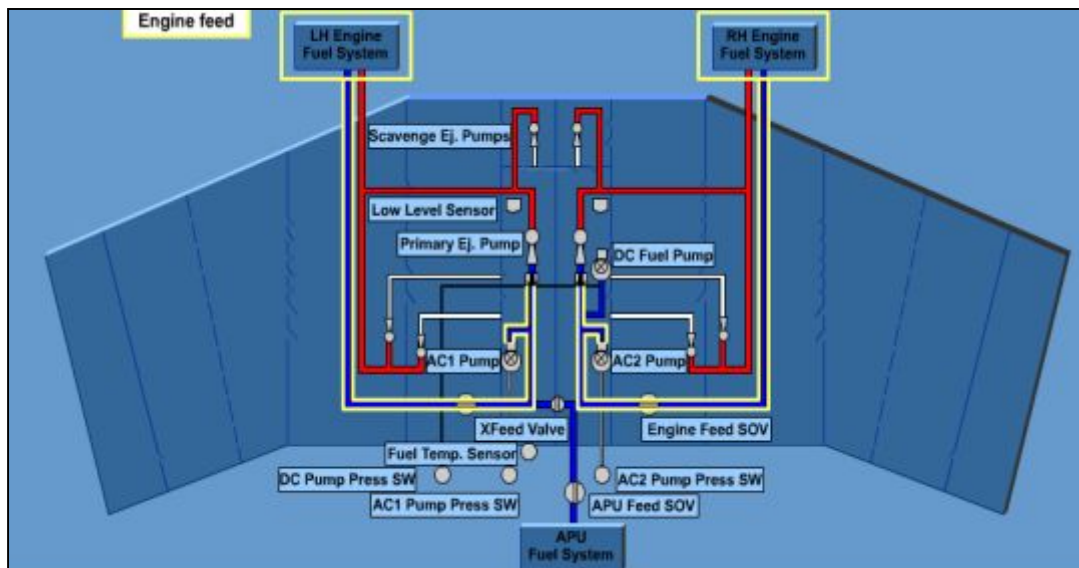


Figura 14. Alimentación al motor.

Fuente: (CBT Embraer, 2010)

La alimentación al APU asegura la alimentación continua y presurizada de combustible a la unidad de potencia auxiliar usando una derivación de la línea de alimentación del motor del lado derecho.

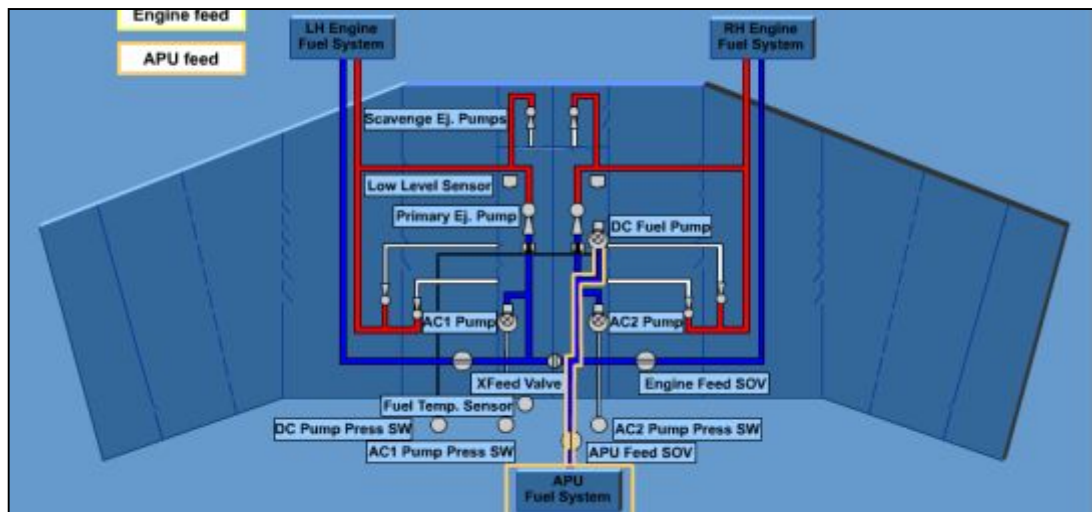


Figura 15. Alimentación al APU.

Fuente: (CBT Embraer, 2010)

El subsistema de alimentación y despostado permite al combustible ser movido dentro y fuera del tanque de combustible por medio de un punto simple de llenado a presión o dos puntos de llenado por gravedad sobre las alas.

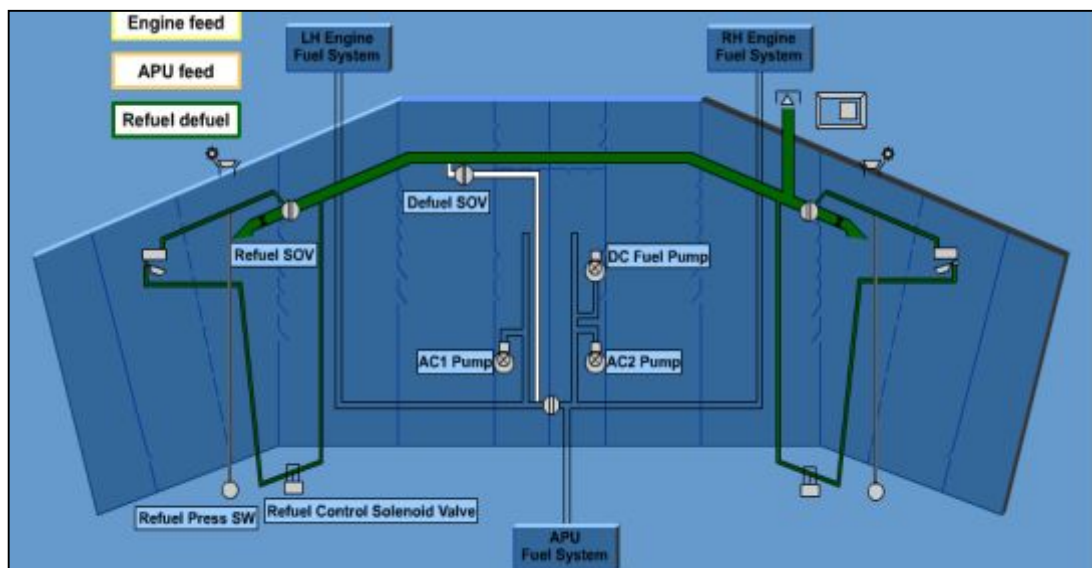


Figura 16. Alimentación y vaciado.

Fuente: (CBT Embraer, 2010)

2.3.3.5. Subsistema de medición e Indicación de cantidad de combustible

La medición de cantidad de uno o más depósitos de una aeronave es muy importante, además de la indicación del flujo de combustible que es enviado a uno o más motores, esto permite volar con un rendimiento máximo compatible con sus condiciones de operación especificadas y permite realizar comparaciones del rendimiento actual del motor y el calculado anteriormente.

El sistema de combustible varía en sus principios de funcionamiento y en su construcción, dependiendo del empleo, el tipo de avión y su sistema de combustible.

Indicadores visuales

Son indicadores que no necesitan de energía eléctrica y son utilizados en aeronaves pequeñas en la actualidad, son de lectura directa y su utilización solo es posible en avionetas que tengan el tanque de combustible cerca de la cabina.

Un visor de vidrio o tubo de plástico transparente abierta al combustible se llena al mismo nivel del tanque de combustible. Se puede calibrar en galones o en fracciones de un tanque lleno que puede ser leído por el piloto.

Otro tipo de indicador visual es tipo flotador con una barra unida. El flotador sube y baja de nivel dependiendo de la cantidad, extendiendo una varilla que indica la cantidad en cabina.

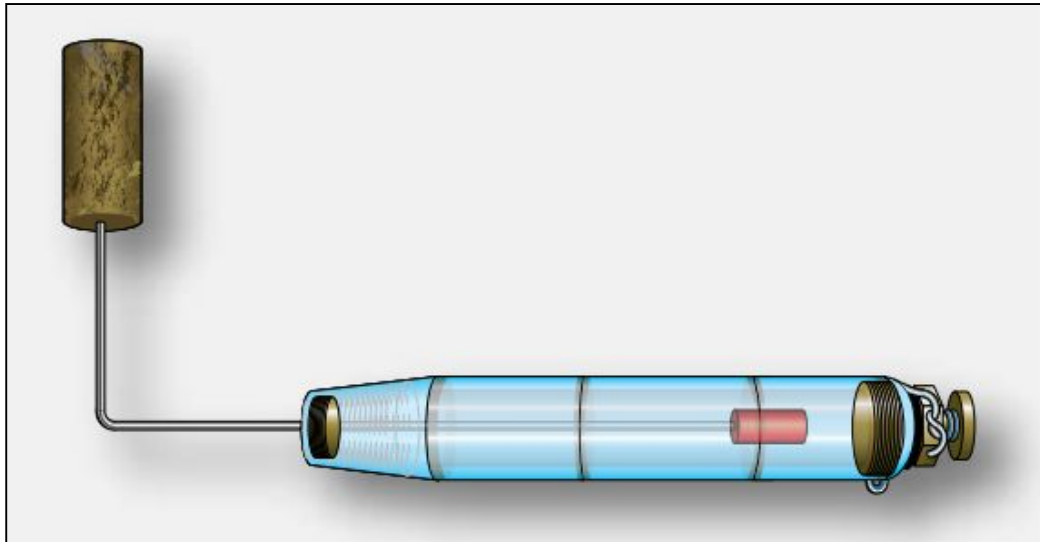


Figura17. Indicador visual de combustible.

Fuente: F.A.A. (2012)

Muchas aeronaves con un sistema de indicación de combustible tipo capacitancia usan además un sistema para verificación de alimentación cruzada de cantidad de combustible y para determinar la cantidad de combustible a bordo de la aeronave cuando la energía eléctrica no está habilitada.

Existen algunas varillas de goteo de combustible que se encuentran montadas a lo largo de cada tanque. Cuando se empuja y se gira, la barra de goteo puede bajar hasta que el combustible comience a salir por el agujero en el fondo de cada barrilla, este es el punto en el que la parte superior de la barra de goteo es igual a la altura del combustible.

Las barrillas tienen una escala calibrada. Sumando las indicaciones de las barrillas de indicación y convirtiendo a galones o libras por medio de cartas suministradas por el fabricante, la cantidad en el tanque de combustible puede ser determinada.

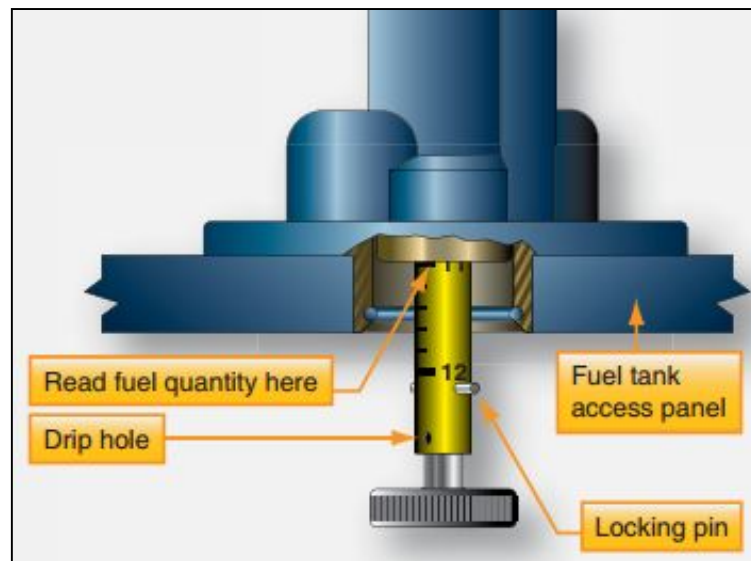


Figura18. Sistema de indicación por barra de goteo.

Fuente: F.A.A. (2012)

Indicadores mecánicos

Existen indicadores de combustible tipo flotador que son los más comunes. El flotador sigue siendo el elemento de detección primaria, pero una articulación mecánica está conectada para mover un puntero en la cara con una escala graduada en el instrumento.

Esto se hace con un piñón y un engranaje que impulsa al puntero por medio de engranajes o un acoplamiento magnético.

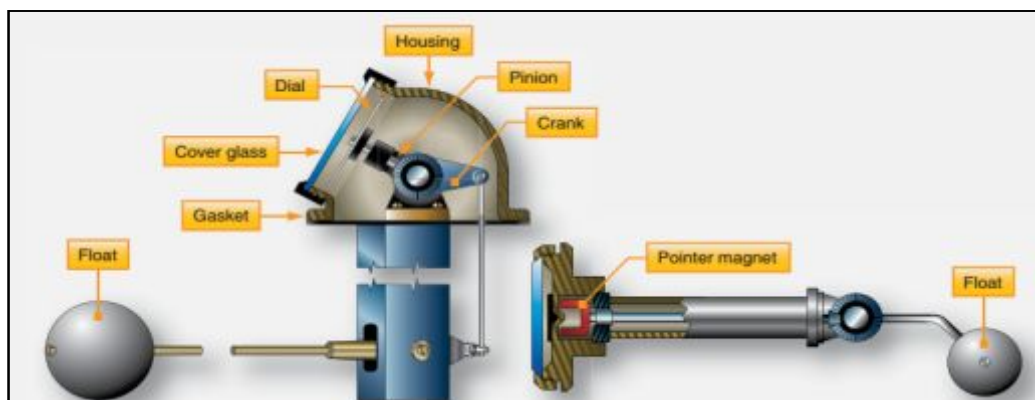


Figura 19. Indicador mecánico de combustible.

Fuente: F.A.A. (2012)

Indicación de cantidad eléctrico

Actualmente este tipo de indicador es más común que los indicadores mecánicos en los aviones modernos. La mayoría de estos dispositivos operan con corriente directa (DC) y utilizan una resistencia variable en un circuito para conducir a un indicador tipo radiómetro.

El movimiento del flotador en el tanque mueve un brazo de conexión hacia la resistencia variable en la unidad del tanque. Esta resistencia se encuentra conectada en serie con una de las bobinas del indicador en el panel de instrumentos. Los cambios de corriente que fluyen a través de la resistencia del tanque que pasa por las bobinas del indicador.

Esto altera el campo magnético el cual pivota el puntero de indicación y la graduación calibrada en el instrumento indica la cantidad de combustible en el tanque.

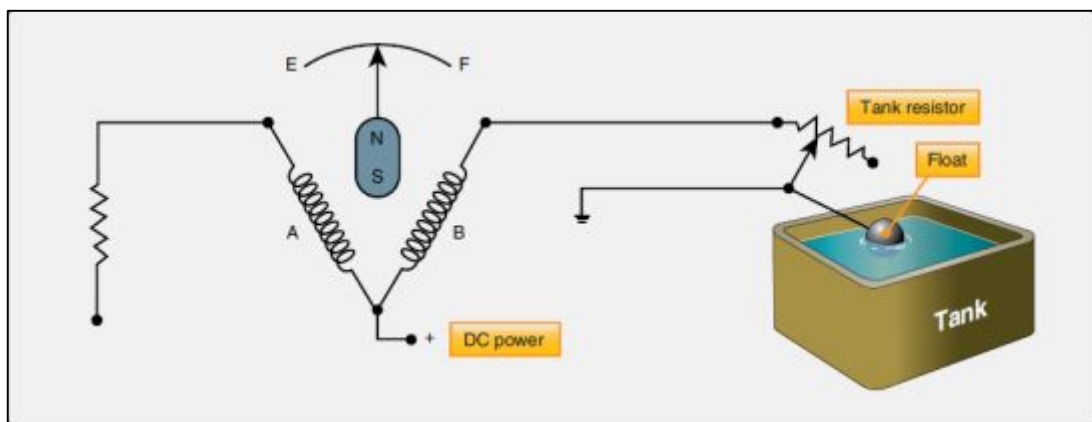


Figura 20. Indicador de combustible eléctrico.

Fuente: F.A.A. (2012)

Medición e indicación de combustible tipo capacitancia

Un sistema de medición de combustible tipo capacitancia consta de un condensador variable situado en el depósito de combustible, un amplificador y un indicador. El circuito completo forma un puente eléctrico que se reequilibra continuamente como consecuencia de las diferencias entre las capacitancias del condensador del depósito y uno de referencia. La señal

producida es amplificada para accionar un motor, que sitúa una aguja que indica el cambio de capacitancia del condensador del depósito y, por tanto, el cambio de cantidad de combustible.

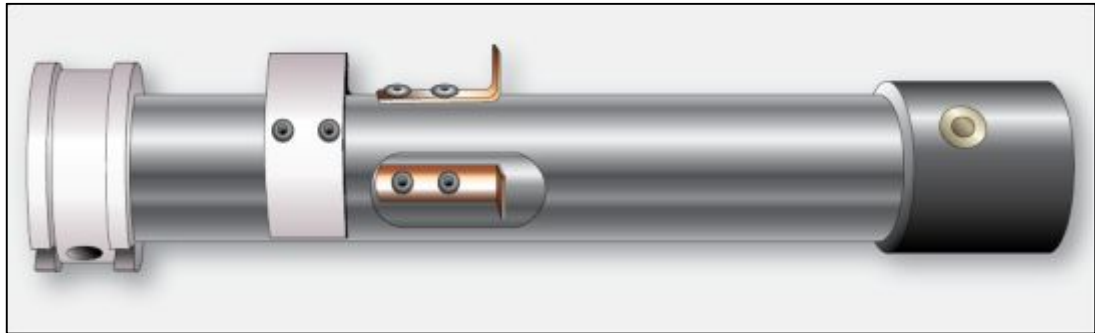


Figura 21. Transmisor de combustible tipo capacitor.

Fuente: F.A.A. (2012)

Siempre que se aplique a una diferencia de potencial a través de dos superficies conductoras separadas por un medio no conductor (dieléctrico), estas tienen la propiedad de almacenar una carga eléctrica. A estas propiedades le conoce como capacitancia.

El flujo de una corriente momentánea dentro de un condensador establece una diferencia de potencial a través de sus placas. Puesto que el dieléctrico no contiene ningún electrón libre, no puede fluir corriente por él, pero la diferencia de potencial establece un estado de tensión en los átomos que lo contienen.

Un capacitor es un dispositivo que almacena electricidad. La cantidad que puede almacenar depende de tres factores: el área de las placas, la distancia entre las placas, y la constante dieléctrica del material que separa los platos.

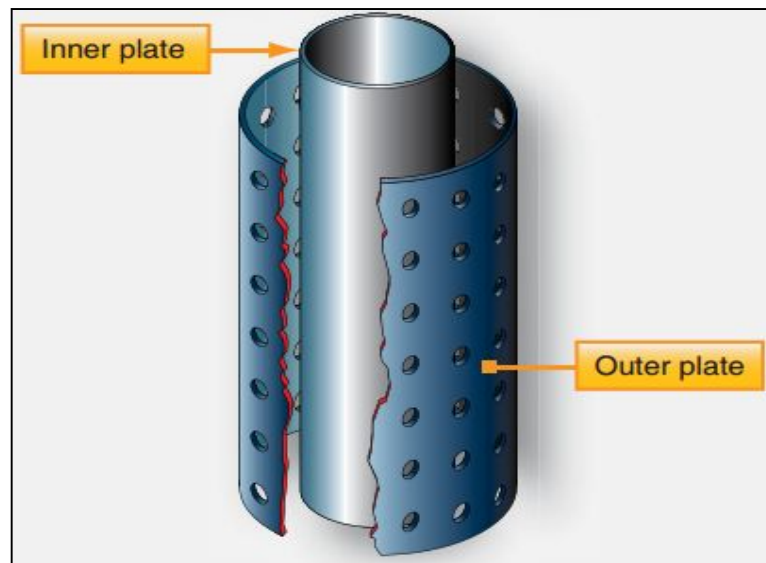


Figura 22. Placa interna y placa externa de un capacitor.

Fuente: F.A.A. (2012)

El circuito puente que mide la capacitancia de las unidades del tanque usa un capacitor de referencia para comparar. Cuando el voltaje esta inducido dentro del puente, la reactancia capacitiva de las sondas del tanque y la del capacitor de referencia pueden ser iguales o diferentes.

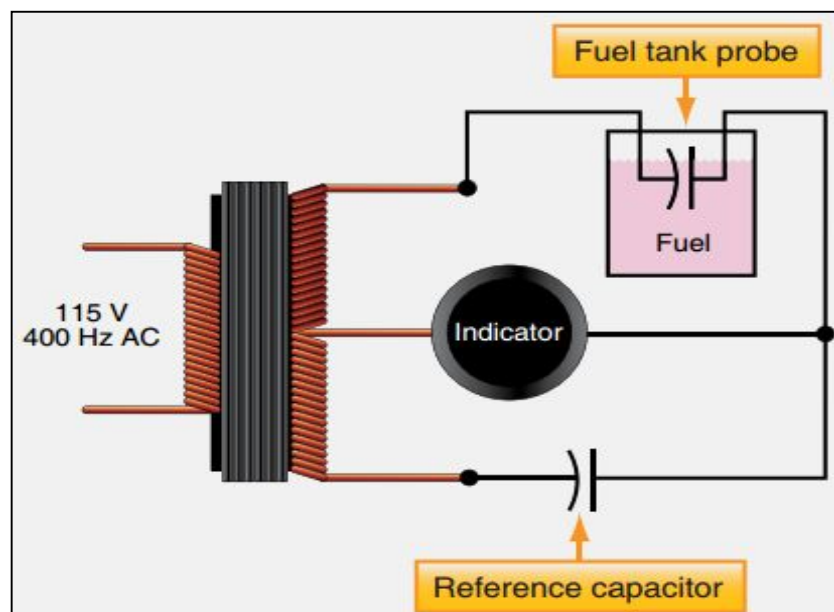


Figura23. Puente de capacitancia del sistema de cantidad de combustible.

Fuente: F.A.A. (2012)

Un cable (montado debajo del tanque de combustible por lo que está siempre pasa cubierta con combustible) de la unidad compensadora está instalado en el circuito del puente. Este modifica el flujo de corriente para reflejar las temperaturas del combustible, el cual afecta la densidad y así a las unidades de capacitancia del tanque.

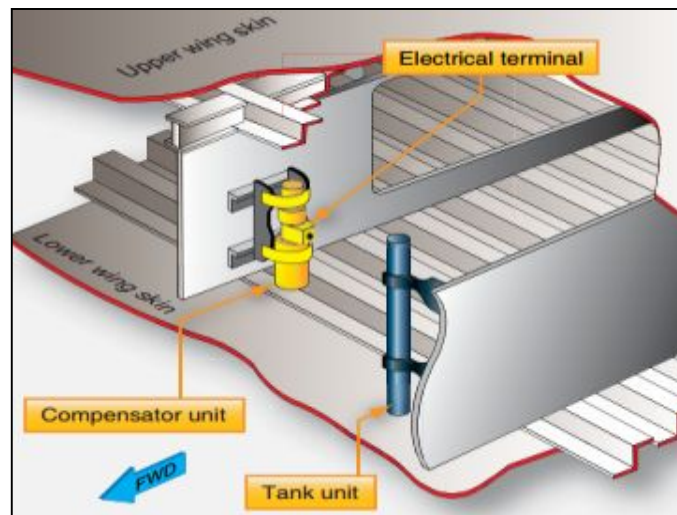


Figura 24. Unidad compensadora del tanque.

Fuente: F.A.A. (2012)

Una unidad de suma de combustible es parte del sistema de indicación tipo capacitancia. Este es usado para añadir al tanque cantidades desde todos los indicadores.

Los dieléctricos son materiales no conductores de electricidad, puede ser utilizado como material aislante de electricidad, además si se es expuesto a un campo eléctrico externo, puede establecerse en él un campo eléctrico interno (almacena energía).

La mayor parte de los condensadores llevan entre sus láminas una sustancia no conductora o dieléctrica. Un condensador típico está formado por láminas metálicas enrolladas, separadas por papel impregnado en cera. El condensador resultante se envuelve en una funda de plástico. Su capacidad es de algunos microfaradios.

La botella de Leyden es el condensador más primitivo, consiste en una hoja metálica pegada en las superficies interior y exterior de una botella de vidrio.

Los condensadores electrolíticos utilizan como dieléctrico una capa delgada de óxido no conductor entre una lámina metálica y una disolución conductora. Los condensadores electrolíticos de dimensiones relativamente pequeñas pueden tener una capacidad de 100 a 1000 μF .

La función de un dieléctrico sólido colocado entre las láminas es triple:

- Resuelve el problema mecánico de mantener dos grandes láminas metálicas a distancia muy pequeña sin contacto alguno.
- Consigue aumentar la diferencia de potencial máxima que el condensador es capaz de resistir sin que salte una chispa entre las placas (ruptura dieléctrica).
- La capacidad de un condensador de dimensiones dadas es varias veces mayor con un dieléctrico que separe sus láminas que si estas estuviesen en el vacío

La capacitancia total de los condensadores conectados en serie o en paralelo se obtiene de forma similar a las empleadas para calcular la resistencia total, pero aplicada de forma opuesta. Por tanto, para los condensadores conectados en serie, la capacitancia total viene dada por

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Y para los condensadores conectados en paralelo,

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Esto se debe a que la adición de condensadores en un circuito aumenta el área de las placas que, según se ha dicho ya, es uno de los factores de los que depende la capacitancia.

Al aplicar un principio de capacitancia a los sistemas de medición de combustible se necesita un flujo de corriente para hacer que el indicador responda a los cambios de capacitancia que se originen de las variaciones de cantidad de combustible.

Esto se realiza suministrando a las unidades de tanque tipo capacitancia un voltaje alterno, ya que siempre que el voltaje a través de un condensador cambia, fluyen electrones hacia afuera del sin cruzar las placas y circula una corriente resultante, la cual, en cualquier instante, depende del régimen de cambio de voltaje.

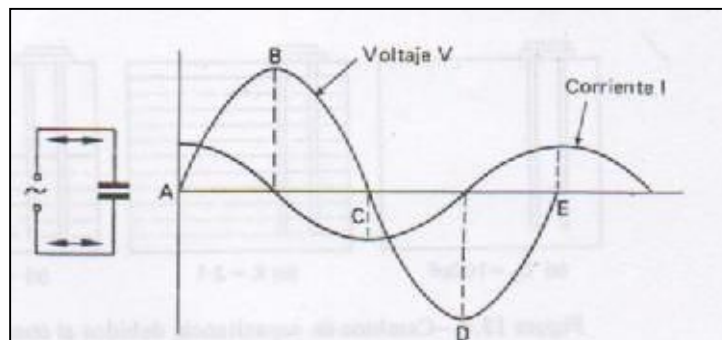


Figura 25.Capacitancia de un circuito de corriente alterna.

Fuente: (E.H.J. Pallet, 1984)

2.3.3.6. Instrumentos digitales

Los indicadores digitales funcionan con el mismo principio de medición de resistencia variable que proviene de una unidad instalada en el tanque, convirtiendo la señal enviada desde el tanque en una indicación digital mostrada en el indicador o en la pantalla que se encuentra en la cabina del avión.

Se convierte la señal enviada desde el tanque por medio de un procesador y mostrados en una pantalla plana. Estos sistemas son más costosos y son utilizados por aviones de gran tamaño y de gran alcance.

Estos instrumentos también están conformados por unidades de medición tipo capacitancia variable que están instalados desde la parte

superior a inferior del tanque en paralelo. Como el nivel de combustible cambia, la capacitancia total transmitida por la totalidad de las sondas se suman y se comparan en un circuito puente por un procesador en el indicador digital del tanque en la cabina.



Figura26.Indicadores de combustible digitales.

Fuente: F.A.A. (2012)

2.3.3.7. Sistema de combustible del avión T – 33.

Descripción general

El sistema de combustible del avión T – 33 está dividido en dos secciones: el sistema de combustible de la aeronave y el sistema del motor. La parte que sobran en el avión cuando el motor es retirado compone el sistema de la aeronave.

Tanque de combustible del fuselaje del avión T – 33

El tanque de combustible se encuentra en la parte posterior a la cabina y se puede tener acceso a este por medio de un panel. El punto de llenado se encuentra en la parte superior del depósito de combustible.

La unidad de transmisión de combustible se encuentra ubicada en la parte superior del depósito y se puede llegar por medio de una puerta, el extremo delantero de la superficie superior del tanque está equipado con una tapa para inspección. La salida de ventilación está en la parte posterior del tanque y la válvula d drenaje y la unión de la bomba booster se

encuentran en la superficie del fondo del tanque. Las tres entradas de combustible se encuentran en la parte posterior del depósito de combustible.

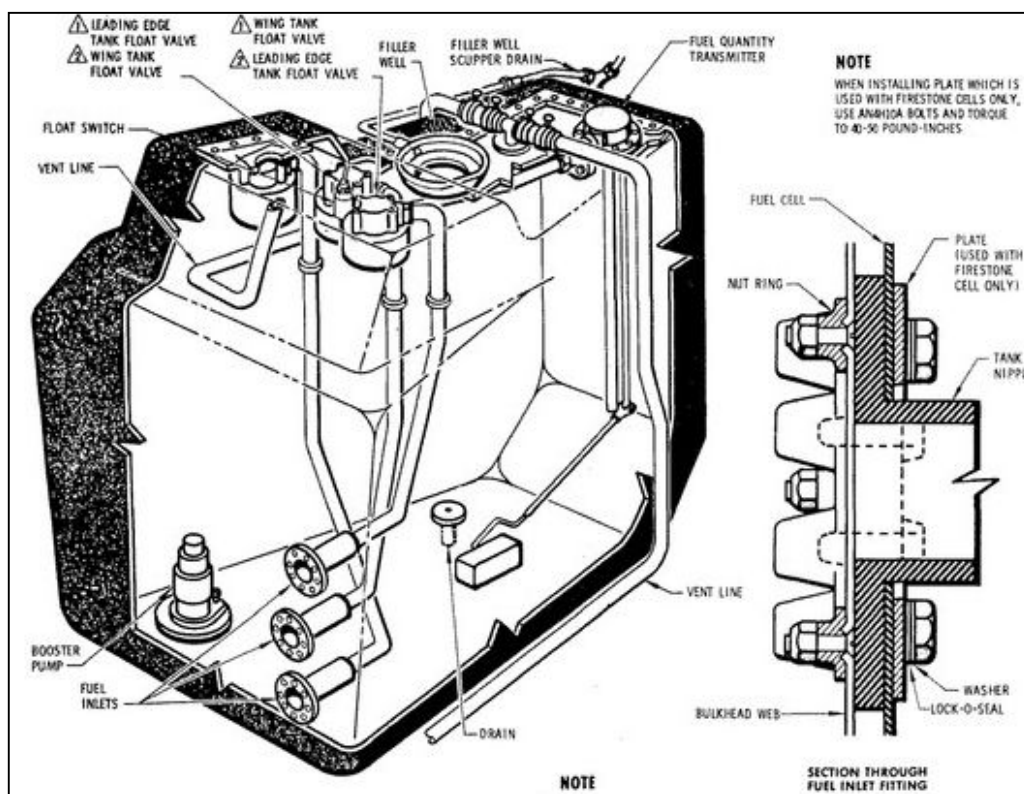


Figura 27. Tanque de combustible del fuselaje del avión T-33.

Fuente: (Manual de mantenimiento avión T- 33, 1973)

2.3.3.8. Indicador y transmisor de cantidad de combustible

Tipo EA100 AN – 1 -2 Indicador.

Tipo EA565 transmisor.

El sistema de cantidad de combustible consiste en el indicador de combustible del tanque y el transmisor de cantidad de combustible. El sistema indica la cantidad de combustible contenido en el depósito del fuselaje. El indicador se encuentra en la parte inferior derecha del panel en ambas cabinas. Junto a los indicadores se encuentra una luz de indicación de nivel bajo de combustible.

El sistema de cantidad de combustible recibe potencia eléctrica desde el bus de la cabina delantera, por medio de un circuit breaker de 5 amperios. La luz de bajo nivel de combustible del circuit breaker de 5 amperios.

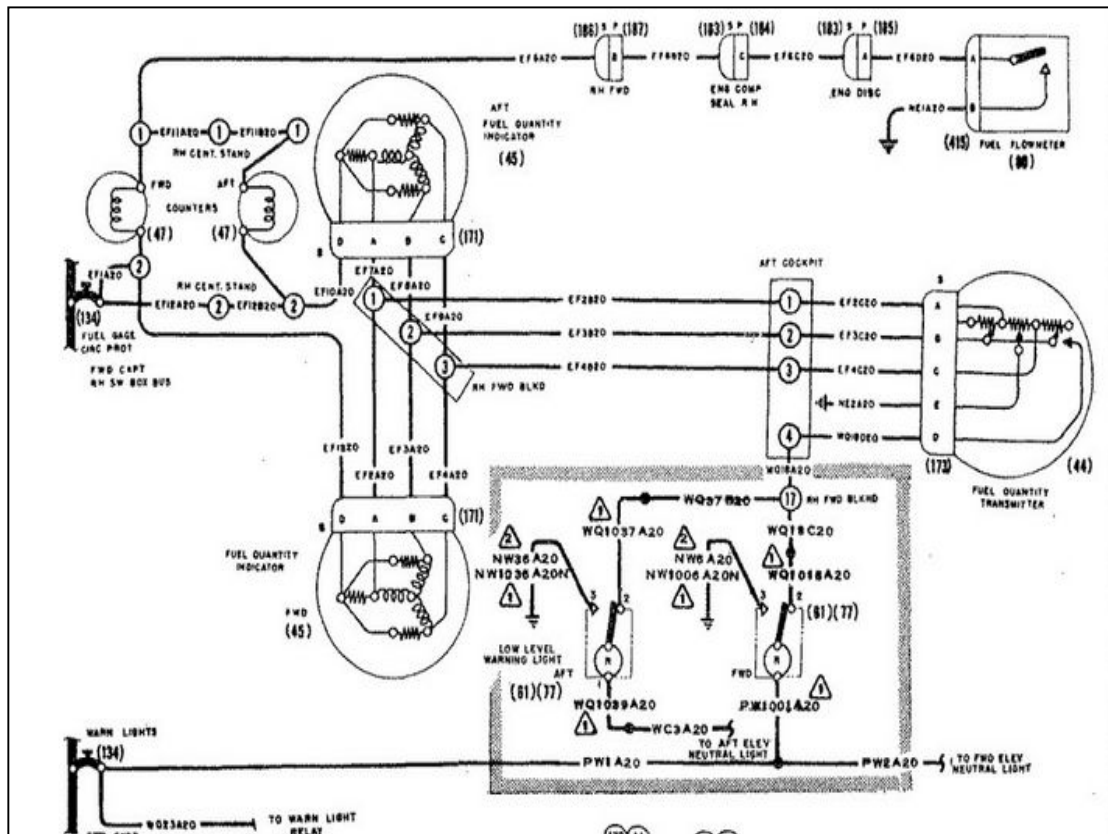


Figura 28. Diagrama de circuito del sistema de indicación de combustible.

Fuente: (Manual de mantenimiento avión T- 33, 1973)

Indicador de cantidad de combustible

El indicador tiene un mecanismo de tipo doble radio, cada una con un rotor magnético en movimiento en un campo magnético producido por las bobinas estacionarias. El rotor está ligado a la manecilla del indicador e indica en la placa la cantidad de combustible en el tanque.

La resistencia variable ubicada en el tanque del fuselaje, controla el flujo de corriente a través de las bobinas estacionarias ubicadas en el indicado. El indicador esta marcado en graduaciones de 10 hasta 300 galones, el

recorrido de la manecilla del indicador va desde la posición E (Empty) hasta la posición F (Full).

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA.

3.1 Generalidades.

El simulador del sistema de combustible del avión tiene la función de simular el suministro de combustible al motor en cualquier circunstancia o condición de operación en las que se encuentre el avión.

Esta cantidad debe ser la apropiada y en el momento justo para mantener un rendimiento apto y el motor pueda dar el empuje apropiado al avión.

El sistema de indicación combustible debe mantenerse en perfectas condiciones para que sea confiable para su instrucción para el proceso de enseñanza aprendizaje en los estudiantes de La Unidad de Tecnologías de la Universidad de las fuerzas Armadas - ESPE.

En este capítulo se verán las características generales del simulador del sistema de combustible, también será detallada todo el proceso de elaboración del indicador, conociendo que la variación de voltaje emitida por el transmisor de combustible a través del movimiento de la boya en el tanque.

3.2 Características Generales

3.2.1 Simulador del sistema de indicación de combustible

El simulador del sistema de combustible, utiliza para su funcionamiento una fuente de voltaje de corriente continua, además de un tanque para almacenar combustible para su funcionamiento.

3.2.1.1 Descripción de la maqueta del sistema de combustible

La maqueta tiene sesenta centímetros de largo por cincuenta y cinco centímetros de ancho, y un metro setenta y cinco de altura para su transportación consta de cuatro ruedas.

En la parte delantera se encuentran dos depósitos de combustible contruidos de acrílico transparentes de seis centímetros de espesor para una correcta visualización y medición del combustible, en la parte inferior está el tanque de almacenamiento, al interior de este depósito se encuentra la bomba, encargada de suministrar el combustible al tanque principal.

En la parte superior se encuentra el tanque principal de combustible, en la parte superior se encuentra acoplado la unidad de transmisión de combustible y extendiéndose hacia la parte inferior, dentro del depósito el conjunto mecánico del brazo y la boya de medición de combustible.

Sobre el tanque principal de combustible se encuentra el conjunto de indicación de digital, en la parte inferior del indicador se encuentra la fuente de alimentación, en la parte superior esta la placa que controla a todo el sistema en la parte delantera esta la LCD, el conjunto de Leds e interruptores de control del indicador y en la parte posterior los switchs de alimentación del indicador y de la bomba.

La transferencia de combustible se lo realiza por medio de una bomba, que se encuentra acoplada a una manguera, esta se encarga de enviar el combustible desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque principal.

3.2.1.2 Operación de la maqueta del sistema de indicación de combustible

El propósito de la maqueta del sistema de indicación de combustible es dar una visualización detallada de la medición e indicación de cantidad de combustible existente en los depósitos, para tener conocimiento se simuló

un sistema de combustible que cuenta con tanques, cañerías, bombas, válvulas y filtros.

El combustible es almacenado en el tanque de almacenamiento de la maqueta, promedio de la bomba el fluido es impulsado hacia el tanque principal, a medida que el tanque principal se llena la boya empieza a subir. La boya de combustible se encuentra conectada a un brazo mecánico que a su vez mueve un brazo de contacto sobre una pista, este movimiento crea una variación de voltaje que es enviada al microcontrolador y después la señal es mostrada en la pantalla LCD.

La unidad de transmisión de cantidad de combustible, la placa y la pantalla LCD utilizan cinco voltios de corriente directa, enviada desde la fuente.

Esta unidad de transmisión de cantidad de combustible tiene una resistencia variable que aumenta o disminuye el voltaje a razón del movimiento de la boya.

3.3. Diseño, modela miento, programación y elaboración del indicador de combustible.

Previo al diseño del presente proyecto se estudió los componentes principales que serán utilizados para la construcción del indicador de combustible y son especificados de manera detallada.

3.3.1 Componentes

3.3.1.1 Fuente de alimentación

La fuente de poder es una fuente eléctrica, que puede proporcionar corriente eléctrica gracias a la generación de diferencia de potencial entre sus bornes, se diseña a partir de una fuente ideal.

La fuente de poder se encarga de convertir la tensión alterna de una red de 115 V AC a una tensión continua con una salida de voltaje requerida de 5 V DC de 10 Amperios necesarios para la operación del microcontrolador. Para esto consta de un rectificador, fusibles y otros componentes que permiten recibir la electricidad para regularla, filtrarla y adaptarla a las necesidades requeridas por el usuario.

Modelo S – 50 – 5

Características:

- Rango de entrada AC seleccionada por un Smith.
- Protección ante corto circuito y sobre carga.
- Enfriamiento por aire.
- LED de indicación de encendido.
- Frecuencia fija en conmutación de 27 KHZ.
- Voltaje de entrada 110 VAC.
- Voltaje de salida 5VDC a10 A.



Figura 29. Fuente de alimentación S – 5 -50.

Fuente: (<http://www.ming-wei.com>, 2014)

3.3.1.2 Transmisor de combustible del tanque de combustible del fuselaje del avión T – 33

Numero de parte: EA565W – 553

El transmisor de combustible envía una señal de voltaje variable proveniente del mecanismo que constituye el flotador ubicado en el tanque del fuselaje, este dispositivo está ubicado en la parte superior del depósito central de la aeronave su alimentación es de 28 VDC, pero en el funcionamiento para este proyecto se realizó una modificación que permite que funcione con 5 VDC puesto que los demás componentes también funcionan con el mismo voltaje.



Figura 30. Conjunto de transmisor y flotador de combustible.

La unidad de transmisión de cantidad de combustible con número de serie EA 565, esta ubicado en la parte superior del tanque de combustible principal, consiste en un tubo con una caja redonda en un extremo, y un socket al otro.

El flotador está sujeto a una ranura tipo rodillo moviéndose en una guía en espiral, en el tubo se transmite un movimiento de rotación para mover el brazo de contacto en la parte superior del transmisor, por medio de un eje de control que es accionado por los rodillos unidos al flotador, el contacto se desplaza sobre una banda de resistencia, variando el voltaje según la posición del flotador.

La unidad tiene un ajuste para el movimiento y la posición final de desplazamiento. La unidad de transmisión de combustible recibe cinco voltios de la fuente principal de alimentación de la maqueta.

El transmisor de cantidad de combustible al ser retirado de un avión que se encontraba a la interpedie, se encontraba en muy malas condiciones puesto que se encontro corrosión al interior del componente. Por lo que se tuvo que dar un mantenimiento general desarmando el transmisor por completo, limpiando y eliminando la corrosión encontrada, cambio en el cableado interno, pintura y limpieza con limpiador de contactos.



Figura 31. Mecanismo interno del transmisor de combustible.

Dado el mantenimiento del transmisor de combustible se realizó pruebas funcionales para verificar su funcionamiento óptimo realizándolo de la siguiente manera:

1. Conectar el transmisor de combustible a una fuente con un voltaje no mayor a 5 voltios.
2. Medir el voltaje cuando el flotador se encuentra en la parte inferior o totalmente extendido, se tomó la medida con un voltímetro dando 0.28voltios.
3. De la misma manera con el voltímetro medir en la posición superior cuando la boya está en posición llena indicando 5voltios.

Con esta prueba se comprobó el funcionamiento óptimo del mismo.



Figura 32. Prueba de funcionamiento del transmisor de combustible.

3.3.1.3 Microcontrolador PIC 16F877A

Es un microcontrolador con memoria de programa tipo FLASH, representa una gran facilidad en el desarrollo de prototipos y en su aprendizaje, no requiere ser borrado con luz ultravioleta como otros microprocesadores, sino que este permite ser reprogramado sin ser borrado con anterioridad.

El PIC 16F877 es capaz de funcionar a diferentes voltajes de alimentación, pero lo más adecuado es proveer un voltaje de 5 V DC, también es recomendable el uso de un regulador LM 7805 que facilita una estabilidad de voltaje de alta calidad y suficiente corriente para el correcto funcionamiento del microcontrolador y de sus pines (se proporciona una corriente de 1A).

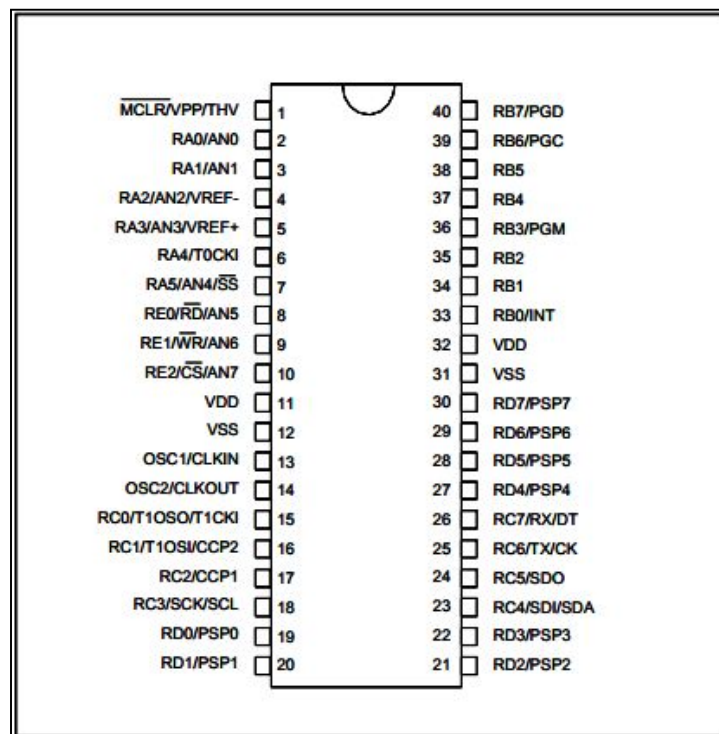


Figura 33. Configuración de pines del microcontrolador.

Fuente: (www.utp.edu.co, 2014)

Los pines de entrada y salida de este microcontrolador están organizados en cinco puertos que son:

- El puerto A, con seis líneas.
- El puerto B, con ocho líneas.
- El puerto C, con ocho líneas.
- El puerto D, con ocho líneas.
- El puerto E, con tres líneas.

Cada pin de esos puertos se puede configurar como entrada o salida independiente programando un par de registros diseñados para tal fin. En este registro un bit en “0” configura un pin del puerto correspondiente como salida y un bit en “1” como entrada. Dichos pines del microcontrolador también pueden cumplir otras funciones especiales, siempre y cuando sean configurados para ello.

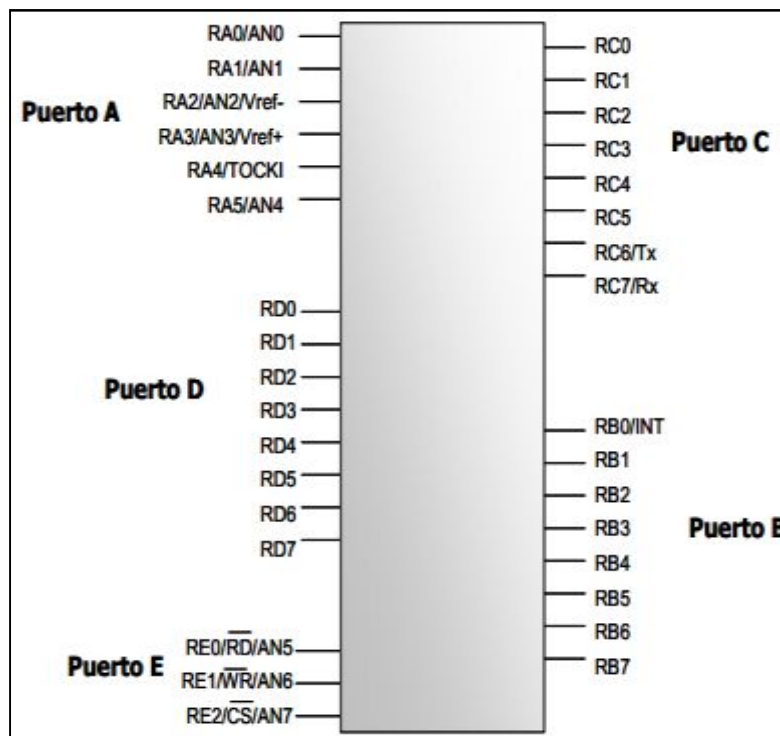


Figura 34. Puertos de entrada y salida del microcontrolador.

Fuente: (www.utp.edu.co, 2014)

Tabla 3.

Descripción de los pines del microcontrolador.

NOMBRE DEL PIN	PIN	DESCRIPCIÓN
RA0/AN0	2	E/S Digital o Entrada análoga 0.
RA1/AN1	3	E/S Digital o Entrada análoga 1.
RA2/AN2 V ref -	4	E/S Digital o Entrada análoga 2.
RA3/AN3 V ref+	5	E/S Digital o Entrada análoga 3.
RA4/T0CKI	6	Bit 4 del puerto A (E/S bidireccional). También se usa como entrada de reloj al temporizador/contador TMR0. Salida de colector abierto
RA5/SS/AN4	7	E/S Digital o Entrada análoga 4. También lo usa el puerto serial síncrono.
RB0/INT	33	Bit 0 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. También se usa como entrada de interrupción externa (INT).
RB1	34	Bit 1 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL
RB2	35	Bit 2 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL

Continúa 

RB4	37	Bit 4 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL. Interrupción por cambio del pin
RB5	38	Bit 5 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL. Interrupción por cambio del pin.
RB6/PGC	39	Bit 6 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. Interrupción por cambio del pin. Entrada de reloj para programación serial.
RB7/PGD	40	Bit 7 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. Interrupción por cambio del pin. Entrada de datos para programación serial.
RC0/T1OSO/T1CKI	15	E/S Digital. Salida del oscilador Timer 1 o entrada de reloj Timer 1.
RC1/T1OSI/CCP2	16	E/S Digital. Entrada del oscilador Timer 1. Entrada Captura 2; Salida Compara 2; Salida PWM 2
RC2/CCP1	17	E/S Digital. Entrada Captura 1; Salida Compara 1; Salida PWM 1
RC3/SCK/SCL	18	E/S Digital. Línea de reloj serial asíncrono en el modo SPI y el modo I ² C
RC4/SDI/SDA	23	E/S Digital. Línea de datos en el modo SPI o en el modo I ² C
RC5/SDO	24	E/S Digital
RC6/TX/CK	25	E/S Digital. Transmisión asíncrona (USART) o reloj síncrono (SSP)
RC7/RX/DT	26	E/S Digital. Recepción asíncrona (USART) o línea de datos (SSP).
VDD	11, 32	Voltaje de alimentación DC (+)
VSS	12, 31	Referencia de voltaje (GND).
MCLR	1	Entrada de RESET al microcontrolador.
OSC1/CLKIN	13	Entrada oscilador cristal oscilador / Entrada fuente de reloj externa.
OSC2/CLKOUT	14	Salida oscilador cristal. Oscilador RC: Salida con un ¼ frecuencia OSC1
RD0/PSP0	19	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD1/PSP1	20	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD2/PSP2	21	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD3/PSP3	22	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD4/PSP4	27	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD5/PSP5	28	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD6/PSP6	29	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD7/PSP7	30	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RE0/RD/AN5	8	E/S Digital. Puede ser pin de lectura (read) en modo microprocesador.
RE1/WR/AN6	9	E/S Digital. Puede ser pin de escritura (write) en modo microprocesador.
RE2/CS/AN7	10	E/S Digital. Puede ser pin de selección de chip (chip select) en modo microprocesador.

Fuente: (www.utp.edu.co, 2014)

El oscilador externo

Todo microcontrolador requiere un circuito externo que le indique la velocidad a la que debe trabajar. Este circuito se conoce como oscilador o reloj, es muy simple pero de vital importancia para el sistema. El PIC 16F877A puede utilizar cuatro tipos diferentes de osciladores que son:

- **RC:** oscilador con resistencia y condensador.
- **XT:** cristal (por ejemplo de 1 a 4 MHz)
- **HS:** cristal de alta frecuencia (por ejemplo de 10 a 20 MHz)
- **LP:** cristal de baja frecuencia y bajo consumo de potencia.

Nota: en el momento de programar o “quemar” el microcontrolador se debe especificar qué tipo de oscilador se va a utilizar. Esto se hace a través de unos fusibles de configuración.

El oscilador más utilizado en este tipo de proyectos es el XT con un cristal de 4 MHz, porque garantiza precisión y es muy comercial. Internamente esta frecuencia está dividida por cuatro, lo que hace que la frecuencia efectiva de trabajo sea de 1 MHz siendo el caso, por lo que cada instrucción se ejecuta en un microsegundo. El cristal debe ir conectado a dos condensadores como se muestra en la figura.

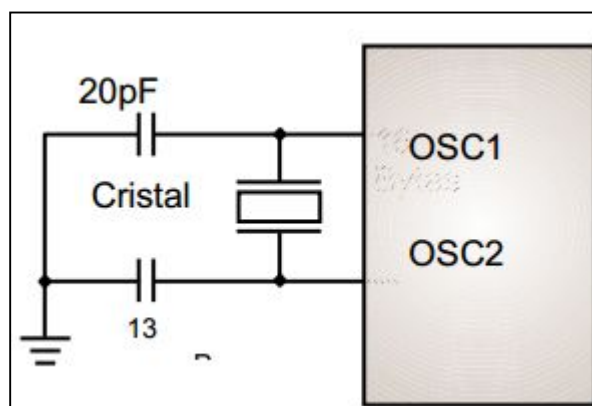


Figura 35. Forma de conectar el oscilador tipo cristal al PIC.

Fuente: (www.utp.edu.co, 2014)

Cristal de cuarzo

Este tipo de oscilador se encuentra conectado al microcontrolador del indicador de combustible, dado que este cristal funciona a una frecuencia determinada y no es afectada por cambios de temperatura y de voltaje de alimentación. Esta frecuencia es identificada en el encapsulado del oscilador externo. A parte del cristal utilizamos dos condensadores C1 y C2 sin importar el valor de su capacitancia, pero se recomiendan valores a continuación ya que no existe una regla específica para conectar condensadores de un valor específico al cristal, pero son los más recomendados.

Tabla 4.

Frecuencia recomendada de los condensadores para su uso en el oscilador.

MODO	FRECUENCIA	C1 Y C2
XT	200 KHz	47-68 μ F
	1MHz	15 μ F
	4MHz	15 μ F

Fuente: (www.utp.edu.co, 2014)

MCLR (Master Clear Reset)

En el microcontrolador se requiere tener un pin de reset para reiniciar el funcionamiento del sistema cuando sea necesario, ya sea por una falla que se presente o porque así lo requiera por su diseño del sistema. El pin de reset en el PIC es llamado MCLR (master clear reset).

Existen varias formas de resetear el sistema:

- Al encendido (power on reset)
- Pulso en el pin MCLR durante operación normal.
- Pulso en el pin MCLR durante el modo de bajo consumo (modo sleep)
- El rebase de conteo del circuito de vigilancia (watch dog) durante operación normal.

El reset al encendido se consigue gracias a dos temporizadores. El primero de ellos es gracias al OST (Oscilator start up timer: temporizador de encendido del oscilador), orientado a mantener el microcontrolador en reset hasta que el oscilador de cristal se estabilice. El segundo es el PWRT (power – up timer: temporizador de encendido) que provee un retardo de 72 ms en el encendido únicamente, diseñado para mantener al dispositivo en reset mientras la fuente se estabiliza. Para utilizar estos temporizadores, solo basta conectar el pin MCLR a la fuente de alimentación, evitándose utilizar las tradicionales redes de resistencias en el pin de reset.

El reset por el MCRL se consigue llevando momentáneamente este pin a un estado lógico bajo, mientras que el watch dog (WDT), produce el reset cuando su temporizador rebasa la cuenta. Cuando se quiere tener control del sobre el reset del sistema se puede se puede conectar un botón como indica la figura.

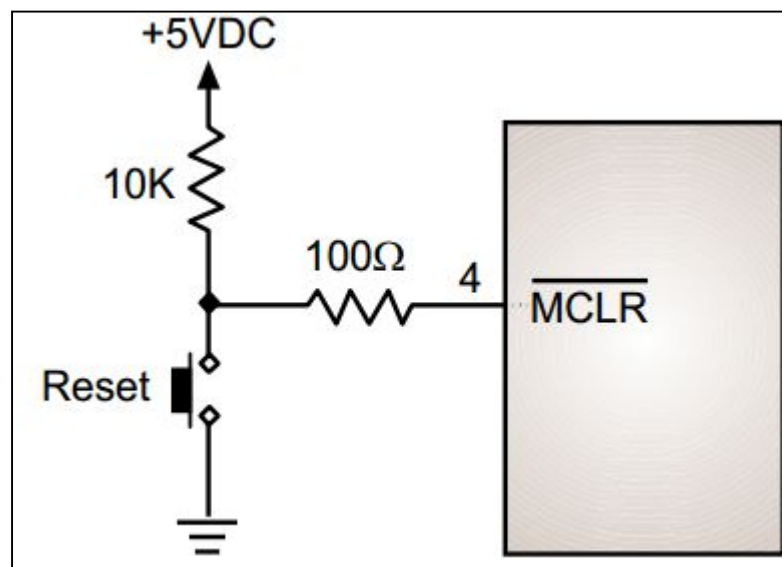


Figura 36. Conexión del botón reset al PIC.

Fuente: (www.utp.edu.co, 2014)

3.3.1.4 Pantalla LCD

Los instrumentos que utilizan este tipo de pantallas tienen más consideraciones de cuidado. Los revestimientos antireflectivos se utilizan para reducir el deslumbramiento y hacerlos más visibles. Hay que tener mucho cuidado con el tratamiento de estas pantallas por que pueden ser degradadas con el mal manejo de estas.

Existen líquidos para la limpieza de estos, uno de ellos es el uso de líquidos con amoniaco y paños especiales. Para mayor información se recomienda seguir las instrucciones del fabricante.

Pantalla LCD JHD162G

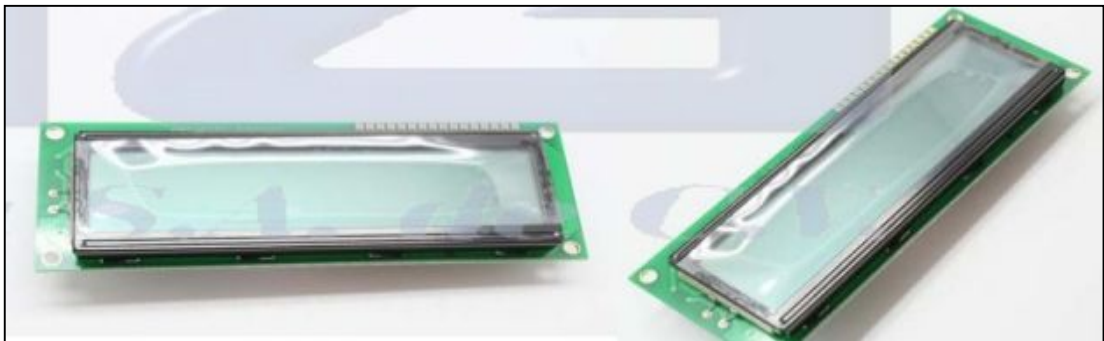


Figura 37. Pantalla LCD JHD162G

Fuente: (<http://www.jhdlcd.com.cn>, 2014)

Características generales:

- Contenido del display: 16 x 2 caracteres.
- Tipo de LCD: Gris.
- Luz de led: Blanco.
- Controlador: KS0066 o igual.
- Temperatura de operación: Normal (0 – 50 C): máxima (-20 – 70 C)
- Alimentación: 5v
- Angulo de visualización: 6H; 12H.

Configuración de los pines

Tabla 5.

Configuración de pines.

1	2	3	4	5	6	7	8
VSS	VDD	V0	RS	R/W	E	DB0	DB1
9	10	11	12	13	14	15	16
DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	DB7	LEDA	LEDK

Fuente: (<http://www.jhdlcd.com.cn>, 2014)

Conexión de la pantalla LCD

Dependiendo de cuantas líneas utilizan para conectar un LCD al microcontrolador, hay dos modos de LCD, el de 8 bits y el de 4 bits. El modo apropiado se selecciona en el inicio del funcionamiento en el proceso de inicialización. El modo de 8 bits utiliza los pines D0 al D7 para transmitir datos. El modo 4 bits que se está utilizando para la realización de este proyecto utiliza los pines de conexión D4 al D7 con el propósito de ahorrar pines de E/S del microcontrolador.

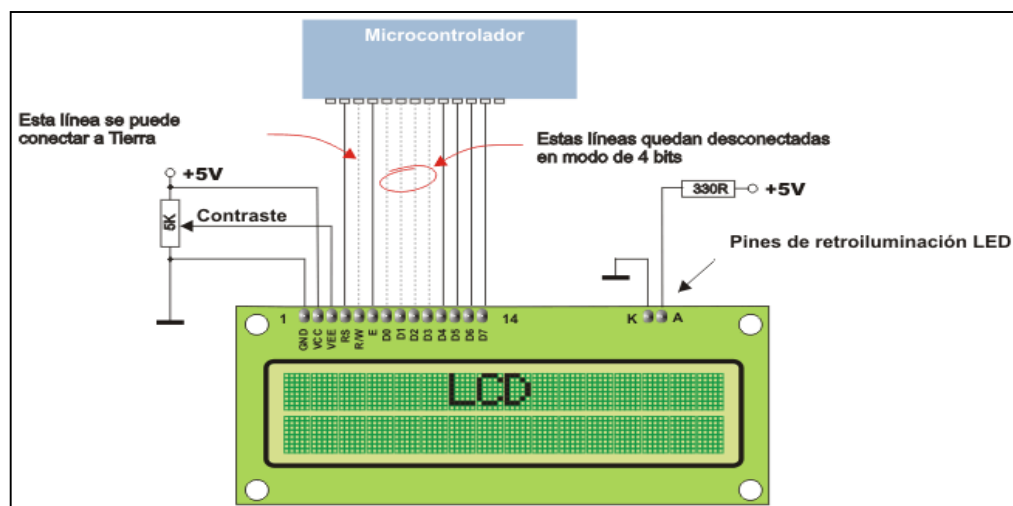


Figura 38. Conexión de los pines del LCD.

Fuente: (<http://www.mikroe.com>, 2104)

Parámetros de operación

Tabla 6.

Parámetros de operación

Parameter	Symbol	Testing Criteria	Standard Values			Unit
			Min.	Typ.	Max	
Supply voltage	V _{DD-V} SS	-	4.5	5.0	5.5	V
Input high voltage	V _{IH}	-	2.2	-	V _{DD}	V
Input low voltage	V _{IL}	-	-0.3	-	0.6	V
Output high voltage	V _{OH}	-I _{OH} =02mA	2.4	-	-	V
Output low voltage	V _{OL}	I _{OL} =1.2mA	-	-	0.4	V
Operating voltage	I _{DD}	V _{DD} =5.0V	-	1.5	3.0	mA

Fuente: (<http://www.jhdlcd.com.cn>, 2014)

Dimensiones de la pantalla LCD

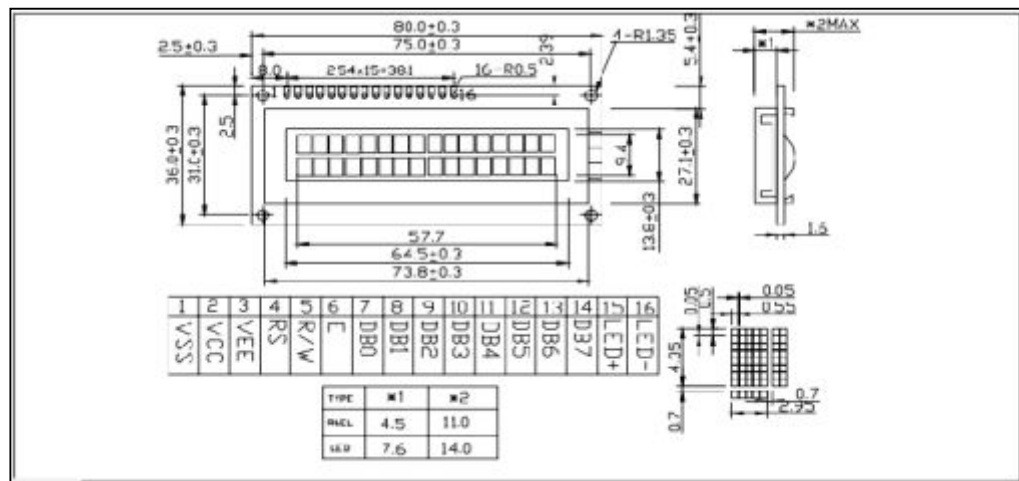


Figura 39. Dimensiones de la pantalla LCD JHD162G.

Fuente: (<http://www.jhdlcd.com.cn>, 2014)

3.3.2 Proceso de elaboración del indicador de combustible

La elaboración del indicador de combustible se realizó de manera ordenada siguiendo una planificación que permita realizar un trabajo que lleve a cumplir los objetivos propuestos en el presente proyecto. Para detallar el proceso se realizó un esquema de trabajo que sirve de guía que es un diagrama de bloques mostrado a continuación en la figura:

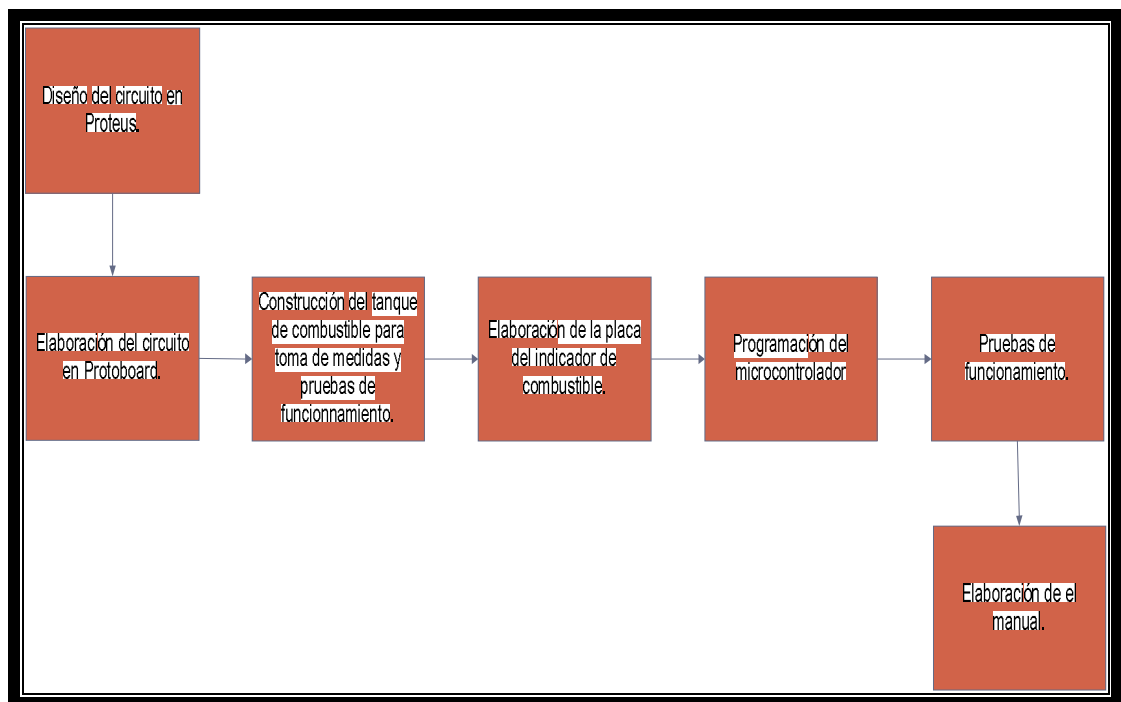


Figura 40. Diagrama de bloques del proceso de elaboración del indicador de combustible.

3.3.2.1 Diseño del indicador de combustible

El diseño del circuito se realizó en software de simulación de circuitos electrónicos denominado como Proteus usado en la versión 7.1, que servirá para posteriores simulaciones y pruebas. Para el diseño se realizó un trabajo con un esquema básico de entradas al PIC del sensor, switches y alimentación, con salidas hacia la LCD, Leds y parlante mostrado en la figura 42.

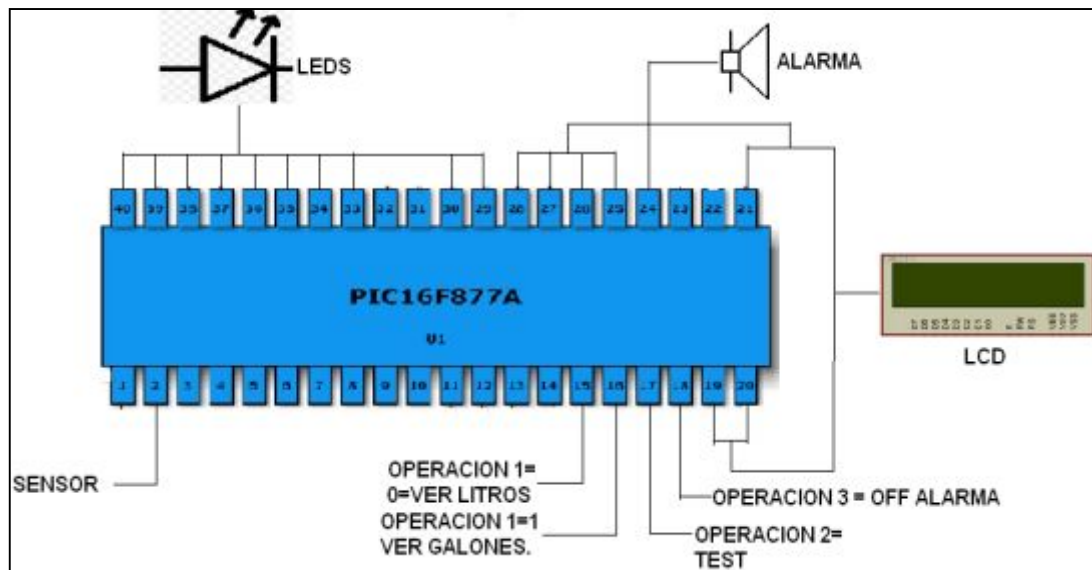


Figura 41. Esquema de diseño del circuito.

Para el diseño del circuito se conoce que la señal enviada es voltaje DC enviada por el transmisor de combustible a través del movimiento del flotador en un rango aproximado de 0 V – 5 V DC. Esta señal es receptada por el microcontrolador para realizar la digitalización.

En el compilador se debe seleccionar y ubicar los componentes de tal forma que se pueda trazar las líneas de conexión y pueda ser fácil de interpretar ya que este diagrama servirá posteriormente para la elaboración del circuito en el protoboard y la placa.

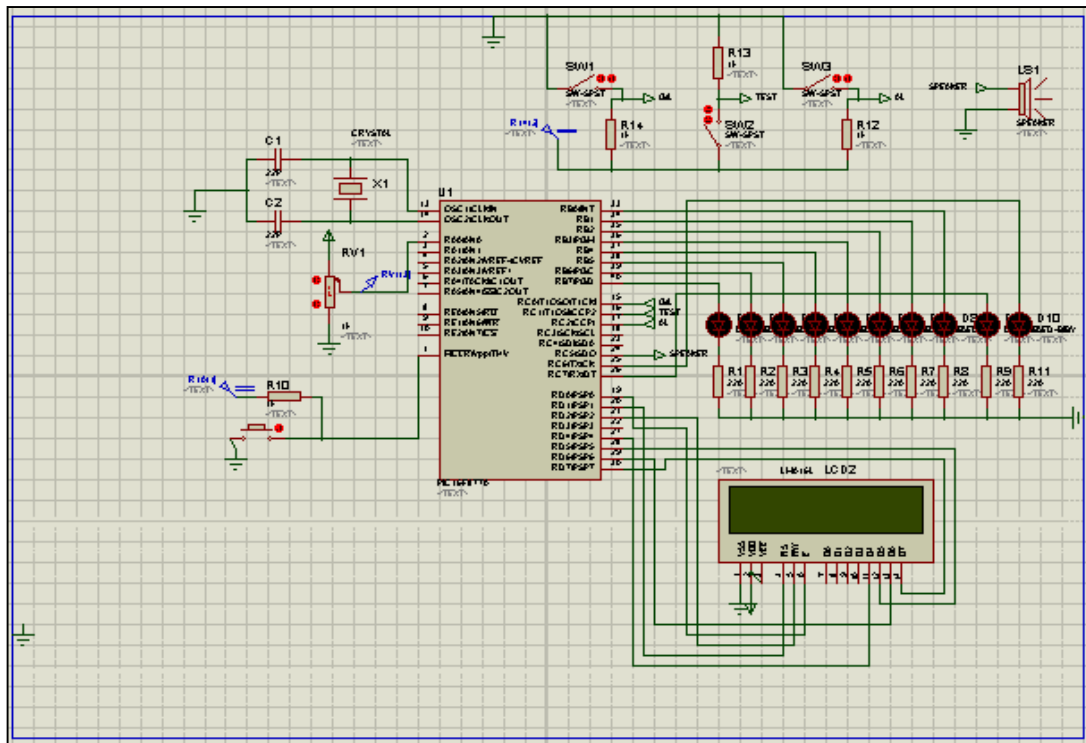


Figura 42: Circuito elaborado en Proteus.

La figura muestra el circuito ya terminado, el microcontrolador muestra únicamente las entradas que provienen del MCLR (Master Clear Reset), entrada de la señal del sensor de nivel de combustible remplazada por un potenciómetro, también se encuentran las entradas para el switch de selección de galones / litros, para test de luces y switch para cancelar la alarma. El diagrama de circuito se encuentra las salidas para la display, Leds y la alarma.

3.3.2.2 Elaboración del circuito en protoboard

La elaboración del circuito en el protoboard se realiza en base al diagrama realizado en el compilador de diseño de circuitos electrónicos, para la ubicación correcta de los componentes, que servirá para realizar una simulación del funcionamiento del indicador.

Distribución de los pines del microcontrolador en el prototipo del circuito del indicador de combustible realizado en el protoboard.

Tabla 7.

Distribución de pines del circuito del indicador de combustible.

NOMBRE DEL PIN	PIN	DESCRIPCIÓN
MCLR/vpp/TVH	1	Entrada MCLR.
RA0/AN0	2	Entrada de la señal del sensor de medición de combustible.
RA1/AN1	3	-
VDD	11	Voltaje referencial (+).
VSS	12	Salida de voltaje (-).
OSC1/CLKIN	13	Oscilador de cristal.
OSC2/CLKOUT	14	Oscilador de cristal.
RC0/T1OSO/T1C KI	15	Entrada selector GLS/ LTS
RC1/T1OSI/CCP2	16	Entrada selector GLS/ LTS
RC2/CCP1	17	Entrada del interruptor para cancelar alarma.
RD0/PSP0	19	Salida señal hacia el pin 6 (E) de la pantalla LCD
RD1/PSP1	20	Salida señal hacia el pin 4 (RS) de la pantalla LCD
RD2/PSP2	21	Salida señal hacia el pin 5 (RW) de la pantalla LCD
RC5/SDO	24	Salida de señal de alarma de bajo nivel de combustible.
RC6/TX/CK	25	Salida hacia el LED
RC7/RX/DT	26	Salida hacia el LED
RD4/PSP4	27	Salida señal hacia el pin 11 (DB4) de la pantalla LCD.
RD5/PSP5	28	Salida señal hacia el pin 12 (DB5) de la pantalla LCD.
RD6/PSP6	29	Salida señal hacia el pin 13 (DB6) de la pantalla LCD.
RD7/PSP7	30	Salida señal hacia el pin 14 (DB7) de la pantalla LCD.
RBO/INT	33	Salida hacia el LED
RB1	34	Salida hacia el LED
RB2	35	Salida hacia el LED
RB3/PGM	36	Salida hacia el LED
RB4	37	Salida hacia el LED
RB5	38	Salida hacia el LED
RB6/PGC	39	Salida hacia el LED
RB7/PGD	40	Salida hacia el LED

Nota:

El Pin 4 de la pantalla LCD sirve para regular el contraste de la misma por medio de un potenciómetro. El circuito en protoboard no se encuentra conectado al transmisor de combustible, en su remplazo se encuentra un potenciómetro que sirve como una simulación de la señal que da el sensor de combustible.

Ya finalizado el montaje de los componentes en el protoboard se obtiene un circuito como el que se muestra en la imagen.

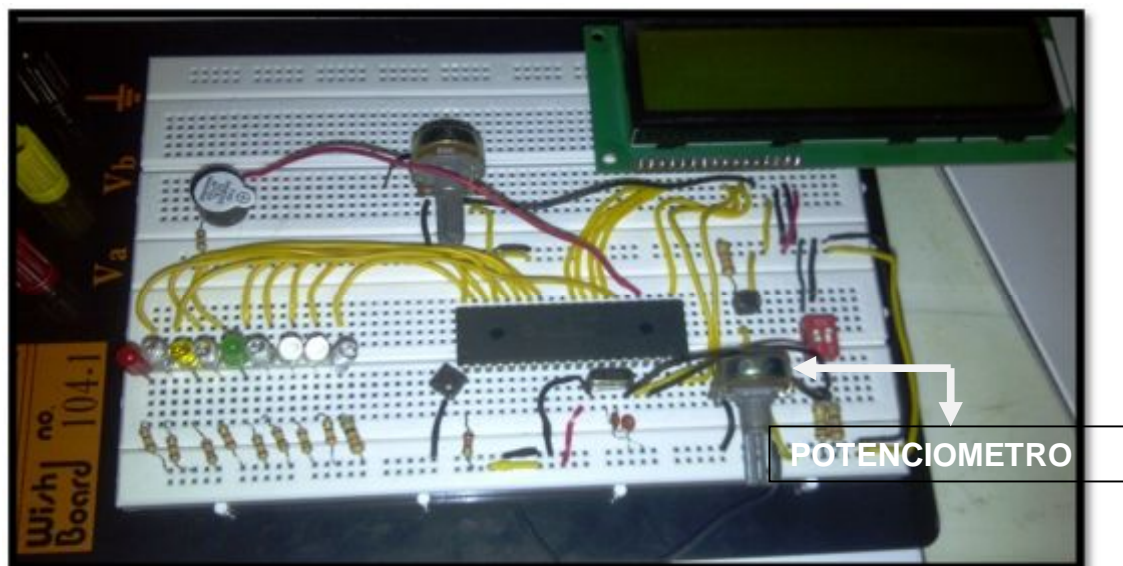


Figura 43. Elaboración del circuito en protoboard.

Materiales utilizados en la elaboración del circuito en el protoboard

Los materiales utilizados en el ensamblaje del indicador de combustible digital en el protoboard son:

- Pantalla LCD JHD162G.
- Microprocesador PIC16F877A.
- Cristal de 4 MHz
- 2 Condensadores de 21 microfaradios.
- 1 Botón de reset para el PIC.

- 3 potenciómetros de 10 k.
- Once diodos cada uno con una resistencia de 220 ohmios.
- Un pulsador.
- Un dip switch.
- Resistencia de 240 ohmios
- Resistencia de 1.5 k ohmios.
- 10 LEDS.
- Cable (3 metros).
- Un parlante.

3.3.2.3 Construcción del tanque de combustible

La construcción del depósito se realizó para acoplar el transmisor de cantidad de combustible retirado del avión. La construcción se realizó debido a que el transmisor de combustible ubicado en la maqueta del sistema no era factible por varios motivos, el primero se debe a que no se puede realizar una modificación o realizar algún cambio en este simulador de sistema de combustible por que no pertenece a la Unidad de Gestión de Tecnologías sino a la ETFA (Escuela Técnica de la Fuerza Aérea).

El segundo motivo se debe a las dimensiones del transmisor de combustible del simulador y el retirado del avión, que varían considerablemente lo que requiere realizar una modificación en el mecanismo de la boya y el transmisor afectando su funcionamiento.

Con el objeto de evitar daños en el transmisor ya que es el único disponible, se opta por la construcción de un tanque para acoplar el dispositivo de tal forma que no afecte su funcionamiento.

La maqueta cuenta con dos tanques, el primer tanque se utiliza para medir el combustible asemejando al tanque del fuselaje que se encuentra en el avión. El segundo tanque es el de almacenamiento del sistema que simula al resto de tanques que se encuentran en el avión.

Estos tanques se encuentran conectados por medio de mangueras para el envío del combustible hacia el tanque de fuselaje utilizando una bomba de agua eléctrica y el retorno del combustible desde el tanque del fuselaje al tanque de almacenamiento por gravedad.

Los materiales utilizados para la construcción del tanque son:

- Dos planchas de acrílico de 2 x 2 de seis milímetros de espesor.
- Tornillos de 2mm de espesor y de 1 cm de largo.
- Silicona líquida.
- Válvula de drenaje.
- Silka flex (pegamento para pegar vidrio y acrílico)
- Dos varillas angulares
- Tubo de hierro.

Proceso de construcción del tanque

1. Se cortó en las planchas de 46 cm de ancho y 76 cm de alto para obtener la pared frontal y posterior del tanque del fuselaje.
2. Se realizó otro corte de 75 cm de ancho por 15 de alto para las paredes laterales del tanque del fuselaje.
3. Se realizó un tercer corte de 46 cm de largo y 16 de ancho para la base y tapa del tanque del fuselaje.
4. Se juntó todos los cortes y se unen con tornillos y se sella con silicona.
5. En la parte inferior del tanque se realizó un orificio de $\frac{3}{4}$ de pulgada y se instala una válvula de drenaje, fue sellada en los bordes para evitar fugas.
6. En la parte lateral superior izquierda se realizó un orificio de $\frac{1}{2}$ pulgada para la manguera que abastece al tanque del fuselaje.
7. En la tapa superior del tanque del fuselaje se realizó un agujero de dos pulgadas para colocar la unidad de transmisión de combustible.

8. Para el tanque de almacenamiento se realizó dos cortes en el acrílico de 50 cm de largo por 47cm de ancho para la base y la parte superior del tanque.
9. Se cortó dos paredes de 30cm de alto por 47 cm de largo y dos paredes de 30 cm de alto por 50 de largo para los laterales del tanque.
10. Se junta con tornillos y se sella con silicona.
11. En la parte superior del tanque se hizo un agujero de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro para conectar la manguera de drenaje del tanque del fuselaje.
12. Se hizo un corte en la parte superior del tanque para tener un acceso al interior del tanque.
13. En la parte inferior del tanque de almacenamiento se hizo un agujero de $\frac{3}{8}$ de pulgada para colocar una válvula de drenaje.

Una vez hecho los dos tanques de combustible se cortó la varilla para enmarcarlos, concluido el enmarcado se une a una estructura especialmente fabricada para poder transportar con facilidad la maqueta, como se muestra en la figura 45.



Figura 44. Tanques de combustible.

Para obtener la capacidad del tanque se realizan los siguientes cálculos:

Se multiplica:

$$h * l * d = \text{volumen en } mm^3$$

Dónde:

h= altura

l= largo

d= espesor.

$$76 * 45 * 14 = 47880mm^3$$

$$\frac{47880mm^3}{1000} = 47.8lts^3.$$

El tanque contiene 47.8 litros. Para calcular la cantidad en galones se divide la capacidad del tanque en litros para 3.78, que equivale a un galón.

$$\frac{47.8lts}{3.78} = 12.62 \text{ gls.}$$

3.3.2.4 Toma de medidas de voltaje desde el transmisor de cantidad de combustible

La programación del microcontrolador requiere recoger medidas de voltaje a razón de que la boya del transmisor de combustible va subiendo. Para esto se obtiene el voltaje cuando se encuentra vacío el tanque para que posteriormente sea llenado con cinco litros y obtener la medida con la cantidad antes mencionada, a partir de ahí, se medirá cada cinco litros en adelante hasta completar los cuarenta litros.

Para medir la salida de voltaje del transmisor de combustible del avión T – 33 se debe identificar los pines del sensor, para evitar una marcación incorrecta o no medir. Para el efecto se elaboró un gráfico donde se pueden identificar los pines del transmisor de combustible.

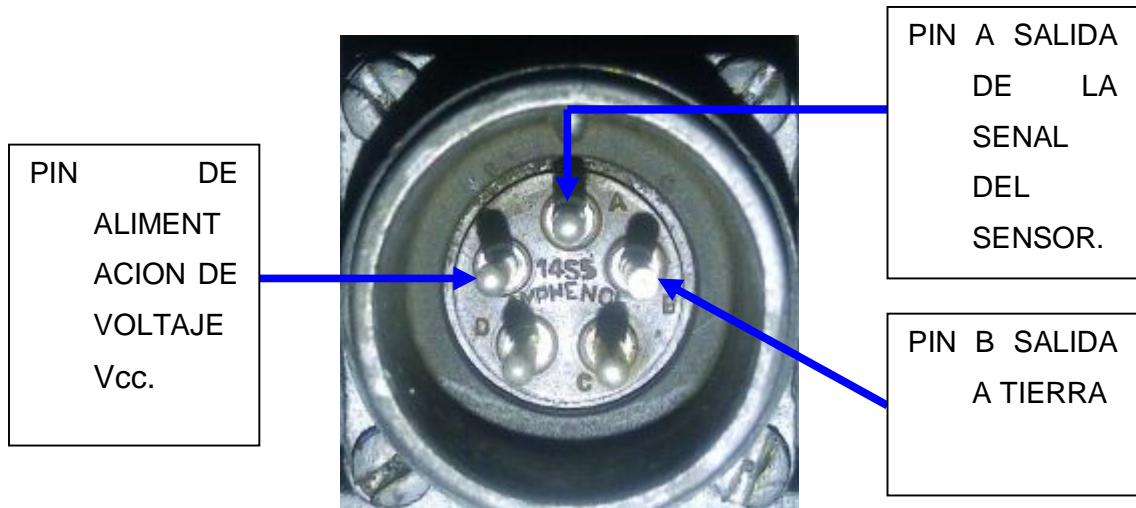


Figura 45. Pines de salida del transmisor de salida.

Pasos para medir el voltaje:

1. Alimentar el indicador de combustible con 5Vcc en el PIN C.
2. Conectar el cable positivo del multímetro a la salida de la señal en el PIN A.
3. Conectar el cable de tierra del multímetro al PIN B que corresponde a la conexión de tierra del transmisor.
4. Verter una cantidad de cuatro litros de líquido en el tanque y verificar que el flotador se encuentre en la marcación de cantidad en el tanque.
5. Medir con el multímetro el voltaje dado por el transmisor.
6. Repetir el último paso y medir hasta llegar a los cuarenta litros.

El objetivo de realizar estas mediciones son para determinar los rangos de voltaje con los que el microcontrolador va a trabajar, se determina la diferencia entre el voltaje medido por el multímetro y el medido por el microcontrolador, para luego determinar la diferencia que existe entre estos dos tipos de mediciones y determinar el porcentaje de error con que trabaja el microcontrolador.

Se realizó seis medidas en diferentes puntos con voltímetro y la medición dada por el microcontrolador posteriormente se realizó un cálculo para determinar el porcentaje de error, terminando con el promedio total de las seis mediciones, tales resultados serán identificados en la siguiente tabla.

$$V(\text{sensor}) - V(\text{Pic}) = V(\text{diferencial})$$

El porcentaje de error se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{V(\text{diferencial}) * 100}{V(\text{sensor})} = \% \text{ de error.}$$

Tabla 7.

Tabla de medición de voltaje dado por el sensor y por el microcontrolador.

MEDIDAS	VOLTAJE SENSOR	VOLTAJE PIC	DIFERENCIA	PORCENTAJE DE ERROR
1	0,636	0,59	0,04600	7,232704403
2	1,345	1,25	0,09500	7,063197026
3	2,138	2	0,13800	6,454630496
4	3,318	3,11	0,20800	6,268836649
5	3,83	3,6	0,23000	6,005221932
6	4,32	4,05	0,27000	6,25
			SUMA	39,27459051
			PROMEDIO	6,545765084

El porcentaje de error da un total de 6.5457%.

Las siguientes tablas son mediciones de voltaje tomadas en cada litro que indica el flotador en la que se calcula la diferencia de voltajes entre litros, para determinar si es lineal el voltaje que proviene del sensor.

$$V_f - F_o = \text{diferencia de voltaje}$$

Ejemplo.

$$0.686 - 0.58 = 0.106$$

Debido a que el voltaje no es lineal se debe promediar la diferencia de voltaje para obtener un promedio por litro, es decir que en cada litro que suba o baje la boya, para obtener un voltaje ideal.

El voltaje ideal se obtiene de la suma del voltaje medido más el promedio obtenido por litro que es 0,102857143 voltios por litro.

$$V(\text{medido}) + \text{promedio en litros} = \text{voltaje ideal.}$$

Ejemplo.

$$0,5800 + 0,102847143 = 0,6829$$

De igual forma se obtiene el promedio del voltaje ideal para llegar a obtener un promedio por litro ideal que es 0,1029 voltios por litro ideal.

Tabla 8.

Tabla de medición por cada unidad de litro y obtención de voltaje ideal.

LITROS	DIFERENCIA(VD) Vf-Vo	PROMEDIO POR LITRO	VOLTAJE IDEAL	PROMEDIO POR LITRO IDEAL
1				
2				
3				
4	0,58	0,102857143	0,5800	0,1029
5	0,106		0,6829	
6	0,114		0,7857	
7	0,13		0,8886	
8	0,116		0,9914	
9	0,087		1,0943	
10	0,117		1,1971	
11	0,11		1,3000	
12	0,12		1,4029	
13	0,103		1,5057	
14	0,107		1,6086	
15	0,1		1,7114	
16	0,06		1,8143	
17	0,07		1,9171	
18	0,11		2,0200	
19	0,115		2,1229	
20	0,095		2,2257	
21	0,1		2,3286	
22	0,08		2,4314	
23	0,081		2,5343	
24	0,129		2,6371	
25	0,098		2,7400	
26	0,102		2,8429	
27	0,08		2,9457	
28	0,111		3,0486	
29	0,107		3,1514	
30	0,085		3,2543	
31	0,127		3,3571	
32	0,088		3,4600	

Continúa



33	0,112	3,5629
34	0,07	3,6657
35	0,14	3,7686
36	0,11	3,8714
37	0,09	3,9743
38	0,13	4,0771

3.3.2.5 Programación del microcontrolador

Pic C es una herramienta que permite programar un microcontrolador por medio de un lenguaje denominado "C", a di referencia de otro tipo de lenguajes este hace a los programas más fáciles de escribir, analizar y comprender. Este programa ha sido desarrollado por PIC CMU, y se puede contar con una gran cantidad de librerías y drivers que permiten optimizar los programas en el momento de manejar dispositivos externos, como pantallas LCD, convertidores, memorias, etc.

El lenguaje C es un tipo de programación que a pesar de ser uno de los más básicos sigue siendo una gran herramienta al momento de crear diferentes rutinas para un microcontrolador.

Estructura de una programación en lenguaje C

Un programa en PIC C+ cuenta con dos formas distintas de programación. Ya sea creando un proyecto o simplemente escribiendo un código completo directamente en un archivo con extensión "C", en cualquiera de los casos que se vayan a usar, la estructura es prácticamente la misma.

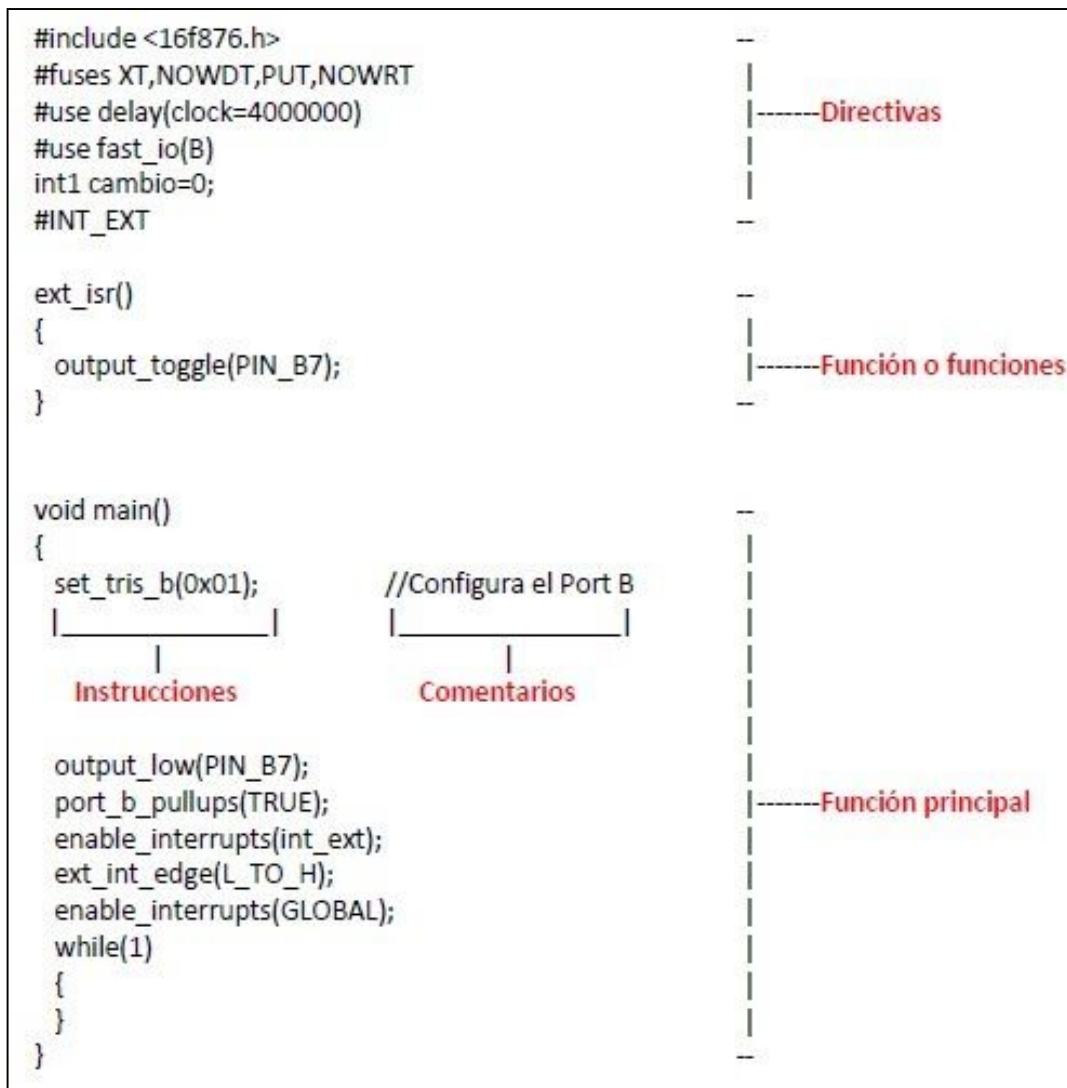


Figura 46. Estructura de programación en Pic C.

Fuente: (Enrique Vicente Bonet Esteban, 2012)

➤ **Directivas**

Las directivas dan los parámetros de control que le indican al compilador las herramientas que va a necesitar para adecuarse correctamente.

➤ **Función o funciones**

Las funciones son las rutinas que el microcontrolador ejecutará según se programe. La función principal es la columna vertebral del programa y es la primera en ejecutarse según su diseño, hará las llamadas correspondientes

tanto a las librerías como a las funciones secundarias. Las funciones secundarias son aquellas subrutinas en las que se apoya la función principal para su correcto funcionamiento, principalmente se utiliza para no repetir la escritura de un código una y otra vez o por simple orden.

➤ **Instrucciones**

Las instrucciones son el código a escribir o a compilar.

➤ **Comentarios**

Los comentarios se utilizan para aclarar ciertos aspectos de las instrucciones, es bastante útil para recordar la estructura y el funcionamiento de un programa hecho anteriormente o por un tercero.

Comandos utilizados para la programación del microcontrolador del indicador de combustible

➤ **#include <16F877.h>**: Esta instrucción sirve para incluir la librería con todos los datos relacionados con el microcontrolador que se va a utilizar, en esta ocasión será el PIC 16F877A, así como la pantalla LCD.

➤ **#fuses XT,NOWDT**: Sirve para configuración del oscilador que se va utilizar en el PIC, en este caso es un cristal de cuarzo de 4MHz.

➤ **#use delay (50)**: Se configura la base de tiempo del PIC, esto se debe a que el PIC genera series de ciclos de máquinas para hacer funcionar el microcontrolador, pero debido que estos ciclos son inversamente proporcional a la frecuencia.

➤ **Lcd gotoxy**: Su objetivo es posicionar el cursor del LCD en el lugar designado por los números entre los paréntesis, el primero posiciona el cursor en la columna y el segundo en la fila (x, y).

- **Printf:** Imprime la serie de caracteres escrita entre las comillas en la pantalla LCD.

- **Else:** es la otra parte de la declaración if, y se encarga de cubrir las otras posibilidades que no hace las instrucciones dentro del if.

- **Void main():** es la función principal, es la columna vertebral del programa, no importa cuántas instrucciones y funciones se pongan encima, C siempre comenzara por acá.

- **If:** Esta otra declaración es usada para testear o revisar el estado del pin A0 del microcontrolador, esto se puede ver por medio de su estructura; el if es la declaración de decisión es decir, si se cumple con la condición dada entre los paréntesis se ejecuta la tarea de lo contrario se ignora; bit_test es el encargado de revisar el pin referenciado dentro de los paréntesis siguientes; (porta,0) referencia el pin del microcontrolador a revisar, primero se le dice que puerto o variable debe tomar y después de la coma se pone el pin o bit a testear, y en conjunto nos dice que el objetivo es el pin A0, de igual forma se pueden testear bits de variables definidas por el usuario; finalmente la condición “==1” se refiere al estado en el que se debe encontrar el pin para que se pueda ejecutar la declaración.

Para laprogramación es importante trabajar con los datos obtenidos en las mediciones.

Tabla 9.

Tabla de medidas de voltaje usando unidades de pic.

Lectura de entrada pic	Unidades de pic	Voltaje (V dc)	% de error de lectura (%)	Inicio de lectura (V dc)	Equivalente 4 LT	Litros por voltaje (vdc)	Respuesta en Lt	Respuesta en gal
	1024	5	6,54	0,636	4	0,103		
130	1024	0,6763	6,54	0,636	4	0,103	4,391061135	1,160121832
230	1025	1,1953	6,54	0,636	4	0,103	9,430357566	2,491507943
230	1026	1,1942	6,54	0,636	4	0,103	9,419046538	2,488519561
330	1027	1,7117	6,54	0,636	4	0,103	14,44363354	3,816019431
430	1028	2,2282	6,54	0,636	4	0,103	19,45844509	5,140936616
530	1029	2,7437	6,54	0,636	4	0,103	24,46350968	6,463278646
630	1030	3,2583	6,54	0,636	4	0,103	29,45885569	7,783053022
730	1031	3,7718	6,54	0,636	4	0,103	34,44451141	9,100267215
830	1032	4,2843	6,54	0,636	4	0,103	39,420505	10,41492867
930	1033	4,7958	6,54	0,636	4	0,103	44,38686454	11,72704479

Gráficas

Para comparar y realizar un análisis de los datos obtenidos en la tabla se realiza una gráfica en la que se va a apreciar la variación de voltaje que existe a medida que en flotador sube o baja ya que de la misma manera varia el voltaje, tanto la tabla como la gráfica son realizadas con valores ideales.

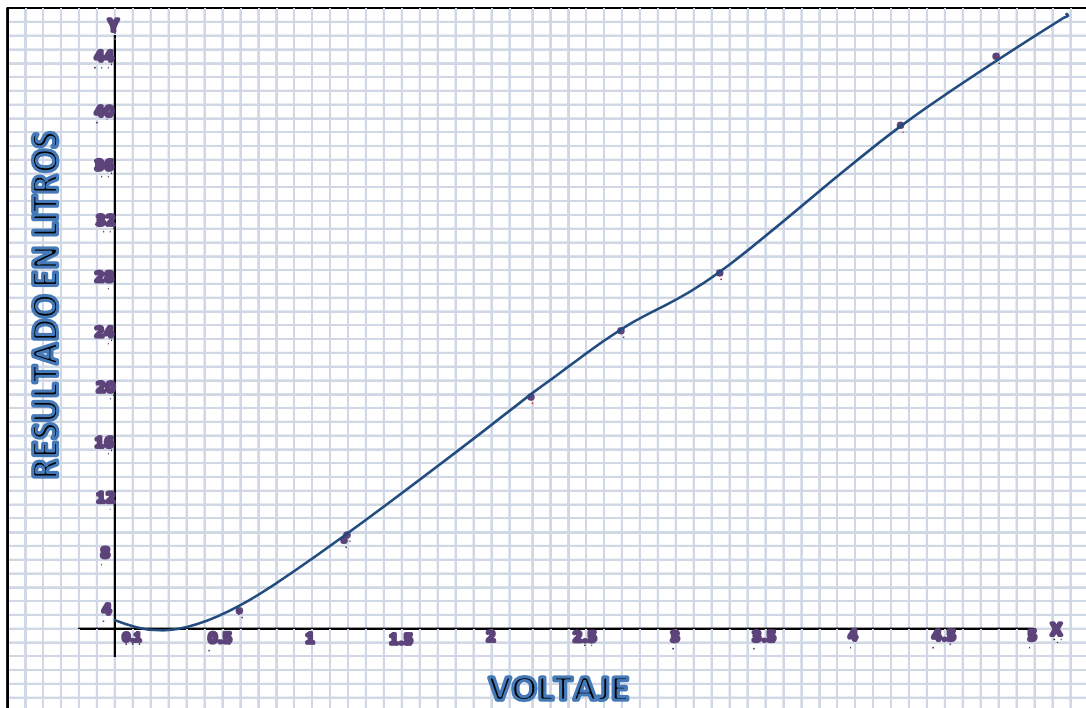


Figura 47. Gráfica voltaje vs resultado en litros.

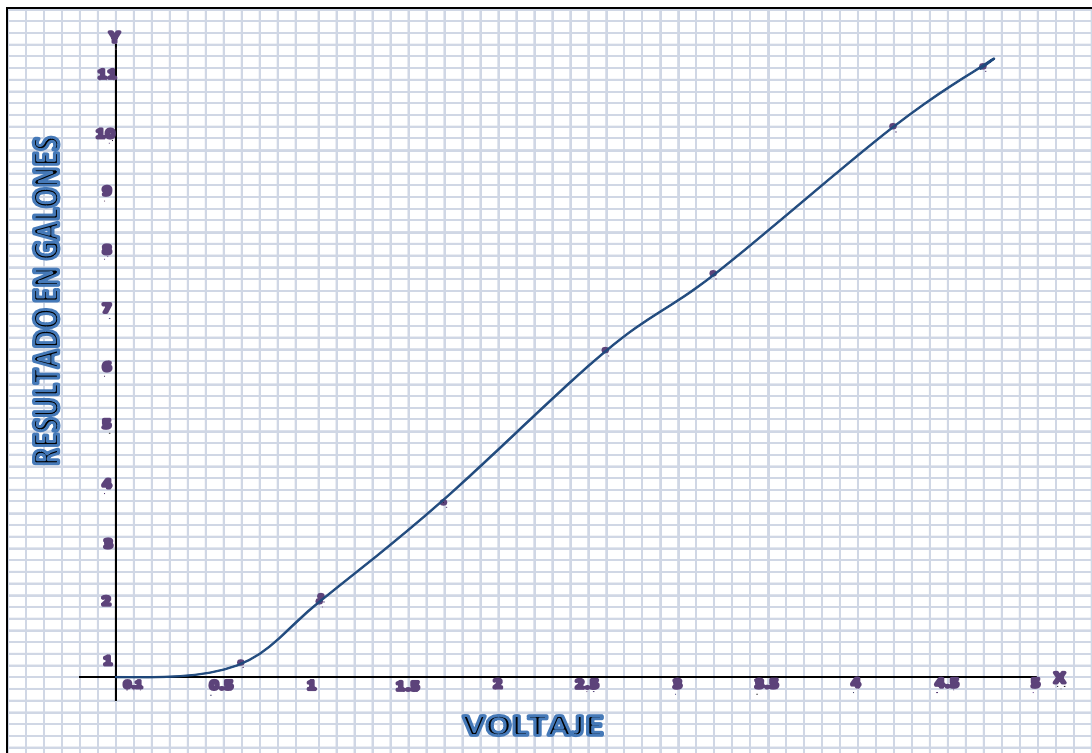


Figura 48. Gráfica de voltaje vs resultado en galones

Definición de variables para la programación

La identificación de variables ayuda a identificar las etapas de la programación que se puede definir en tres partes que son:

- Variables de entrada.
- Variables de proceso.
- Variables de salida.

Variables de entrada

Son las funciones que va a realizar el microcontrolador, las variables están ilustradas en la siguiente tabla.

Tabla 10.

Tabla de variables de entrada

TABLA DE VARIABLES DE ENTRADA		
Nombre	Descripción	Tipo
C0 (1)	Opción ver galones	Binario
C0 (0)	Opción ver litros	Binario
C1	Test de los LEDS	Binario
C2	Desactivar alarma	Binario

Variables de proceso

Estas variables permiten la identificación de cada función del microcontrolador para lo que fue programado. Estas variables están detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 11.

Tabla de variable de procesos.

NOMBRE	DESCRIPCION	TIPO
<i>VARIABLES LOCALES</i>		
n1- n7	Variables para promedio y filtro de la señal de entrada.	float
Galones	Variable para conversión a galones.	float
Litros	Variable para conversión a litros.	float

Variables de salida

Configura los pines de salida para todos los componentes que se encuentran conectados al microcontrolador. Esta se encuentra detallada en la siguiente tabla.

Tabla 12.




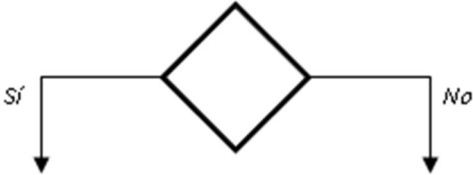

Tabla de variables de salida

NOMBRE	DESCRIPCION	TIPO
0 - 7	Variables de indicación para los LEDS.	Binario
C5	Variables de indicación para los LEDS.	Binario
C6	Variables de indicación para los LEDS.	Binario
C7	Salida para la alarma	Binario

Diagramas de flujo

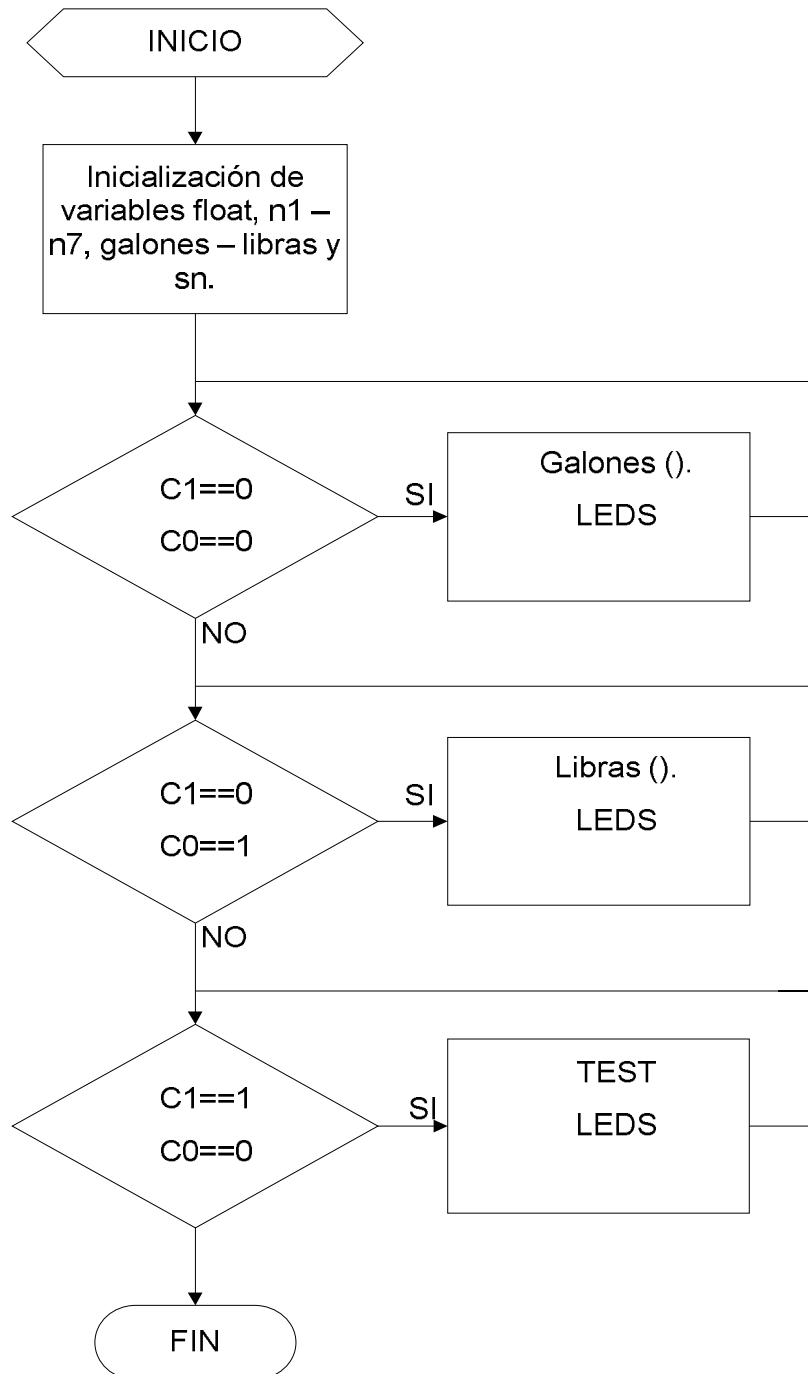
Los diagramas de flujo son una esquematización de los pasos que se van a seguir en una programación y sirven de forma complementaria para la estructura del programa. Para realizar un diagrama de flujo es necesario saber la simbología utilizada que va a ser detallada a continuación:

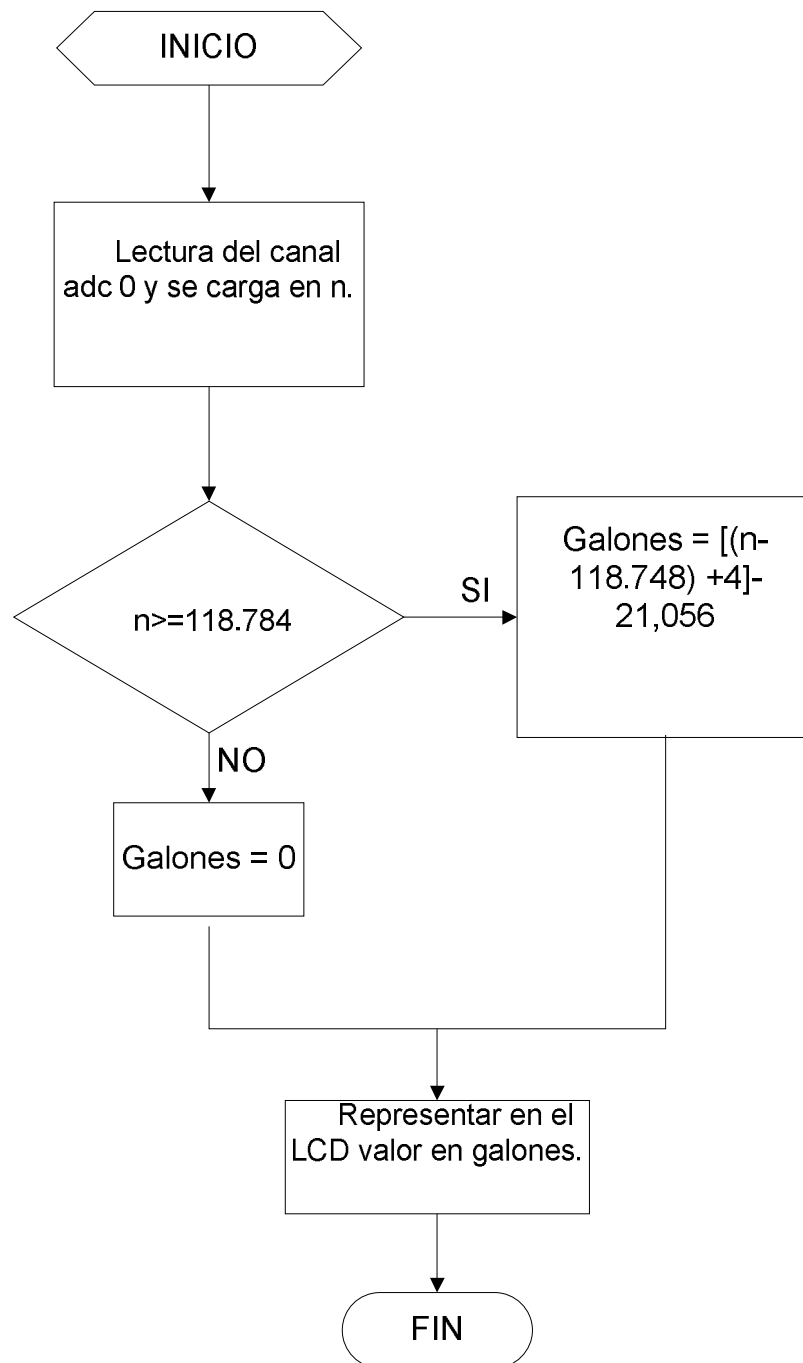
Cuadro 1.*Simbología de un diagrama de flujo.*

Simbolo	nombre	descripción
	terminal	Indica el comienzo o el final de un programa subprograma o modulo.
	proceso	Cualquier proceso interno realizado por el computador o designación de variables.
	Captura y emisión de datos.	Entrada o salida de información desde y hacia el ordenador.
	Decisión múltiple.	El dato o condición planteada presenta varias alternativas.
	Línea de flujo	Sentido de flujo de procesos. Indica que proceso viene a continuación del otro.

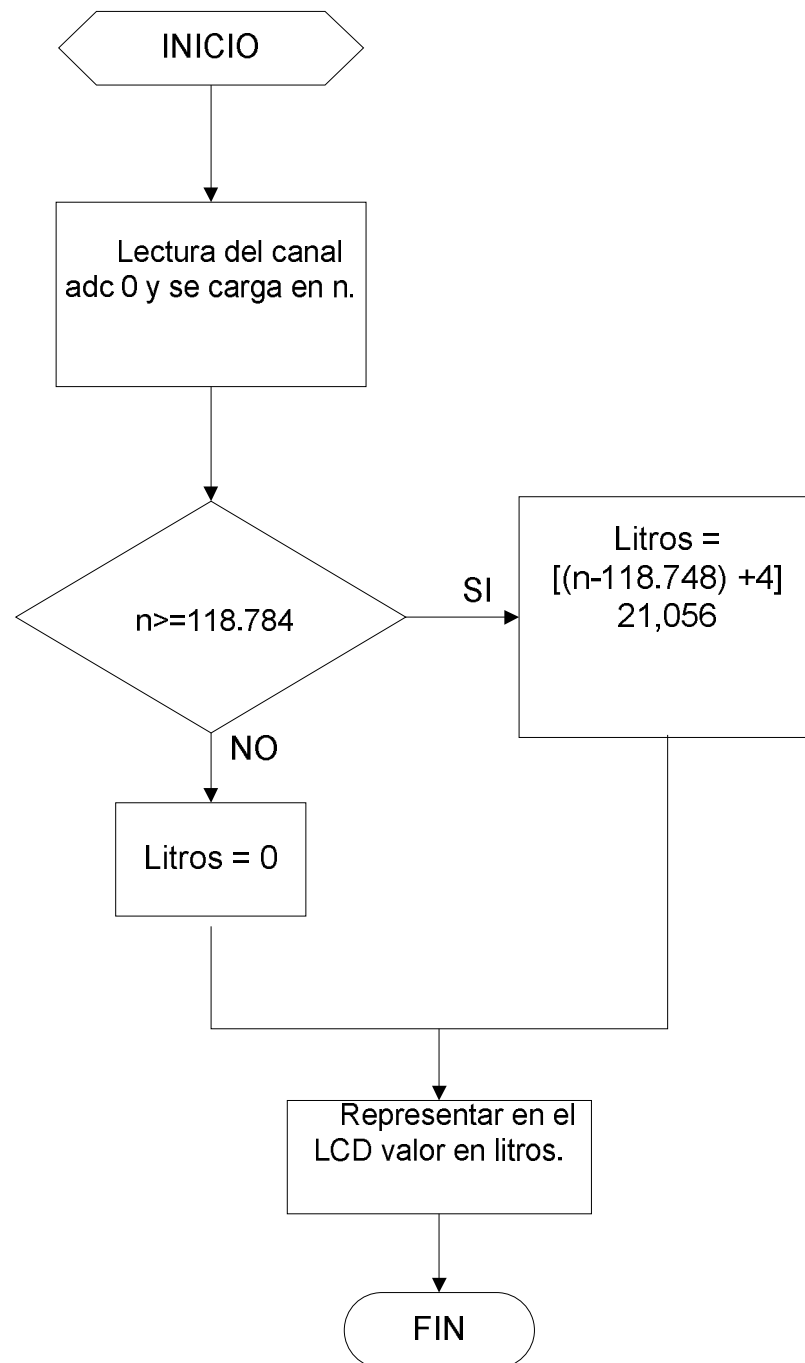
Diagramas de flujo para la programación del microcontrolador

VOID MAIN.

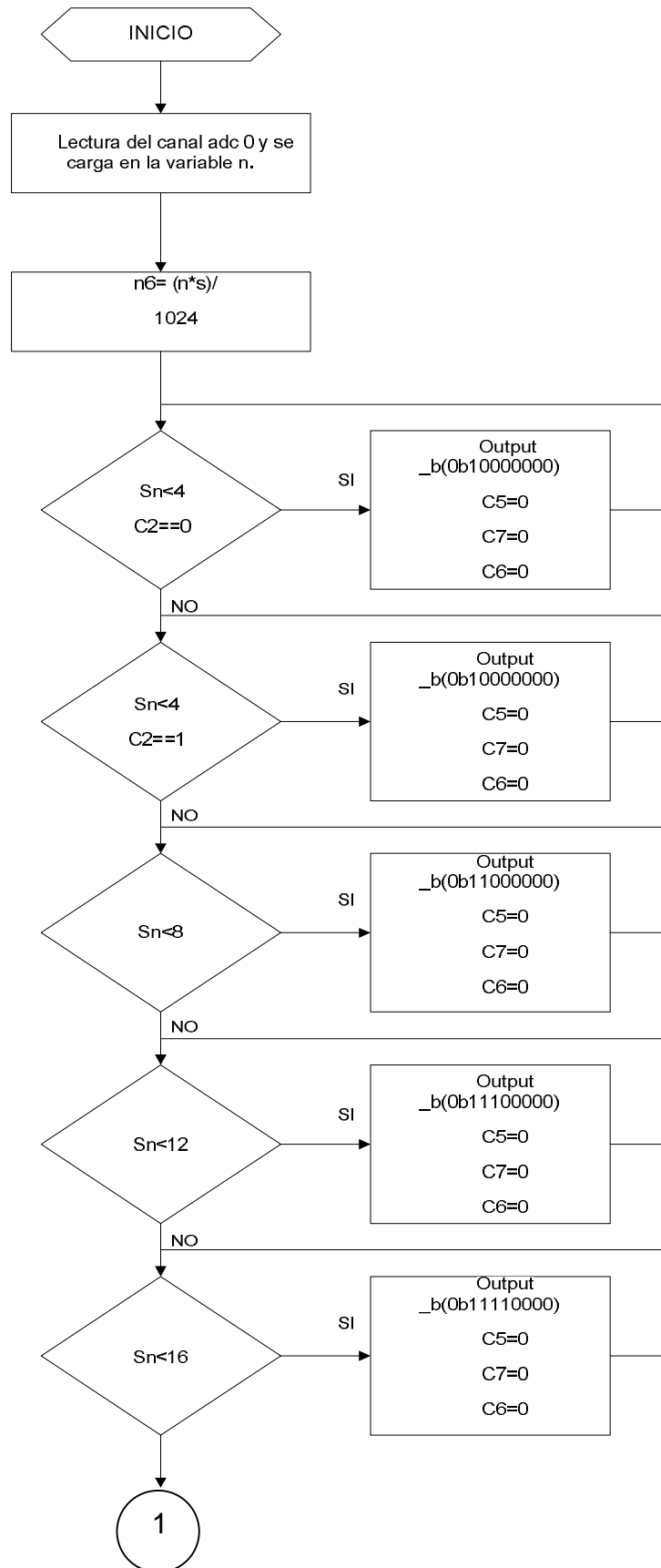


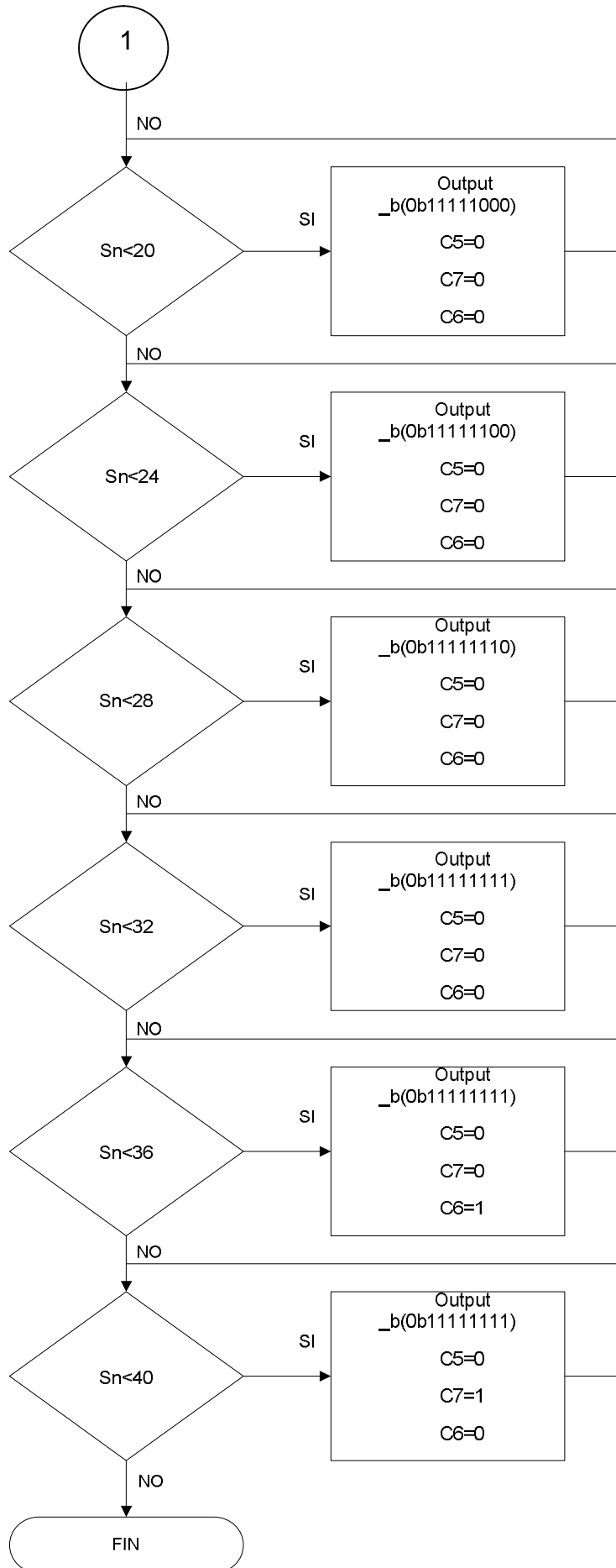
VOID GALONES

VOID LITROS



VOID LEDS





Cálculos y determinación de valores para litro y galones

1. Obtención de valores

1v = 104,8 unidades de pic.

5v = 1024 unidades de pic.

0,1028v = 1 lit = 21,06 unidades de pic.

40 lts = 876,544 unidades de pic.

2. Transformación de unidades de pic a litros

$$sn = \frac{(n * 5.327)}{1024} =$$

$$n5 = \frac{(sn - 0,676)}{0,103} =$$

3. Transformación litros a galones

$$\frac{\text{litro}}{3,785} \text{ si un litro es } > o = 4.$$

Programación del microcontrolador

Para un mejor entendimiento de la programación, esta será encontrada en los anexos ya que se encuentra completa y con los detalles de las operaciones realizadas. La grabación de la programación en el PIC se realiza por medio de un software llamado PIC Kit, que permite quemar la información desde el computador al Microcontrolador utilizando un quemador de PIC.



Figura 49. Quemador de PIC.

3.3.2.6 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento arrojaron resultados satisfactorios en cada una de las lecturas y funciones con un mínimo porcentaje de error de 0.75% que se encuentra en un rango tolerable, en tres pruebas realizadas.

Lectura en litros:



Figura 50. Prueba de funcionamiento en la función litros.

Lectura en galones:



Figura 51. Prueba de funcionamiento en galones.

Test de luces:**Figura 52.** Prueba de funcionamiento en la función Test Leds.**Tabla 13.**

Pruebas de funcionamiento de la maqueta.

ELEMENTO	PRUEBA
Estanqueidad del tanque de almacenamiento	Ok
Estanqueidad del tanque principal.	Ok
Unidad de transmisión de combustible.	Ok
Function Master Clear Reset (MCLR).	Ok
Function Test Lights.	Ok
Medición en litros.	Ok
Medición en galones.	Ok
Drenaje tanque de almacenamiento.	Ok
Drenaje tanque principal.	Ok
Bomba de agua.	Ok

3.4 Integración del transmisor de combustible al indicador

El flotador de combustible se encuentra conectado a un mecanismo de varillas, que a su vez se encuentra conectado a una resistencia variable en el transmisor de combustible. El movimiento ascendente y descendente que ejerce la boya al subir y bajar la cantidad de combustible permite el

movimiento de la escobilla sobre una pista que es una resistencia respectivamente.

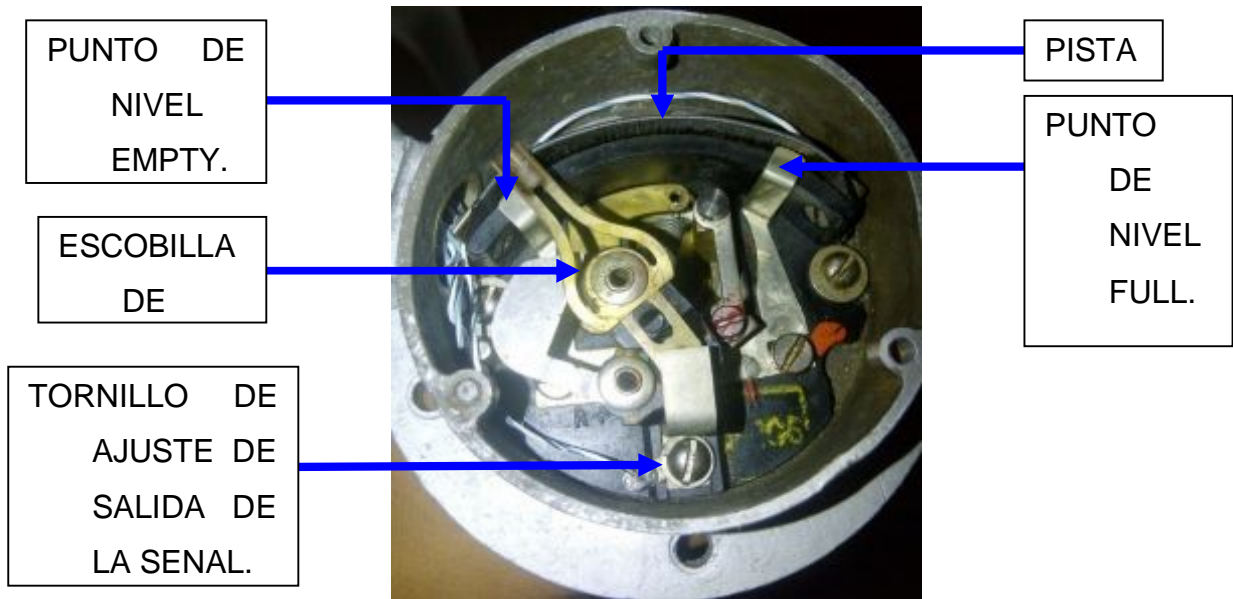


Figura 53. Ubicación de partes de los componentes internos del transmisor de cantidad de combustible.

El movimiento de la escobilla sobre la pista que es la resistencia, aumenta o disminuye el voltaje de salida desde el transmisor. Pasa la señal al microcontrolador donde realiza la conversión analógica digital, el microcontrolador mide la indicación enviada por el transmisor, este la procesa y la transforma en unidades de litros y galones.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

➤ Se realizó la construcción del indicador de combustible sin poder ser acoplado al simulador debido a que este no pertenece a la UGT (Unidad de Gestión de Tecnologías) sino a la ETFA (Escuela Técnica de la Fuerza Aérea).

➤ Se recopiló información sobre la unidad de transmisión de combustible del avión T – 33 encontrada en el manual de mantenimiento de la aeronave, cabe recalcar que la parte extraída del avión sirvió para realización del presente proyecto y que era muy importante saber el funcionamiento de este dispositivo.

➤ Se diseñó, programó y fabricó un circuito electrónico que permita dar una indicación de combustible digital sobre la cantidad de combustible que existe en el tanque de combustible. Este circuito tiene varias características como dar indicación digital e indicación visual por Leds, muestra la cantidad en litros y galones, da una alerta auditiva y visual cuando se encuentra en nivel bajo de cantidad de combustible.

➤ Se armó una estructura que permite dar una indicación de forma básica sobre el sistema de combustible, esta cuenta con elementos básicos que se encuentran en un sistema de combustible no muy complejo.

➤ Se elaboró un manual de operaciones para dar un correcto uso a la maqueta y evitar la mala manipulación previniendo daños en la misma.

4.2. RECOMENDACIONES

➤ Se recomienda al personal docente de la UGT tomar en cuenta la presente proyecto de grado como una idea para construir en un futuro un simulador del sistema de combustible de la aeronave ya que es muy importante para la formación del estudiante el poder contar con ayudas didácticas para su formación.

➤ Se recomienda al personal que al momento de utilizar partes o dispositivos extraídos de alguna aeronave, primero informarse bien y asegurarse de que tenga el conocimiento sobre el manejo de partes aeronáuticas que fácilmente se pueden encontrar en los manuales de mantenimiento de la aeronave.

➤ En caso de que el indicador de combustible se encuentre almacenado tener precaución de dejar en un lugar que sea apropiado y se pueda mantener en perfectas condiciones.

➤ Dar mantenimiento periódico al indicador de combustible, limpiar la parte interna de la unidad de transmisión de cantidad de combustible con limpiador de contactos para mantener limpia la pista de resistencia.

➤ Se recomienda al momento de elaborar el diseño y programación tener cuidado al momento de grabar el microcontrolador debido a que son elementos electrónicos que pueden quemarse por la mala manipulación.

➤ Utilizar el manual para darle un uso correcto a la maqueta y una operación normal.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

- **Avión T – 33:** aeronave de entrenamiento militar fabricado por la empresa Lockheed Martin.

B

- **Bomba de combustible:** es un dispositivo que le entrega al fluido de trabajo o combustible la energía necesaria para desplazarse a través del carburador para luego entrar en la válvula de admisión donde posteriormente pasa al cilindro.

C

- **Circuito:** red eléctrica cerrada que contiene componentes eléctricos o electrónicos.
- **Combustible:** sustancia líquida, sólida o gaseosa que al estar en contacto con oxígeno es capaz de desprender calor.
- **Crossfeed:** sistema de alimentación cruzada permite la transferencia de combustible de tanque a tanque y la alimentación de combustible desde un solo motor al avión.

I

- **Isoctano:** Hidrocarburo de la serie iso-parafínica con cadena ramificada (su denominación química es 2, 2,4-trimetilpentano) que posee un elevado poder antidetonante.

R

- **Redundancia:** repetición de componentes o funciones de un sistema o dispositivo.
- **Resistencia:** Se le denomina resistencia eléctrica a la igualdad de oposición que tienen los electrones al desplazarse a través de un conductor.

S

- **Simulador:** dispositivo o aparato que simula un fenómeno el funcionamiento de otro aparato.

- **Sistema:** conjunto de dispositivos o aparatos que cumplen una función específica.

V

- **Válvula:** Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en una máquina, aparato o instrumento, gracias a un mecanismo, a diferencias de presión, etc.

- **Válvula check:** dispositivo que cierra por completo el paso de un fluido en circulación -bien sea gaseoso o líquido- en un sentido y dejar paso libre en el contrario.

- **Voltaje:** potencial eléctrico, expresado en voltios.

ABREVIATURAS

PIC: Peripherall interface controller (controlador de interfaz periférico).

LCD: Liquid cristal display (pantalla de cristal líquido).

V: Unidad de medición de voltaje.

Vdd: Voltaje de entrada.

Vss: Voltaje de salida.

GND: Conexión a tierra.

APU: Auxiliary potence unit (unidad de potencia auxiliar)

DC: Corriente directa.

AC: Corriente alterna.

Ω : Unidad de medida de resistencia eléctrica (ohmnios).

A: Unidad de medida de corriente (amperios).

MCLR: Master clear reset.

ECAM: Electronic centralized aircraft monitor.

LED: Light emitting diodo (diodo emisor de luz)

AVGAS: Aviation gasoline (gasolina para aviación).

JP – 1: Jet propultion (propulsión a chorro) combustible para motores jet.

LTS: Litros.

GLS: Galones.

LBS: Libras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS.

Breijo, E. G. (2008). *Compilador CSSC y Simulador Proteus para microcontroladores PIC*. Mexico: Maracrombo.

Esteban, E. V. (2012). *Lenguaje C*. España.

Oñate, E. (2007). *Conocimientos Basicos del Avion* . Madrid: Paranainfo.

Pallet, E. (1984). *Instrumentos del Avion*. Madrid: Paranainfo.

United States Department of Transportation, F. (2012). *aviation Technician Airframe Handbook*. Estados Unidos: F.A.A.

MANUALES

Ltd., S. J. (2014). *LCD JHD162g Data Sheet*.

Martin, L. (1973). *Manual de Mantenimiento Avion T- 33*. EE.UU: Publicado bajo autorizacion de la Fuerza Aerea.

Microchip. (2003). *PIC 16F877a Data Sheet*. USA: Microchip.

NETGRAFÍA

Avialogs. (s.f.). Recuperado el 02 de Febrero de 2015, de <http://www.avialogs.com/viewer/avialogs-documentviewer.php?id=3626>

Itron. (s.f.). Recuperado el 02 de Julio de 2014, de <http://www.itron.com.cn/PDF.../JHD162A%20SERIES.pdf>

Microchip. (s.f.). Recuperado el 02 de Juio de 2014, de <http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>

UTP. (s.f.). Recuperado el 05 de Diciembre de 2014, de <http://www.utp.edu.co/~eduque/arquitect/PIC16F877.pdf>

ANEXOS