

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

"ELABORACIÓN DE UNA MAQUETA DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A LOS MOTORES Y TANQUES PRINCIPALES DEL EMBRAER 170 PARA OPTIMIZAR EL APRENDIZAJE TEÓRICO DE LOS ALUMNOS DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA"

POR:

AGUILERA JÁCOME TALIA PAOLA

**Trabajo de Graduación como requisito previo para la obtención del Título
de:**

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA
MENCION AVIONES**

2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por la **Srta. AGUILERA JÁCOME TALIA PAOLA**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA**.

Sgop. Tec. Avc. José López
Director del trabajo de investigación

Latacunga, Agosto 12 del 2013

DEDICATORIA

Dedico este logro personal y académico:

A mi madre Margoth por ser siempre el mayor apoyo en mis logros académicos y personales y por compartir conmigo la gran alegría de ser mi primera maestra.

A mi padre Jhonny por su apoyo y motivación permanente en cada proyecto de mi vida.

A mis hermanas por ser mis compañeras en mis alegrías, ideas, intuiciones, inspiraciones y en todo el proceso de mi tecnología.

A mi familia y amigos con los que comparto todo lo que aprendo y de quienes sigo aprendiendo.

Y a todos aquellos quienes podrán ser beneficiarios del conocimiento que he adquirido.

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi gratitud a mi padre que trabajó incesantemente conmigo en la elaboración de este proyecto, a mi madre por su tiempo, paciencia y voluntad, a mis hermanas por sus esfuerzos incluso posponiendo sus propias responsabilidades para estar conmigo. A el Subs. Tec. Avc. José López por su asesoría técnica y entereza al corregir cada paso errado o incompleto de mi trabajo, a aquellos docentes que durante mi permanencia en el instituto colaboraron con mejorar mi aprendizaje y a mis compañeros por crear ese ambiente de apoyo y amistad que motiva a dar un paso hacia adelante.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
RESUMEN	XIII
SUMARY.....	XIV

CAPÍTULO I

EL TEMA

1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Alcance.....	3

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción.....	5
2.2 Combustible	6
2.2.1 Combustible de motores recíprocos.....	7
2.2.2 Combustible de motores a reacción	7
2.3 Sistema de combustible	8
2.3.1 Propósito del sistema	9
2.3.2 Independencia del sistema de combustible.....	10
2.3.3 Operación del sistema de combustible en clima cálido	11

2.3.4 Componentes	11
2.3.4.1 Sistema de combustible del avión	12
2.3.4.2 Sistema de combustible del motor	12
2.4 Propósito y funcionamiento de los componentes del sistema de combustible del avión y del motor	13
2.4.1 Tanque de combustible	13
2.4.1.1 Salidas del tanque de combustible	15
2.4.2 Tuberías de combustible	16
2.4.2.1 Identificación de las tuberías	17
2.4.3 Válvulas.....	17
2.4.3.1 Válvulas selectoras.....	18
2.4.3.2 Válvulas de corte (shut off).....	18
2.4.3.3 Válvulas flapper.....	19
2.4.4 Bomba de combustible.....	20
2.4.4.1 Bomba eléctrica (booster pump)	20
2.4.4.2 Bomba mecánica.....	21
2.4.4.3 Bomba scavenge.....	21
2.5 Alimentación de combustible.....	22
2.5.1 Tipos de alimentación de combustible.....	23
2.5.1.1 Alimentación de combustible por gravedad.....	24
2.5.1.2 Alimentación de combustible por presión	24
2.6 Flujo de combustible	24
2.6.1 Flujo entre tanques interconectados	25
2.6.2 Suministro inusual de combustible	26
2.6.3 Control de las válvulas de combustible	26
2.7 Sistema de combustible Embraer 170 - 190.....	27
2.7.1. Generalidades	27
2.7.1.1 Almacenamiento general.....	27
2.7.1.1.1 Componentes de los tanques.....	28
2.7.1.2 Distribución de combustible.....	30
2.7.1.2.1 Bomba principal de combustible.....	31
2.7.1.2.2 Bomba scavenge.....	31
2.7.1.2.3 Bomba auxiliar AC.....	33
2.7.1.2.4 Bomba centrífuga DC de poder eléctrico.....	33

2.7.1.2.5 Válvula check	34
2.7.1.3 Indicación	34
2.7.1.3.1 Panel de control	34
2.8 Efecto venturi	35
2.8.1 Caudal Q	37
2.8.2 Ecuación de continuidad	38
2.8.3 Teorema de Bernoulli	38

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares	39
3.2 Diseño de la maqueta	39
3.3. Principios básicos de construcción.....	41
3.4 Cálculos.....	42
3.4.1 Cálculo de áreas, velocidades y presiones	42
3.4.2 Cálculo de la resistencia de la mesa	45
3.5 Construcción	49
3.5.1 Tanques de combustible	50
3.5.2 Soporte.....	51
3.5.3 Sistema de transferencia de combustible.....	52
3.6 Codificación de partes de la maqueta	56
3.7 Diagramas de proceso	56
3.7.1 Pasos para la elaboración del diagrama de operación.....	57
3.7.2 Diagrama del proceso de construcción del prototipo de los tanques de combustible	58
3.7.3 Diagrama del proceso de construcción de los tanques de combustible	60
3.7.4 Diagrama del proceso de construcción de la mesa de soporte	62
3.7.5 Diagrama del proceso de creación de la bomba scavenge.....	64
3.7.6 Diagrama del proceso de construcción del sistema de transferencia de combustible	66
3.8 Descripción del funcionamiento de la maqueta	67
3.9 Elaboración de manuales	68
3.9.1 Tipos de manuales	68

3.10 Estudio económico	77
3.10.1 Presupuesto	77
3.10.2 Análisis de costos.....	77
3.10.2.1 Costos primarios.....	78
3.10.2.1.1 Costos de materiales	78
3.10.2.1.2 Costos por mano de obra	79
3.10.2.2 Costos secundarios	79
3.10.2.3 Costo total del trabajo de graduación	80

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.....	81
4.2. Recomendaciones.....	83

SIGLAS	84
--------------	----

GLOSARIO.....	86
---------------	----

BIBLIOGRAFÍA	88
--------------------	----

ANEXOS	90
--------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1: Esquema del sistema de combustible	8
Figura 2.2: Estructura de los tanques de combustible integrales	15
Figura 2.3: Filtro de combustible	16
Figura 2.4: Tuberías de combustible	17
Figura 2.5: Válvula selectora de dos entradas y dos salidas.....	18
Figura 2.6: Válvula de cierre check	19
Figura 2.7: Válvula flapper	19
Figura 2.8: Bomba auxiliar AC.....	21
Figura 2.9 Bomba scavenge.....	22
Figura 2.10: Subsistema de indicación de combustible.....	23
Figura 2.11: Almacenamiento de combustible.....	28
Figura 2.12: Partes del sistema de combustible Embraer 170	29
Figura 2.13: Ventilación de los tanques de combustible	30
Figura 2.14: Estructura de la bomba scavenge	32
Figura 2.15: Panel de control	35
Figura 2.16: Explicación gráfica del efecto venturi	36
Figura 2.17: Efecto de succión en el tubo venturi.....	37

CAPÍTULO III

Figura 3.1: Diseño de la mesa de soporte.....	40
Figura 3.2: Diseño de los tanques de combustible.....	40
Figura 3.3: Diseño de ensamblaje de las cañerías dentro de los tanques	41
Figura 3.4: Diseño completo de la maqueta.....	41
Figura 3.5: Identificación de cañerías para la resolución de ejercicios.....	42
Figura 3.6: Área a analizar de la pata o columna de la mesa.....	45
Figura 3.7: Deformación de las patas de la mesa en caso de exceso de carga....	46
Figura 3.8: Sección de la tabla a analizar	47
Figura 3.9: Carga puntual máxima que soporta el tablero.....	48
Figura 3.10: Tanques de combustible	51
Figura 3.11: Mesa de soporte.....	52

Figura 3.12: Elaboración de la bomba scavenge	52
Figura 3.13: Salida de la bomba.....	53
Figura 3.14: Perforación de los tanques.....	54
Figura 3.15: Armado del sistema dentro de los tanques	55

ÍNDICE DE TABLAS
CAPÍTULO III

Tabla 3.1: Propiedades de la sección de la pata.....	45
Tabla 3.2: Propiedades de la sección de la tabla.....	47
Tabla 3.3: Límite de esfuerzo para el tablón.	48
Tabla 3.4: Codificación de partes.....	56
Tabla 3.5: Simbología de los diagramas de proceso.....	57
Tabla 3.6: Proceso del prototipo de los tanques de combustible.	59
Tabla 3.7: Proceso de construcción de los tanques de combustible.....	61
Tabla 3.8: Proceso de construcción de la mesa de soporte.....	63
Tabla 3.9: Proceso de construcción de la bomba scavage.....	65
Tabla 3.10: Proceso de construcción del sistema de transferencia.....	67
Tabla 3.11: Codificación de los manuales.....	68
Tabla 3.12: Costos de materiales.....	78
Tabla 3.13: Costos por mano de obra.....	79
Tabla 3.14: Costos secundarios.....	79
Tabla 3.15: Costo total del proyecto.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Planos de la maqueta	91
ANEXO B: Hoja de especificaciones de la bomba.....	95
ANEXO C: Hoja de especificaciones de las cañerías	97
ANEXO D: Tratamiento del agua con una solución clorada líquida	98
ANEXO E: Propiedades mecánicas del laurel	99
ANEXO F: Propiedades mecánicas del MDF que es de 5 cm	100
HOJA DE VIDA	101
HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS	103
CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL	104

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo contribuir al aprendizaje teórico de los estudiantes como material didáctico utilizado en la carrera de mecánica aeronáutica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA).

Se ha elaborado una maqueta basada en el sistema de transferencia de combustible a los motores y tanques principales del avión Embraer 170 – 190 orientado en procesos establecidos para lograr los objetivos especificados en el capítulo uno.

A continuación, en el capítulo dos, se introduce al investigador en el tema con el fin de que una vez comprendido en teoría se proceda a la práctica.

En el capítulo tres se detalla la construcción del sistema que consiste en transferir el contenido del tanque del ala al tanque principal al mismo tiempo que se alimenta los motores, todo esto mediante la circulación de un fluido en un circuito cerrado.

El proceso tiene como principal fundamento el uso de la bomba SCAVENGE, la misma que está construida en base al principio de venturi, es decir, reducción de áreas e incremento de velocidades, creando así un efecto de succión.

Se ha incrementado también manuales de operación, seguridad, mantenimiento y una hoja del registro de mantenimiento en caso de necesitar rehabilitación.

Finalmente, en el capítulo cuatro, se ha añadido conclusiones que muestran el cumplimiento de los objetivos y recomendaciones que permitirán mantener la vida útil de la maqueta.

SUMMARY

The graduation job aims to contribute to the theoretical learning of students as a teaching material used in aeronautical mechanics career.

A model of fuel transfer to engines and main tanks system of the Embraer 170 – 190 aircraft based on established processes was developed to achieve the specified objectives in chapter one.

To continue, on chapter two, it introduce the researcher in the topic, so that, once covered by appropriate theory, to advance to practice.

On chapter three, it details the construction of a system that consists in circulation of fluid in a closed circuit to transfer the contents of the wing tank to the main tank, and at the same time to feed the motors.

The principal element of the system is the SCAVENGE pump. This pump has been constructed based on the venturi principle; it means area reduction and pressures and speeds increases, thereby creating a suction effect.

It also contains, operation, safety, maintenance and maintenance data sheet for the model if it needs any kind of rehabilitation.

Finally, chapter four includes conclusions that show the attainment of the objectives and recommendations to help to sustain the life of the model.

CAPÍTULO I

TEMA

ELABORACIÓN DE UNA MAQUETA DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A LOS MOTORES Y TANQUE PRINCIPAL DEL EMBRAER 170 - 190 PARA POTENCIAR EL APRENDIZAJE TEÓRICO DE LOS ALUMNOS DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA DEL ITSA

1.1 Antecedentes

Un sistema de alimentación de combustible es una instalación que adecúa la provisión de carburante a las necesidades del sistema de inyección.

Es de vital importancia para el buen funcionamiento del motor, ya que bombea el combustible cargado en el depósito hasta la bomba de inyección en los motores, regula la presión de alimentación y retiene las impurezas sólidas que puede arrastrar.

Con el fin de optimizar recursos y funcionamiento durante la operación de las aeronaves, se han ido reduciendo la cantidad de componentes dentro de los sistemas e incrementando métodos que permitan mejorar el trabajo de los mismos.

Para el país, tanto las mejoras en el sistema de combustible del motor como en el del avión son grandemente beneficiosas ya que para las compañías nacionales este es subsidiado por el estado.

En el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, en la malla de la carrera de Mecánica Aeronáutica se ha implementado la asignatura de Sistema de

Combustible. Dentro de la misma se da a conocer procesos que son esenciales para el correcto funcionamiento tanto para el sistema de combustible del motor, como del avión.

En la Institución se han elaborado proyectos que permiten conocer la función y partes de los sistemas que forman un avión; por lo que previa la construcción de la maqueta del sistema de alimentación de combustible del avión Embraer 170 - 190, se realizó un estudio de factibilidad partiendo de la observación de los laboratorios y prosiguiendo con el análisis de proyectos anteriores referentes a elaboración de material interactivo con el fin de mejorar el aprendizaje de los sistemas de la aeronave o componentes del mismo.

Gracias a la investigación de campo realizada en el anteproyecto se ha determinado las necesidades de los docentes y estudiantes, con esto se ha llegado a la conclusión de que para ambos grupos sería beneficioso utilizar maquetas de los diversos sistemas que simule la operación y funcionamiento de los mismos.

La información disponible para la enseñanza de estos temas se encuentra únicamente en manuales interactivos, lo que no permite adquirir un aprendizaje muy efectivo, como se logrará al elaborar el prototipo a escala con condiciones y componentes reales.

1.2 Justificación e Importancia

El conocimiento técnico previo al ingreso en el campo profesional es esencial para un buen desenvolvimiento laboral; y con mayor prioridad en la aeronáutica ya que se necesita una acreditación para dar inicio al mismo.

En el ITSA con la utilización de una maqueta que represente el funcionamiento de transferencia de combustible hacia motores y tanques principales de la aeronave, se adiestrará a los estudiantes de una manera teórica sobre el funcionamiento del sistema de combustible, experiencia que necesitarán para realizar trabajos de calidad.

Lo que se busca con este trabajo es mejorar la comprensión de los estudiantes de una manera práctica con el fin de mejorar su conocimiento en la materia.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Construir un prototipo de alimentación de combustible a los motores y tanques principales del avión Embraer 170 - 190 mediante el uso de información técnica, de manuales y leyes físicas aplicables para mejorar el aprendizaje académico en los alumnos de la carrera de mecánica aeronáutica en el ITSA.

1.3.2 Específicos

- Recopilar suficiente información referente a sistemas de combustible.
- Procesar la información para dar secuencia y comprensión al tema.
- Construir un prototipo de transferencia de combustible.
- Elaborar manuales referentes al prototipo para facilitar la manipulación del usuario.
- Realizar pruebas de funcionamiento del equipo.

1.4 Alcance

La elaboración del trabajo permitirá comprobar que el tema escogido será de gran utilidad, ya que ayudará que tanto estudiantes como docentes puedan entablar un aprendizaje interactivo, obteniendo así un conocimiento más claro acerca de uno de los procesos que se lleva a cabo en el sistema de combustible.

Con la maqueta se demostrará el funcionamiento de las bombas scavenge cuyo trabajo se basa en el efecto venturi.

Se utilizará una bomba eléctrica de agua para reemplazar a la bomba mecánica operada por el motor y por ende de agua en lugar de combustible.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

El sistema de combustible del avión consiste en alimentar a los motores en cualquier fase de vuelo con la cantidad específica requerida según la maniobra, potencia, altura y demás condiciones que hacen necesaria su variación.

En el avión Embraer 170 - 190 se encontrará que tanto los motores como el APU son alimentados desde el tanque principal que se encuentra en la parte baja del fuselaje. Las alas se convierten únicamente en tanques de almacenamiento, pero para poder hacer uso de este combustible se requiere transportarlo al tanque principal.

Para este fin se ha diseñado un sistema de transferencia basado en la bomba SCAVENGE, la misma que opera bajo el principio de venturi, es decir que al reducir el área de circulación del combustible se disminuirá la presión e incrementará la velocidad creando un efecto de succión en un canal adyacente.

En este trabajo se logrará que el lector para empezar tenga una clara comprensión del sistema de combustible de una aeronave, es decir; propósito, partes y funcionamiento. Para después centrarse en el sistema de transferencia de combustible del avión Embraer 170 - 190, en la bomba scavenge y en el efecto venturi.

Este conocimiento se profundizará gracias al uso de la maqueta y al finalizar su análisis se tendrá una idea completamente clara del sistema y su funcionamiento.

2.2 Combustible

Toda sustancia natural o artificial que combinada con el oxígeno puede producir combustión. El combustible puede ser sólido, líquido o gaseoso.

El combustible de aviación se refiere a los distintos tipos carburantes que se usan para operar motores de un jet (turbina de gas, turbo reactores o turbo ventilador).

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. Por tanto, todo avión propulsado por un motor requiere un sistema capaz de almacenar el combustible y transferirlo hasta los dispositivos que lo mezclan con el aire, lo inyectan en los cilindros o en los quemadores.

El sistema está compuesto por depósitos, conductos, carburador o sistema de inyección, instrumentos de medida, y otros dispositivos tales como, mando de mezcla, bomba de combustible, etc.

Entre todas las especificaciones del combustible, tales como densidad, poder calorífico, punto de congelación, etc., la que más interesa al piloto es el octanaje. El octanaje define el poder antidetonante de un carburante en relación a una mezcla de hidrocarburos tomada como unidad base, y se expresa con un número denominado número de octano.

Para facilitar su identificación, los carburantes están teñidos de colores, correspondiendo el rojo al 80/87 octano, azul al 100/130 y púrpura al 115/145.

Una característica que aporta seguridad es que si se mezcla combustible de distintos octanajes los colores se anulan entre sí, es decir el combustible se vuelve transparente.

Los aviones propulsados por turbina (turbo reactor, turbopropulsor o turbohélice) utilizan queroseno, de propiedades similares a la gasolina, obtenido también en el

proceso de refinado del petróleo. Con independencia de su graduación, es incoloro o amarillo pálido. Este combustible, específico para motores de turbina, no puede emplearse de ninguna manera en motores de pistón.

Para aumentar el poder antidetonante del combustible, se le solía añadir tetra etilo de plomo, pero esta práctica se abandonó en la década de los 80 debido a la toxicidad que producía en los residuos de la combustión. Otros aditivos incluyen a veces detergentes, productos anti hielo, y antioxidantes.¹

2.2.1 Combustible de motores recíprocos

El Avgas 100LL (aviationgasoline) es una gasolina de alto octanaje diseñada específicamente para uso en motores de aviación alternativos.

Sus especificaciones son muy estrictas debido a que tiene que soportar el amplio rango de temperaturas y presiones de funcionamiento que se dan en las aeronaves.

El número 100 indica que tiene 100 partes de isooctano y 0 de heptano, obteniendo así un poder antidetonante de 100; y LL indica que contiene aditivos, en este caso es bajo en plomo.²

2.2.2 Combustible de motores a reacción

El combustible para aviones a turbina (ATF) está diseñado para aquellos cuyo impulso proviene de turbinas de gas. Su color oscila de incoloro a color paja. Los combustibles más utilizados para la aviación comercial son Jet A y el Jet A-1 que se producen de acuerdo a una especificación internacional normalizada.

El combustible Jet es una mezcla de un gran número de hidrocarburos. La gama de sus tamaños (pesos moleculares o números de carbono) está limitado por los requisitos para el producto, por ejemplo, el punto de congelación o punto de humo. El combustible jet tipo queroseno (incluyendo Jet A y Jet A-1) tiene una

¹<http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF36.html>

²<http://www.fing.edu.uy/liq/Avgas>

distribución de número de carbonos entre aproximadamente 8 y 16 (átomos de carbono por molécula); y el combustible tipo nafta (incluyendo Jet B), entre aproximadamente 5 y 15.³

2.3 Sistema de combustible

Es un conjunto de elementos cuyo objetivo principal es proporcionar un suministro adecuado y continuo de combustible a los motores y APU. Consta de un sistema de combustible principal y uno auxiliar o de emergencia.

Posee los siguientes subsistemas:

- Almacenamiento de combustible
- Distribución de combustible
- Indicación de combustible

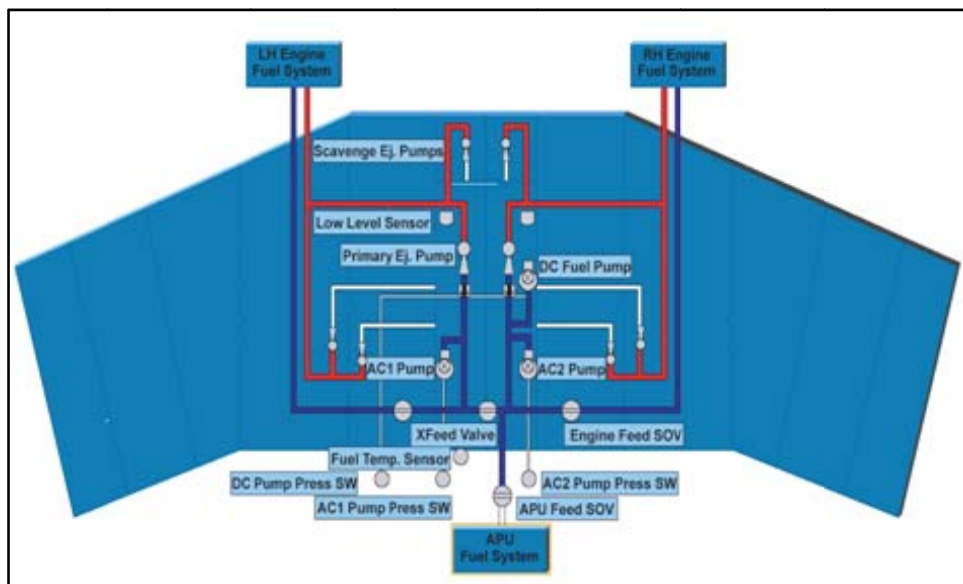


Figura 2.1: Esquema del sistema de combustible

Fuente: <http://aviacioncenter.blogspot.com>

³http://www.fing.edu.uy/liq/Jet_fuel

2.3.1 Propósito del sistema

El propósito del sistema es almacenar el combustible y entregar a los quemadores o FCU (fuel control unit) la cantidad exacta, con la presión correcta y libre de impurezas, satisfaciendo así las necesidades de los motores. El sistema debe estar libre de la posible formación de vapor que podría resultar de los cambios climáticos.

Un sistema que recibe un buen mantenimiento entrega un flujo efectivo de combustible en las diferentes fases de vuelo, incluyendo cambios de velocidad, aceleraciones, desaceleraciones y maniobras violentas.

Los indicadores de combustibles, tales como el instrumento de presión, de flujo e indicadores de cantidad, dan señales continuas del funcionamiento del sistema. Para que este sistema trabaje con el máximo de seguridad y una mayor eficiencia, el sistema debe cumplir los siguientes requisitos:

- Los sistemas por gravedad, los tanques de combustibles son colocados sobre el carburador a una distancia suficiente para dar presión de combustible y flujo, que debe ser alrededor del 150% del flujo de combustible requerido por el motor en el despegue.
- Los sistemas que utilizan bombas para mantener la presión, deben ser diseñados para entregar un flujo de combustible de 0.9 lbs/hora por cada HP entregado por el motor en el despegue, o el 125% del flujo de combustible necesario para el despegue con el motor a un máximo de potencia.
- La bomba reforzadora (BOOSTER PUMP), que comúnmente está ubicada en punto más bajo del tanque, debe estar disponible en la partida del motor, el despegue, el aterrizaje y para utilizarla a grandes alturas. Esta bomba debe tener la capacidad de sustituir o reemplazar a la bomba de combustible accionada por el motor en el momento en que esta fallase.

- El sistema está provisto con válvulas, de tal manera que el combustible pueda ser cortado, evitando el flujo hacia cualquier motor.
- Este sistema en los aviones multimotores es construido de tal manera, que cada motor se alimente de su propio tanque; Sin embargo, otros medios pueden agregarse para la transferencia de combustible de un estanque a otro, o para que funcionen 2 motores con un solo tanque de emergencia, mediante un sistema de alimentación cruzada.
- Las líneas de combustible tienen un tamaño adecuado para llevar un máximo de flujo de combustible requerido bajo todas las condiciones de operaciones del motor, y no deberán tener dobladuras muy ceñidos o subidas rápidas, las cuales tendrán a producir acumulación de vapores y el sub-siguiente bloqueo de vapores en las líneas.
- Los tanques de combustibles deberán estar provistos con drenajes y colectores para permitir la remoción de agua y suciedad, que, generalmente se acumula en la parte más baja del tanque. Los tanques deben tener una ventilación adecuada, puesto que previene la entrega de combustible a una baja presión, la que puede restringir el flujo del combustible y causar la detención del motor.
- Los tanques deben estar provistos con deflectores internos para evitar un cambio muy brusco en la posición del combustible, lo que provocaría una variación en el balance del avión, esto es aplicable a los tanques principales del ala donde el cambio rápido del peso del combustible puede causar la pérdida del control del avión. Los deflectores también ayudan a prevenir al salpicado o chapoteo del combustible, lo cual puede contribuir al bloqueo de vapores.

2.3.2 Independencia del sistema de combustible

Independientemente de la cantidad de motores que tenga una aeronave, posee una configuración de un solo sistema de combustible del avión.

Pero gracias al sistema de combustible de cada uno de los motores; ante la falla de cualquier componente (excepto los tanques de combustible) no se obtendrá como resultado la pérdida de potencia de más de uno de los motores.

Si un avión multimotor posee un solo tanque de combustible (o series de tanques interconectados para funcionar como uno solo) se requiere, salidas independientes de los tanques para cada motor, cada uno con una válvula shut-off incorporada. Las válvulas shut-off pueden servir como válvulas - pared de fuego que también son requeridas. Sin embargo, si la línea entre la válvula y el compartimento del motor contiene más de un cuarto de combustible que puede escapar dentro del compartimento del motor, una válvula shut-off como pared de fuego es necesitada en adición, las líneas y cualquier otro componente de cada salida del tanque a cada motor debe ser completamente independiente de los demás.

El tanque de combustible debe tener por lo menos dos ventilaciones ubicadas para minimizar la probabilidad de que las dos ventilaciones se obstruyan simultáneamente. Las capas de llenado deben ser diseñadas para minimizar la probabilidad de instalación incorrecta o pérdida en vuelo.

2.3.3 Operación del sistema de combustible en clima cálido

Cada sistema debe estar libre del bloqueo de vapor cuando se usa combustible a su temperatura crítica, con respecto a la formación de vapor, cuando se opera la aeronave en fases y condiciones climáticas críticas para las cuales se requiere aprobación. Para el combustible de la turbina, la temperatura crítica debe ser de 110°F. -0°, +5°F o la temperatura máxima del aire para la que se requiere aprobación, la más crítica de ellas. ⁴

2.3.4 Componentes

Los componentes de este sistema se pueden dividir en 2 secciones principales:

⁴<http://aviacioncenter.blogspot.com>

- Sistema de Combustible del Avión.
- Sistema de Combustible del Motor.

2.3.4.1 Sistema de combustible del avión

Este sistema contiene los siguientes componentes:

- Tanques de Combustible.
- Bomba reforzadora (BOOSTER PUMP).
- Cañerías y mangueras de combustibles.
- Válvula selectora.
- Filtro principal de combustible.
- Indicador de flujo, presión y cantidad de combustible.
- Válvulas de drenaje.
- Válvulas shutt-off.⁵

2.3.4.2 Sistema de combustible del motor

Comienza desde el lugar donde el combustible es entregado a la bomba accionada por el motor, e incluye:

- Bomba de combustible accionada por el motor.

⁵Aviation maintenance technician handbook – airframe vol 1

- Cañerías y mangueras de combustibles.
- Unidad de control de combustible o carburador.
- Válvula difusora de flujo.
- Inyectores.

Este sistema puede variar para los distintos tipos de aviones, y también puede que alguno de estos componentes no aparezca.⁶

2.4 Propósito y funcionamiento de los componentes del sistema de combustible del avión y del motor

El propósito del sistema es almacenar combustible, dirigirlo a los motores y quemarlo para crear la fuerza propulsora del avión. Dentro de este ciclo, cada uno de los componentes cumple un rol importante, el mismo que se explicará a continuación.

2.4.1 Tanque de combustible

Los tanques de combustible se clasifican en: rígidos, flexibles, integrales y exteriores, cada uno con sus ventajas y desventajas.

La colocación, tamaño, forma y tipos de construcción de los tanques de combustible varían con el tipo y misión del avión. Como cada tanque debe caber en el compartimiento en el cual estará colocado, hay una estrecha relación entre el tamaño y la forma del depósito y el lugar donde estará ubicado. La construcción del tanque también depende mucho del tipo de avión. Por lo general los aviones de combate pueden estar provistos de depósitos auto-obturación, mientras que los depósitos de los aviones de transporte y los de carga, usualmente son de construcción de metal.

⁶ <http://html.sistemas-combustibles.com>

La mayoría de los aviones están diseñados para utilizar el espacio interior de las alas como depósitos. Aunque algunos usan cámaras de goma, lo habitual es utilizar lo que se llaman "alas húmedas", en que la propia estructura del ala hace de depósito, utilizándose selladores especiales para impedir el escape del combustible.

Los depósitos tienen una abertura para llenado, con su tapa de cierre, válvulas para proceder a su drenado, y tomas de aire ambiente. El objetivo de estas tomas es permitir que el aire sustituya al combustible gastado, manteniendo así una presión ambiente en la parte vacía del depósito. Si el depósito fuera totalmente hermético, al ir gastando combustible se generaría una depresión en la parte vacía, depresión que impediría el flujo hacia el motor.

Es posible que por condensación se formen gotas de agua en los depósitos, las cuales se depositan en la parte más baja debido a su mayor peso. Lo mismo sucede con las impurezas. Pues bien, las válvulas de drenado, situadas en esta parte más baja, sirven para drenar el agua y las impurezas. En algunos aviones, también hay una válvula de drenado en la parte del motor.

La cantidad de combustible contenida en cada depósito se muestra al piloto mediante los correspondientes indicadores en el cuadro de mandos, la mayoría de las veces en galones USA pues la mayor parte de los aviones son de construcción estadounidense (1 galón USA equivale aproximadamente a 3,8 litros).⁷

⁷Aviation maintenance technician handbook – airframe vol 1

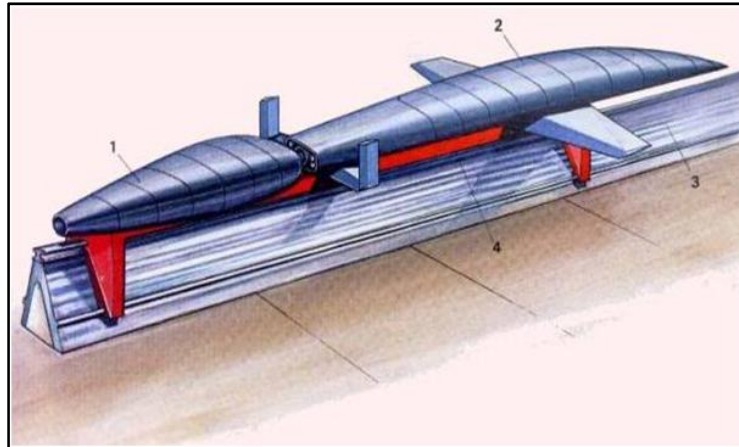


Figura 2.2: Estructura de los tanques de combustible integrales

Fuente: <http://es.scribd.com>

2.4.1.1 Salidas del tanque de combustible

Debe haber un filtro en la salida del tanque de combustible o para la bomba booster. En los aviones de motores recíprocos el filtro debe tener de 8 a 16 mallas por pulgada. El área clara del filtro de salida de cada tanque de combustible debe ser cinco veces el área de la línea de salida y el diámetro debe ser del tamaño de la salida. Debe ser también accesible para inspección y limpieza. Los filtros de aeronaves de motores a turbina deben prevenir el paso de cualquier objeto que pueda restringir el paso de combustible o dañar algún componente del sistema.

Los tanques de combustible deben ser capaces de soportar las fuerzas que se encuentran a lo largo de todo el espectro de operación. Existen varios estándares de prueba de tanques. El enfoque principal es asegurarse que los tanques son lo suficientemente fuertes como para mantenerse durante toda la operación y no deformarse al exponerse a varias cargas. La resistencia a la vibración sin causar fugas es también un gran punto a considerar. Los tanques son probados ante las condiciones más críticas a las que se podría exponer. La estructura de soporte de un tanque de combustible debe ser diseñada para las cargas críticas que podrían ocurrir durante el vuelo o aterrizaje con cargas de presión de combustible.⁸

⁸<http://aviacioncenter.blogspot.com>



Figura 2.3: Filtro de combustible

Fuente: <http://blog.espol.edu.ec>

2.4.2 Tuberías de combustible

Cada cañería metálica o manguera de combustible se identifica por una franja de clave de color rojo, la cual está puesta alrededor de cada extremo. Las tuberías son de metal o de manguera flexible; las primeras de aleación recosida de aluminio, mientras que las otras se fabrican de caucho sintético y de tejido. El grosor de las cañerías o mangueras depende del régimen de consumo del motor.

El tipo de manguera flexible, tanto el de obturación automática como el corriente, es resistente al combustible aromático, cuando se colocan donde estarán sometidas a un calor intenso, hay que utilizar mangueras especialmente resistentes al calor. Las mangueras comúnmente tienen 2 o más capas de tejidos entre el revestimiento interior y la capa exterior, y pueden utilizarse cuando no se requieran mangueras de obturación a prueba de llamas.



Figura 2.4 Tuberías de combustible

Fuente: <http://html.sistemas-combustibles.com>

2.4.2.1 Identificación de las tuberías

Las especificaciones marcadas a lo largo de la manguera la identifican, por ejemplo: la franja roja identifica que es del tipo obturación automática y resistente a los combustibles aromáticos. Otros tipos se identifican mediante franjas interrumpidas, franjas continuas, puntos o una combinación de cualquiera de estas marcas.

Las marcas pueden ser rojas o blancas, dependiendo del tipo de manguera que representen. Por lo general, el nombre y el fabricante, el trimestre y el año de fabricación aparecen a frecuentes intervalos a lo largo de la cañería.⁹

2.4.3 Válvulas

Es el nombre que se da a un dispositivo que posee características móviles las cuales permiten abrir y cerrar una vía de circulación con el fin de permitir, prevenir ó controlar el flujo de fluidos.

⁹Aviation maintenance technician handbook – airframe vol 1

2.4.3.1 Válvulas selectoras

Las válvulas selectoras se instalan en el sistema de combustible para seleccionar al tanque y el motor, para la alimentación cruzada y para la transferencia de combustible. El tamaño y número de lumbreras (aberturas) varían de acuerdo al tipo de instalación. Por ejemplo: en un avión monomotor con 2 tanques y uno de reserva (auxiliar) se necesita una válvula selectora de 4 lumbreras, tres entradas para la tubería de los tanques y una salida común. La válvula tiene que funcionar fácilmente, debe hacer un ruido metálico clic o debe dar una sacudida perceptible cuando esté en la posición correcta y no debe tener escapes.

Las válvulas selectoras pueden accionar manualmente o por electricidad. Los 3 tipos principales de válvulas selectoras son: de vástago, de cono y de disco.



Figura 2.5 Válvula selectora de dos entradas y dos salidas

Fuente: <http://html.sistemas-combustibles.com>

2.4.3.2 Válvulas de corte (shutt off)

Las válvulas de sierra tienen 2 posiciones: abierta y cerrada (open y closed.) Se instala en el sistema para impedir la pérdida de combustible cuando hay que sacar una unidad del sistema, o cuando parte del sistema se daña.¹⁰

¹⁰Aviation maintenance technician handbook – airframe vol 1



Figura 2.6 Válvula de cierre (check)

Fuente: <http://html.sistemas-combustibles.com>

2.4.3.3 Válvulas Flapper

Las válvulas flapper o deflectores son un tipo de válvulas check. Estas permiten al combustible fluir hacia adentro de la bomba durante las maniobras pero no le permite salir.

Este tipo de válvulas se usa también en algunos casos para interconectar tanques que se encuentran en secuencia, permitiendo así el paso del combustible por gravedad e impidiendo el regreso del mismo con el movimiento del avión.



Figura 2.7 Válvula flapper

Fuente: <http://html.sistemas-combustibles.com>

2.4.4 Bomba de combustible

Las bombas de combustible son parte de la mayoría de los sistemas de combustible de las aeronaves. Existen estándares para las bombas principales y de emergencia. La operación de cualquier bomba de combustible puede no afectar el funcionamiento del motor mediante la creación de un peligro, independientemente del ajuste de la potencia del motor o de empuje o el estado funcional de cualquier otra bomba de combustible. El suministro de potencia para la bomba principal debe ser independiente del suministro de potencia para cualquier otra bomba para cualquier otro motor.

Las bombas de emergencia son usadas y deben ser activadas inmediatamente para suministrar combustible a los motores si alguna de las bombas principales falla. La potencia suministrada a las bombas auxiliares debe ser completamente diferente a aquella utilizada para las bombas principales. Si ambas, la bomba principal y la auxiliar trabajan continuamente, debe existir un medio para indicar el malfuncionamiento de cada bomba al miembro de la tripulación indicado.¹¹

Las bombas de combustibles que utiliza un sistema se pueden clasificar también como eléctrica (bomba reforzadora) y mecánica (bomba impulsada por el motor.)

2.4.4.1 Bomba eléctrica (booster pump)

La bomba reforzada por el motor de tipo centrífugo impulsada por un motor eléctrico suministra combustible bajo presión de uno o varios tanques al lado de la bomba impulsada por el motor.

Este tipo de bomba es parte esencial del sistema de combustible, y se necesita a grandes alturas para mantener la presión a un nivel suficiente en el lado de admisión de la bomba impulsada por el motor, para que nunca sea tan baja y el combustible no forme espuma.

¹¹Aviation maintenance technician handbook – airframe vol 1

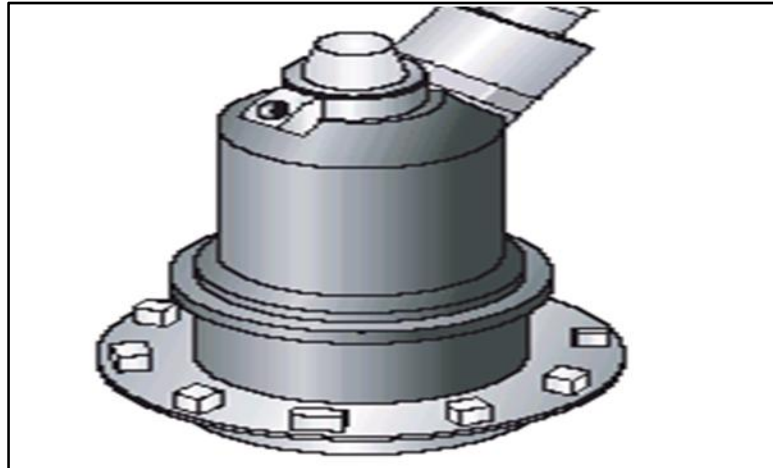


Figura 2.8 Bomba Auxiliar AC

Fuente: CBT Embraer 170 – 190

2.4.4.2 Bomba mecánica

Estas bombas deben abastecer de combustible a la unidad de control de combustible o carburador a la presión especificada para cada modelo en particular.¹²

2.4.4.3 Bomba Scavenge

Los tanques de combustible con bombas internas como bombas centrífugas, son construidos para mantener el suministro de combustible a las entradas de las bombas todo el tiempo. Esto asegura que la bomba no cavitará y que es enfriada por el combustible.

Algunas aeronaves usan bombas scavenge para asegurarse de que el combustible líquido esté siempre a la entrada de las bombas. Una línea de diámetro relativamente pequeña circula el flujo de salida de la bomba de regreso a la sección del tanque donde la bomba está ubicada. El combustible es dirigido a través de un venturi que es parte de la scavenge.

¹²<http://aviacioncenter.blogspot.com>

Mientras el combustible se precipita a través de la venturi, la presión baja. Una entrada, o línea que origina la salida del área de bombeo del tanque permite que el combustible se dirija dentro del ensamblaje scavenge donde es bombeado hacia el interior de la sección de bombeo del tanque. Juntos con las válvulas check deflectoras, las bombas scavenge mantienen una presión positiva de combustible a la entrada de la bomba.¹³

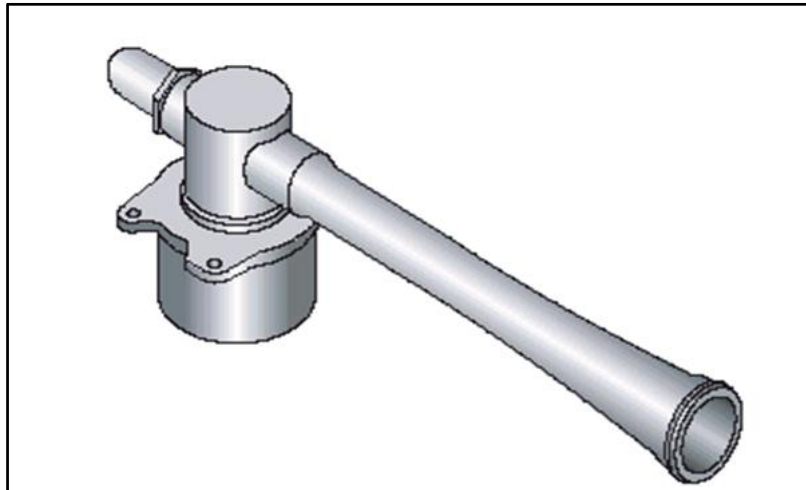


Figura 2.9 Bomba scavenge

Fuente: CBT Embraer 170 – 190

2.5 Alimentación de combustible

En ocasiones, los sistemas de combustible se clasifican según la forma de acarrearlo desde los depósitos hasta el motor. Bajo esta perspectiva, se clasifican en sistemas de alimentación por gravedad y sistemas de alimentación por presión (bomba de combustible). El sistema por gravedad se suele emplear en aviones de ala alta, fluyendo el combustible desde estas hasta un conducto único en el motor gracias a su propio peso. Obviamente, este sistema no puede ser utilizado en aviones de ala baja, por lo que, estos utilizan bombas mecánicas y/o eléctricas que bombean el combustible a presión, desde los depósitos al motor.

En este último caso, la mayoría de los aviones disponen de dos sistemas a este efecto: un sistema principal cuya bomba es movida mecánicamente por el

¹³Aviation maintenance technician handbook – airframe vol 1

giro del motor, y un sistema auxiliar que cuenta con una bomba activada eléctricamente, la cual se utiliza para proveer presión adicional al sistema, especialmente en el arranque del motor, en despegue y aterrizaje, en el cambio de depósito mediante el selector, o en cualquier emergencia o anomalía en el sistema. Algunos aviones de a la alta también cuentan con este sistema auxiliar.

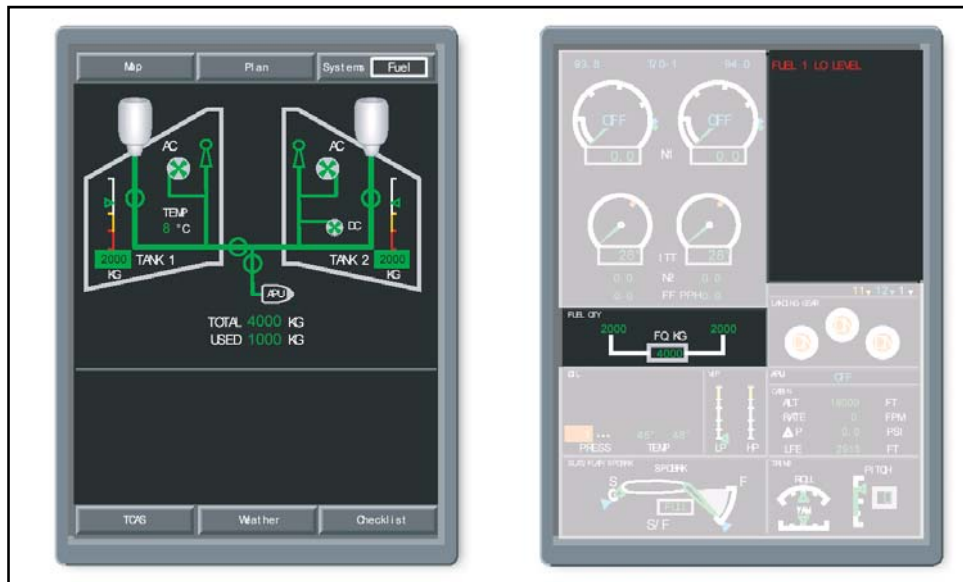


Figura 2.10 Subsistema de indicación de combustible

Fuente: CBT Embraer 170 - 190

En el cuadro de mandos de la cabina, se encuentra el interruptor que acciona esta bomba auxiliar, así como un indicador que muestra al piloto la presión en el sistema de combustible.

2.5.1 Tipos de alimentación de combustible

Existen 2 tipos de sistemas de alimentación de combustible, los cuales se distinguen por el modo de enviar el combustible desde el tanque a la unidad de control de combustible. Estos son:

- Por gravedad
- Por presión

2.5.1.1 Alimentación de combustible por gravedad

Este sistema está en uso en un gran número de aviones de baja potencia, aun cuando tiene un diseño elemental, y las ventajas son la simplicidad y la regulación del funcionamiento, este sistema no se ocupa en las aeronaves de alta potencia, a causas de la disposición estructural y las exigencias más elevadas de presión.

La presión disponible en este sistema se puede calcular mediante la aproximación de 1 libra por pulgada cuadrada por cada 40 pulgadas de altura de combustible; así, se puede estimar que una vertical de 120 pulgadas de combustible es necesaria para producir una presión de descarga de 3 libras por pulgada cuadrada.

2.5.1.2 Alimentación de combustible por presión

En las aeronaves donde no es posible instalar el tanque de combustible a las distancias requerida sobre el carburador y/o unidad de control de combustible, y cuando la presión de combustible necesaria para un buen funcionamiento de estas unidades es relativamente alta (por que el sistema de combustible por gravedad no la puede proporcionar), el sistema, necesariamente, constará de bombas para mantener la presión al valor adecuado para el correcto funcionamiento del carburador y/o la unidad de control de combustible.¹⁴

2.6 Flujo de combustible

La habilidad del sistema al proveer combustible en un rango de presión suficiente para una correcta operación del motor es vital en la aeronave. Por otra parte, el sistema debe entregar combustible a la altitud más crítica que alcanza el avión.

Las pruebas son diseñadas para demostrar este rendimiento. Los medidores de flujo de combustible están instalados en la mayoría de aeronaves. Durante las pruebas, el medidor de combustible se bloquea y el combustible debe fluir a

¹⁴<http://aviacioncenter.blogspot.com>

través o evitar el medidor y continuar proveyendo al motor la cantidad y presión suficiente.

Para los sistemas de flujo de combustible por gravedad el rango de flujo de combustible debe ser el 150% de combustible consumido por el motor al despegar. Para los sistemas de bomba de combustible el rango de flujo de combustible para cada sistema de bombeo (Principal y suplemento de reserva) para cada motor recíproco debe ser el 125% del flujo de combustible requerido por el motor a máxima potencia de despegue. Sin embargo como la presión de combustible, con las bombas principales y de emergencia operando simultáneamente, no debe exceder los límites de presión de entrada de combustible del motor. Los sistemas de combustible auxiliares y los sistemas de transferencia de combustible deben operar bajo diferentes parámetros de medición. Los sistemas de la turbina del motor deben proveer por lo menos 100% requerido del motor bajo cada condición destinada a la operación y maniobra.

En aviones con múltiples tanques; una vez que el combustible de un tanque se ha terminado, se conecta el motor a otro y su rendimiento es monitoreado.

2.6.1 Flujo entre tanques interconectados

En los sistemas de alimentación por gravedad con salidas interconectadas de tanques no debe haber un flujo demasiado grande que cause un sobre flujo desde una de las descargas de los tanques bajo las condiciones establecidas. Si el combustible puede ser bombeado de un tanque a otro en vuelo, las descargas de combustible de los tanques y el sistema de transferencia de combustible debe ser diseñado de modo que el llenado excesivo de un tanque no cause daño estructural en ningún componente de la aeronave.¹⁵

¹⁵Aviation maintenance technician handbook – airframe vol 1

2.6.2 Suministro inusual de combustible

El suministro inusual de combustible para cada tanque debe ser establecido. Este no debe ser menor que aquella cantidad a la que obtuvimos la primera evidencia de mal funcionamiento bajo las condiciones más adversas de alimentación ocurrida en operaciones y maniobras que envuelvan a ese tanque.

2.6.3 Control de las válvulas de combustible

Existe un medio para permitir a los miembros de la tripulación cortar rápidamente la entrada de combustible a cada motor individualmente en vuelo. Ninguna válvula shut-off puede estar al costado del motor de una pared de fuego. Debe haber medios para resguardar en contra de operaciones inadvertidas de cada válvula shut-off y medios para reabrir cada válvula rápidamente después de que ha sido cerrada. El control de cada válvula y sistema de combustible debe tener un soporte de manera que las cargas resultantes de su operación, o de condiciones aceleradas de vuelo, no son transmitidas a las líneas conectadas a la válvula. La gravedad y vibración podría no afectar la posición elegida de cualquier válvula.

La palanca de la válvula de combustible y sus conexiones a los mecanismos de la válvula deben tener características diseñadas para minimizar la posibilidad de instalación incorrecta. Las válvulas check deben ser construidas para excluir ensamblajes incorrectos o conexión de la válvula. El selector de válvula de tanque de combustible de requerir una acción separada y distinta a posicionar el selector en la posición de OFF. El selector de posiciones del tanque debe estar localizado de un modo que sea imposible para el selector pasar por la posición de OFF cuando cambiamos de un tanque a otro.

Las válvulas check en los motores cumplen un papel extremadamente importante no solo en el sistema de combustible sino en todos los sistemas que se relacionan con el motor ya que en presencia de fuego bloquean todas las entradas y salidas de este.¹⁶

¹⁶Aviation maintenance technician handbook – airframe vol 1

2.7 Sistema de combustible Embraer 170 - 190

2.7.1 Generalidades

Antes de empezar cabe recalcar que el sistema de combustible del avión Embraer 170 y del Embraer 190 poseen la misma configuración y modo de funcionamiento. El sistema de combustible está diseñado para proveer combustible a los motores y al APU.

El sistema de combustible está constituido por tres subsistemas:

- a. El subsistema de almacenamiento el cual incluye tanques integrales de combustible en las alas del avión.
- b. El subsistema de distribución, permite operaciones como alimentación del motor, alimentación del APU así como también el abastecimiento y desabastecimiento de combustible de los tanques.
- c. Finalmente el subsistema de indicación de combustible, provee indicaciones e información de fallas a la tripulación y personal de mantenimiento.

2.7.1.1 Almacenamiento General

- La aeronave tiene dos tanques integrales estructurales en el centro del ala. Hay un área seca junto a los motores en el pylon diseñado para evitar una ruptura del tanque de combustible en caso de un viraje brusco o fuerzas que pudieran afectar la estructura del tanque.
- Los tanques poseen un espacio adicional de expansión del 2% de la capacidad del tanque lleno. Cada ala contiene un tanque de oleaje que recoge el combustible en maniobras bruscas que no son coordinadas y un colector central que aseguran la continua alimentación de combustible al motor durante todo el vuelo.

- La uniformidad de los tanques permite que el combustible fluya desde la punta del ala hasta la parte más baja y al colector central.

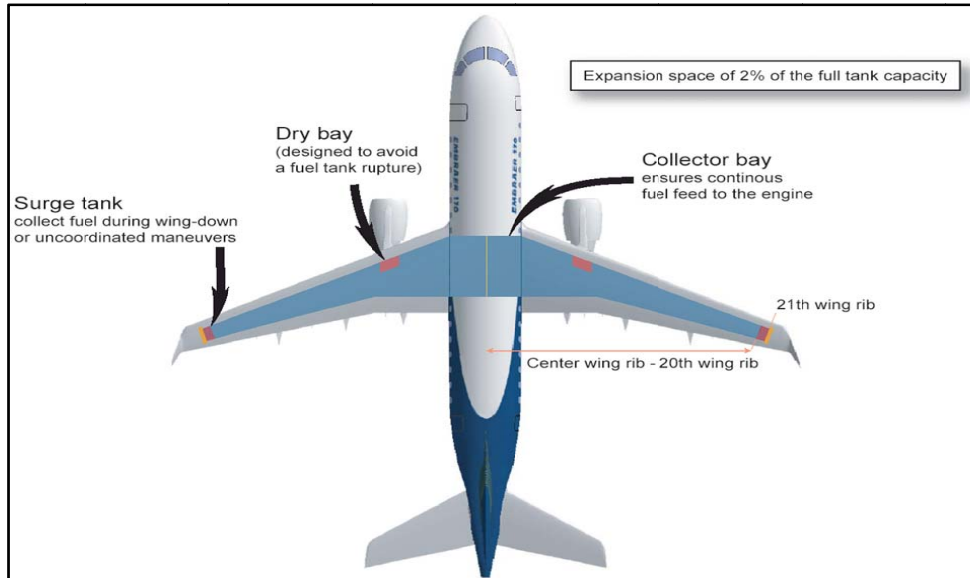


Figura 2.11 Almacenamiento de combustible

Fuente: CBT Embraer 170 – 190

2.7.1.1.1 Componentes de los tanques

Cada tanque contiene los siguientes elementos:

- Baffle y Flapper válvulas check, para retener el flujo de combustible dentro y hacia el colector central, pero no fuera de él.
- Tres bombas eyectoras que aseguran la disponibilidad de combustible en el colector central.
- Una bomba scavenge para alimentar al motor.
- Una bomba eléctrica AC para el arranque del motor y apoyo para la bomba eyectora.
- Una válvula check en la línea de alimentación de combustible.

- Dos válvulas de drenaje, una localizada junto a la bomba auxiliar de combustible AC y las otras cerca de la unión del ala con el avión.
- Una tapa de llenado por gravedad.
- Hay una bomba de combustible DC para el motor dentro del tanque en la parte derecha.
- Un sistema de ventilación es incorporado en cada tanque, así con las partes necesarias para un abastecimiento y desabastecimiento automático y manual.
- La capacidad total de los tanques es 9.499 kg, 20.940 lbs.

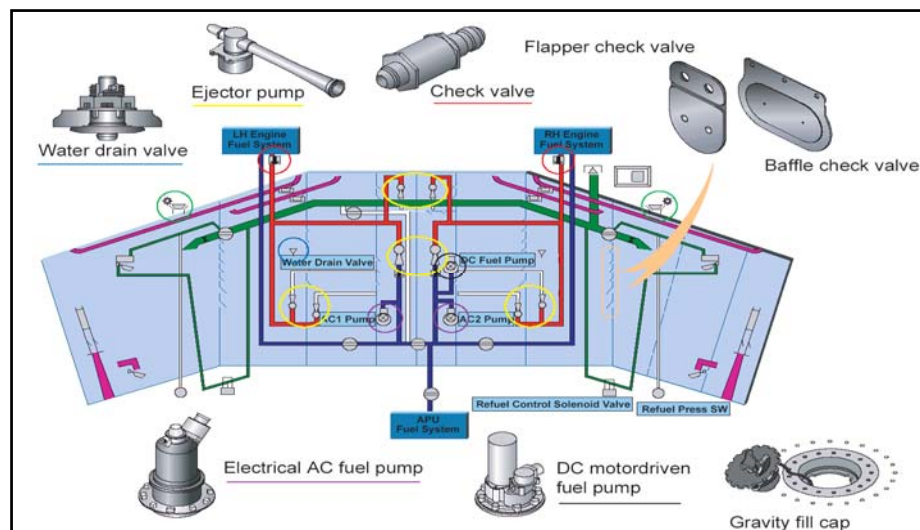


Figura 2.12 Partes del sistema de combustible Embraer 170

Fuente: CBT Embraer 170 – 190

El sistema de ventilación del tanque es diseñado para mantener una presión diferencial entre el tanque y el ambiente dentro de los límites estructurales (+5psig) bajo todas las condiciones de operación y prevenir una fuga de combustible.

El sistema de ventilación incorpora el tanque de sobrecarga del ala, el cual conecta al ambiente (Flamearrestor) y la válvula de alivio de sobrecarga.

Un NACA entrada de aire (Impacto).

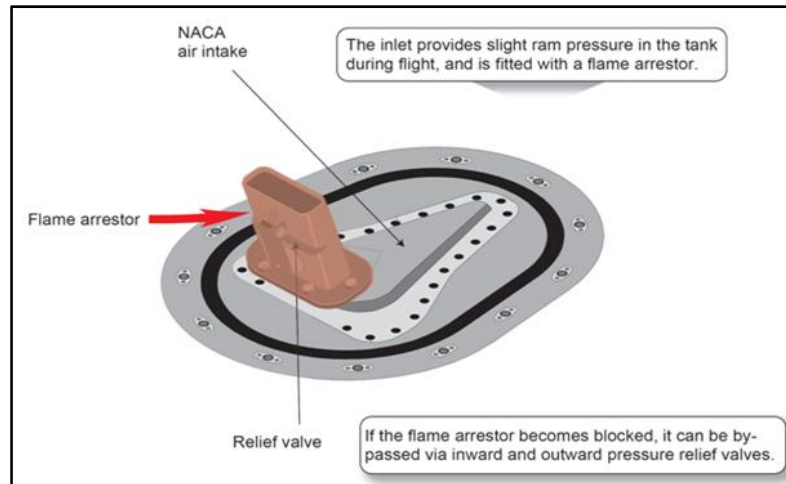


Figura 2.13: Ventilación de los tanques de combustible

Fuente: CBT Embraer 170 – 190

2.7.1.2 Distribución de combustible

El sistema de distribución de combustible tiene tres subsistemas:

- Sistema de alimentación del motor.
- Sistema de alimentación del APU.
- Sistema de abastecimiento y desabastecimiento.
- El sistema de alimentación para el motor asegura un continuo abastecimiento de combustible presurizado al motor durante la operación de la aeronave usando el scavenge y la bomba eléctrica. También posee una válvula de alimentación cruzada que permite abastecer a ambos motores desde cualquiera de uno de los tanques de ala.
- El sistema de alimentación para el APU asegura un continuo abastecimiento de combustible presurizado al APU usando la línea de alimentación derecha

del motor. El sistema de abastecimiento y desabastecimiento de combustible permite a este estar en movimiento dentro y fuera del tanque principal del ala usando un solo punto como estación de llenado o dos puntos sobre el ala como llenado por gravedad.

- El sistema de alimentación de combustible tiene una bomba scavenge principal de alimentación del motor y una bomba eléctrica de AC en cada ala.
- Cada una de las bombas pueden proveer combustible más que suficiente para alimentar un motor más el APU a la demanda máxima de combustible, así durante el despegue take -off (TO) y los virajes go -around (GA).
- Las bombas son instaladas en el tanque del ala principal del colector central.

2.7.1.2.1 Bomba principal del combustible

- La bomba primaria de combustible es una bomba eyectora o de lanzamiento, opera un flujo de combustible destinado para la bomba de combustible del motor. La bomba scavenge es una venturi sin partes móviles que saca combustible desde el colector central cuando alimenta con flujo de alta presión.
- El puerto de entrada está equipado con un filtro que evita la absorción de objetos extraños.
- Un interruptor de presión está instalado inmediatamente contra corriente del motor montado en la bomba de combustible de baja presión para monitorear la entrada de presión en la alimentación del motor.

2.7.1.2.2 Bomba scavenge

Existen tres bombas colectoras por cada tanque:

- El principio de esta bomba es la de un venturi con ninguna parte móvil que lleva el combustible desde el tanque cuando lleva el flujo de alimentación. La bomba eyectora recibe su flujo desde la bomba de combustible del motor. Hay una bomba en la parte delantera del colector central otra en la parte posterior y una en la parte posterior del tanque principal junto al colector central.
- La bomba scavenge delantera está instalada en la esquina interior del tanque de ala. Está bomba scavenge colecta el combustible desde el área interior del tanque de ala y lo transfiere dentro del colector central.
- La bomba scavenge posterior está localizada en el punto más bajo del tanque de ala en la parte inferior de la costilla número uno. Está bomba recolecta el combustible del tanque de ala transfiriéndolo al colector central.
- La bomba scavenge de popa esta instala en la parte de la popa del tanque de ala justo en la parte delantera de la costilla número uno. Esta bomba recolecta el combustible del tanque de ala y lo transfiere al colector central.
- Las bombas scavenge obtienen su flujo de combustible de la bomba de combustible del motor.

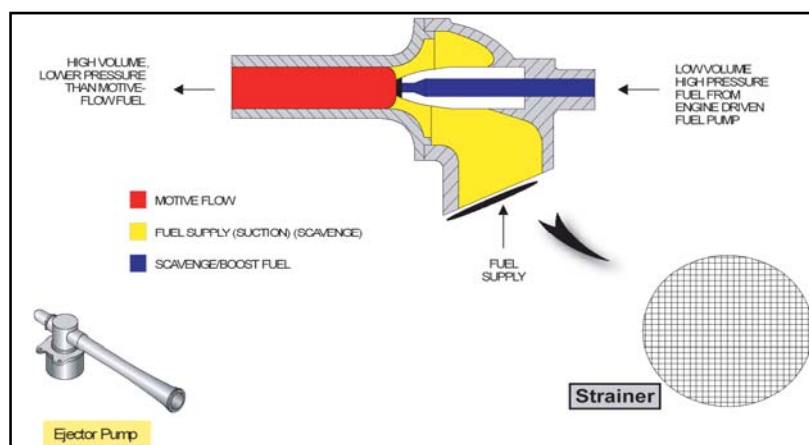


Figura 2.14: Estructura de la bomba scavenge

Fuente: CBT Embraer 170 - 190

2.7.1.2.3 Bomba Auxiliar AC

- En la alguna falla de la bomba principal de lanzamiento de alimentación del motor, la bomba auxiliar AC de impulso provee un refuerzo de flujo de combustible al motor.
- La bomba centrífuga de combustible usa un motor eléctrico 115 VAC 400 Hz, tres fases para suplir de poder.
- En caso de sobre calentamiento, un fusible térmico desconectará la bomba. La entrada de la bomba está equipada con ocho mamparas de malla de alambre que actúan como un filtro o colador para impedir el acceso de cualquier objeto extraño a la bomba.
- La bomba es diseñada tipo cartucho y bote que permite remover los elementos bombeados sin entrar o drenar los tanques.
- La Bus AC1 da poder la bomba auxiliar LH y la Bus ESS AC a la bomba RH.
- En caso de emergencia eléctrica la bomba auxiliar AC RH estará abastecida desde la entrada aleatoria de aire de turbina.

2.7.1.2.4 Bomba centrífuga DC de poder eléctrico

- La bomba centrífuga DC de poder eléctrica está localizada en el tanque colector RH que provee una fuente de abastecimiento de combustible presurizado para APU y el inicio de motor en vuelo, o en la tierra si la bomba scavenge de alimentación de combustible y el poder AC o la bomba auxiliar AC no están disponibles.
- La entrada está equipada con un filtro para evitar la ingestión de objetos extraños. La cubierta del motor incorpora un protector térmico reseteable para asegurar que las altas temperaturas no excedan.

- La bomba es un cartucho y un tipo en forma de bote que permite la eliminación del elemento de bomba aire sin entrar o drenar el tanque. El poder eléctrico será abastecido desde el ESS DC BUS.

2.7.1.2.5 Válvula Check

- La válvula check está localizada en la línea de baja presión de entrega al motor en la descarga de cada bomba.
- La válvula check también está instalada en la línea de alta presión que motiva el flujo para prevenir la pérdida excesiva de combustible si la línea entre el marco de aire y el motor es abierta debido a una falla o la actividad de mantenimiento.
- Cada válvula es una línea de entrada de oscilación simple a la válvula check. El esquivamiento al final de cada una es diferente para prevenir la instalación al sentido contrario.

2.7.1.3 Indicación

2.7.1.3.1 Panel de control

- Cuando los switches de la bomba auxiliar AC se encuentran en la posición AUTO, la cual es una posición normal, la detección de una falla en la bomba scavenge (Censada por el switch de baja presión a la entrada del motor) resultará en el arranque automático de la bomba auxiliar AC.
- Cuando el switch de arranque de la bomba DC está en la posición AUTO, la detección de una falla en la bomba auxiliar AC resultará en el arranque automático de la bomba DC.
- Posiciones normales de los switches:

- a) DC Pump – AUTO
- b) AC Pump 1 – AUTO
- c) AC Pump 2 – AUTO
- d) XFEED – OFF
- e) Engine Feed Shut off Valve - OPEN¹⁷

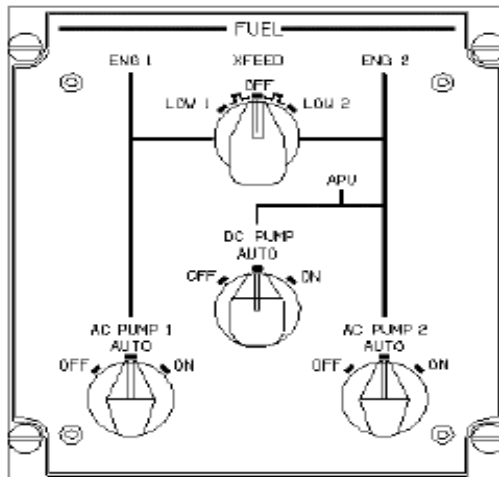


Figura 2.15 Panel de control

Fuente: www.manualvuelo.com

2.8 Efecto Venturi

El efecto Venturi se refiere a la disminución de la presión que ejerce un líquido al hacerlo fluir por una sección mas angosta en un conducto, (tubería).

¹⁷ Generalidades ATA 28 EMBRAER-190

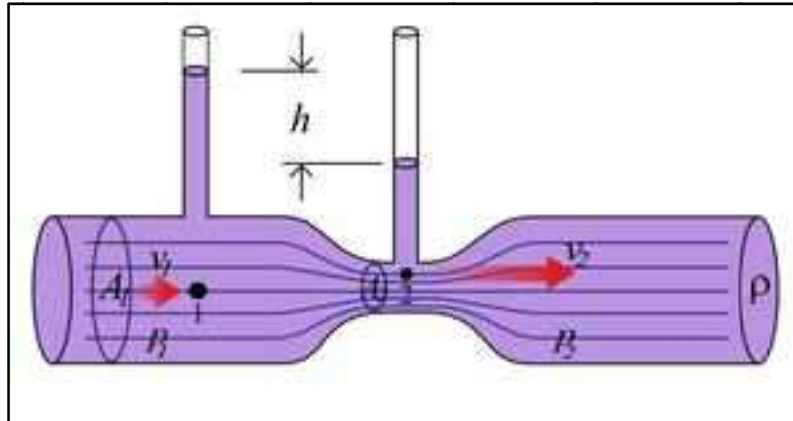


Figura 2.16 Explicación gráfica del efecto venturi

Fuente: www.fing.edu

h = diferencia entre las alturas de los tubos verticales, los cuales se unen en forma de U y se llenan parcialmente con agua. Dicha diferencia de alturas se mide en cm y equivale a la diferencia de presión de agua. Dicho dispositivo es similar a un manómetro. La presión en la zona “1” es mayor a la presión de la zona “2” debido a que la velocidad del agua en “1” es menor que en “2”.

De acuerdo con las leyes de la dinámica de los fluidos, la velocidad de un fluido aumenta si la sección transversal del conducto por donde está fluyendo disminuye. De esta manera, se cumple la ley de conservación de la masa. Pero la presión debe disminuir en dicho caso, para cumplir con la conservación de la energía.

Si el fluido es incompresible se cumple que $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$ (razón de flujo volumétrico). O en forma más sencilla $\rho \cdot A \cdot v = \text{constante}$. La velocidad debe aumentar al estrecharse el área de un tubo horizontal. Si no actúa ninguna otra fuerza sobre el fluido, la presión en 1 debe ser mayor que en 2, por lo que en la dirección en que aumenta la velocidad actúa una fuerza que proporciona dicha aceleración.¹⁸

Un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor. Si en

¹⁸<http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/efecto-venturi>

este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido contenido en este segundo conducto.¹⁹

Por lo tanto al hacer uso de esta ley podremos demostrar el funcionamiento de la bomba eyector en el sistema, succionando el combustible de los tanques de las alas y llevándolo al tanque principal desde donde se alimentará a los motores.

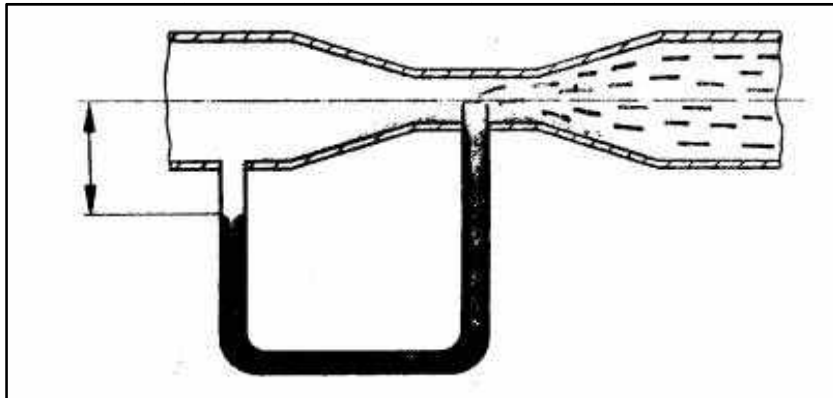


Figura 2.17 Efecto de succión en el tubo venturi

Fuente: www.fing.edu

2.8.1 Caudal Q

Cuando un fluido fluye por una tubería de sección recta A con una velocidad v , se define el caudal Q como el volumen de líquido transportado por unidad de tiempo, es decir,

$$(2.1)$$

En donde Q se expresa en las unidades coherentes cm^3/s y m^3/s .

Nota: Se llama *flujo* de un fluido a través de una sección, la masa que la atraviesa en la unidad de tiempo; también se llama caudal másico. Se define el *gasto* por el producto del caudal por el tiempo.

¹⁹http://www.ecured.cu/index.php/Efecto_Venturi

2.8.2 Ecuación de Continuidad

En el caso de un fluido incompresible que fluye por una tubería de sección recta variable, se verifica:

$$Q = A_1 v_1 + A_2 v_2 = \text{constante} \quad (2.2)$$

En donde v_1 y v_2 son las velocidades medias del fluido en las secciones rectas A_1 y A_2 respectivamente.

2.8.3 Teorema de Bernoulli

En un fluido perfecto (sin rozamientos internos), incompresible y en régimen estacionario, la suma de las energías, de presión, cinética (o de velocidad) y potencial (o de altura) en cualquier punto de la vena líquida es constante.²⁰

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_1 v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_2 v_2^2 \quad (2.3)$$

²⁰ Física General SCHAUM Daniel 1961 pág 103

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUETA

3.1 Preliminares

Los montajes funcionales a menor escala se han utilizado a lo largo de la historia para realizar demostraciones, diseñar futuras construcciones y en el ejército, donde se inició esta rama, se utilizaba para realizar estrategias de ataque.

La maqueta descrita en este proyecto se utilizará para dar una demostración práctica del funcionamiento del sistema de transferencia de combustible; principalmente de la bomba scavenge, de uno de los aviones más utilizados en aviación comercial.

3.2 Diseño de la maqueta

A continuación se muestra el diseño de cada parte constitutiva de la maqueta, los mismos que se utilizaron como referencia para el ensamblaje de los componentes.

De acuerdo a las medidas del prototipo de los tanques se estableció las medidas y diseñó la mesa de soporte.

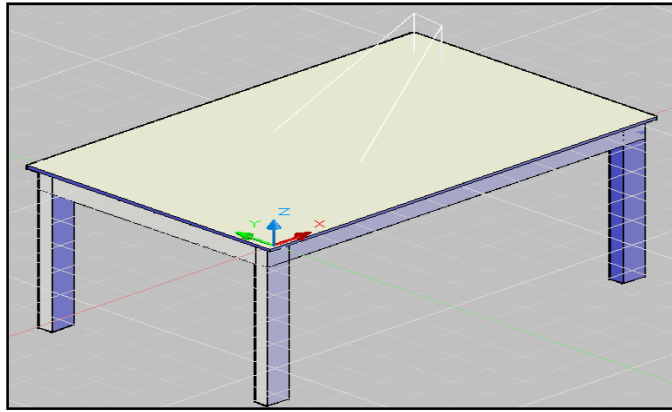


Figura 3.1: Diseño de la mesa de soporte

Fuente: Investigación de campo

Una vez construida la mesa de soporte se elaboraron los tanques con las medidas y diseño del prototipo.

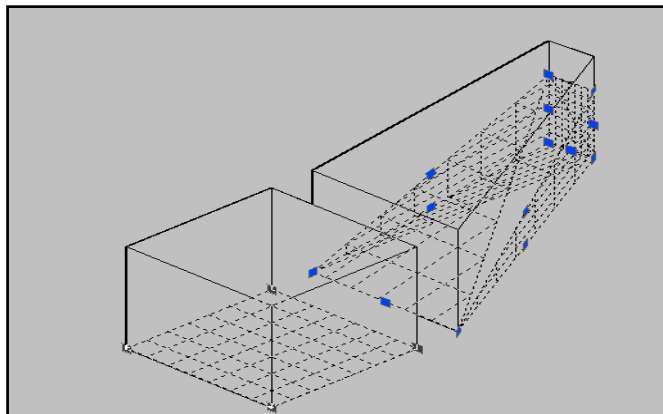


Figura 3.2: Diseño de los tanques de combustible

Fuente: Investigación de campo

Después de fijar los tanques a la mesa se procedió a ensamblar el sistema de transferencia de combustible.

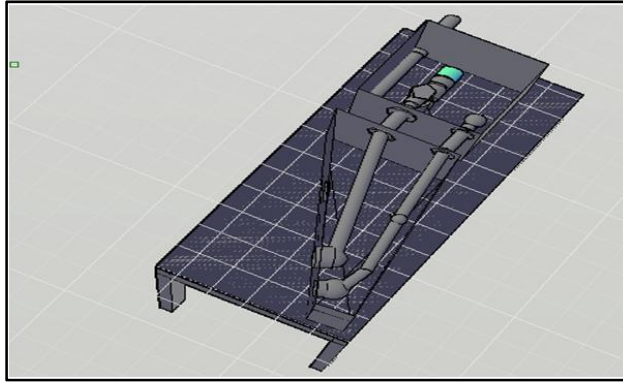


Figura 3.3: Diseño de ensamblaje de las cañerías dentro de los tanques

Fuente: Investigación de campo

A continuación se visualiza la maqueta armada en su totalidad en vista isométrica.

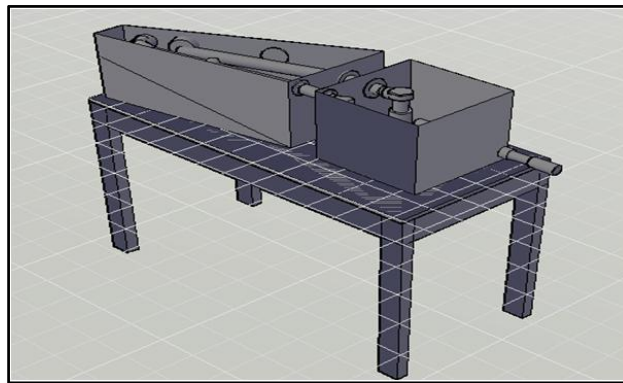


Figura 3.4: Diseño completo de la maqueta

Fuente: Investigación de campo

3.3 Principios básicos de construcción

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados, se construyó la maqueta realizando un estudio previo del precio total que conllevará el trabajo práctico y escrito en base a un análisis de costos.

Entre los puntos considerados para la elaboración estuvo: el diseño elemental de la maqueta, el material a utilizar y los componentes más idóneos para su construcción.

Para la parte práctica del trabajo se tomó en cuenta factores tales como:

- Dimensiones
- Materiales de la estructura
- Presión de la bomba
- Mangueras según la presión de la bomba
- Reducción de los acoples para crear el efecto venturi
- Aspecto final de la maqueta

El modelo será ligeramente grande ya que se necesita abarcar una cantidad de agua considerable por el caudal de la bomba y la salida de la misma. Si no se toma en cuenta este aspecto podemos causar daños en su funcionamiento.

3.4 Cálculos

3.4.1 Cálculo de áreas, velocidades y presiones

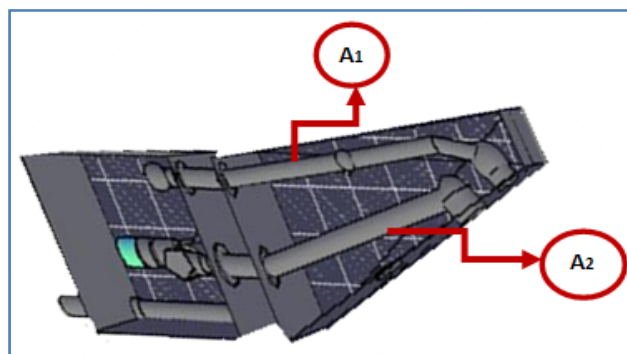


Figura 3.5: Identificación de cañerías para la resolución de ejercicios

Fuente: Investigación de campo

Dentro de los datos técnicos de la bomba encontramos:

Condiciones iniciales:

$$Q = 333.333 \frac{cm^3}{s}$$

$$r_1 = 0.64 \text{ cm}$$

$$r_2 = 1.27 \text{ cm}$$

Según la ecuación de continuidad

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (3.1)$$

Donde:

Q es el caudal en todo el recorrido.

r es el radio de cada cañería.

A es la sección de cada cañería.

v es la velocidad en cada tramo de la cañería.

Se calcula la velocidad del fluido en la línea de succión.

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} \quad (3.2)$$

$$v_2 = \frac{333,333 \frac{cm^3}{s}}{\pi(1,27 \text{ cm})^2}$$

$$v_2 = 65.78 \frac{cm}{s} = 0.66 \frac{m}{s}$$

Y la velocidad del fluido en la línea de reabastecimiento.

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \quad (3.3)$$

$$v_1 = \frac{333.333 \frac{cm^3}{s}}{\pi(0.63 \text{ cm})^2}$$

$$v_1 = 264.52 \frac{cm}{s} = 2.65 \frac{m}{s}$$

Gracias a la fórmula de la presión.

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3.4)$$

Se calcula la presión de la *línea 2*.

$$P_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (3.5)$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(0,66 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2$$

$$P_2 = 0,2163 \text{ Pa}$$

Y aplicando el teorema de Bernoulli calculamos la presión en la *línea 1* al reducir el área para dar funcionamiento a la bomba venturi.

$$P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 \quad (3.6)$$

Como en ambos ductos se trabaja con agua:

$$\rho_2 = \rho_1 = \rho$$

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 \quad (3.7)$$

Extraemos factores comunes

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) \quad (3.8)$$

$$P_1 = 0,2163 \text{ Pa} + \frac{1}{2} \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) [(0,66 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 - (2,65 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2]$$

$$P_1 = 0,2163 \text{ Pa} + \frac{1}{2} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (0,44 - 7,02) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$P_1 = - 3,06 \text{ pa}$$

$$P_1 = -4,44 \text{ E} - 4 \text{ psi}$$

El obtener una presión negativa muestra que la bomba venturi se encuentra succionando líquido a su paso.

3.4.2 Cálculo de la resistencia de la mesa

Las patas de la mesa tienen una medida de 4 cm de ancho, 7 cm de largo y 80 cm de alto.

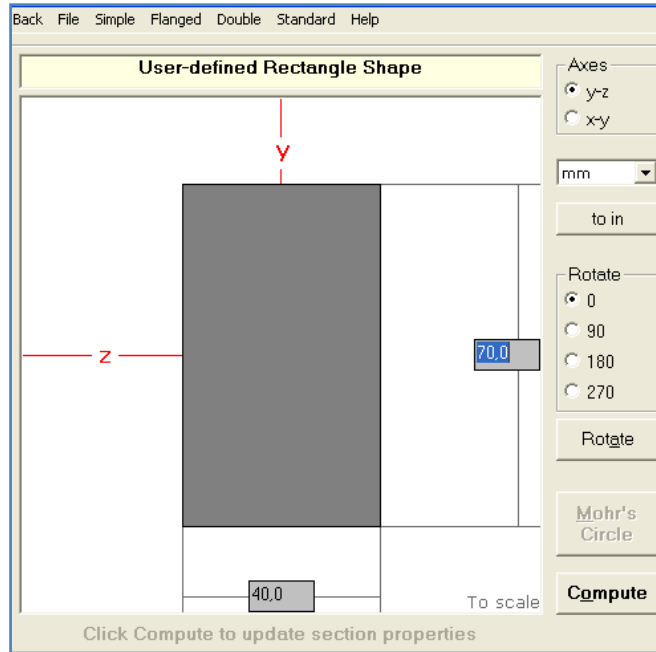


Figura 3.6: Área a analizar de la pata o columna de la mesa
Fuente: Investigación de campo

Tabla 3.1: Propiedades de la sección de la pata

X Axis Properties			
Elastic Modulus	E	12,4000	GPa
From bottom to centroid	y (bot)	35,0000	mm
From centroid to top	y (top)	35,0000	mm
Area of shape	A	2,800,0000	mm ²
Moment of Inertia	I _x	1,1433E+06	mm ⁴
Section Modulus	S _x	32,666,6667	mm ³
Section Modulus (bottom)	S (bot)	32,666,6667	mm ³
Section Modulus (top)	S (top)	32,666,6667	mm ³
Radius of Gyration	r _x	20,2073	mm
Plastic Modulus	Z _x	49,000,0000	mm ³
Shape Factor		1,5000	
From bottom to plastic n.a.	y _p (bot)	35,0000	mm
From plastic n.a. to top	y _p (top)	35,0000	mm
Polar Moment of Inertia	J	1,5167E+06	mm ⁴
Product of Inertia	I _{xy}	0,0000	mm ⁴
Maximum Moment of Inertia	I _{max}	1,1433E+06	mm ⁴
Minimum Moment of Inertia	I _{min}	373,333,3333	mm ⁴
Angle from x axis to I_{max} axis	B	0,0000	degrees
		Clockwise	

Elaborador por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

A continuación se muestra la carga máxima que soportarán las patas de la mesa y la clase de deformación que sufrirían en caso de exceder la carga máxima.

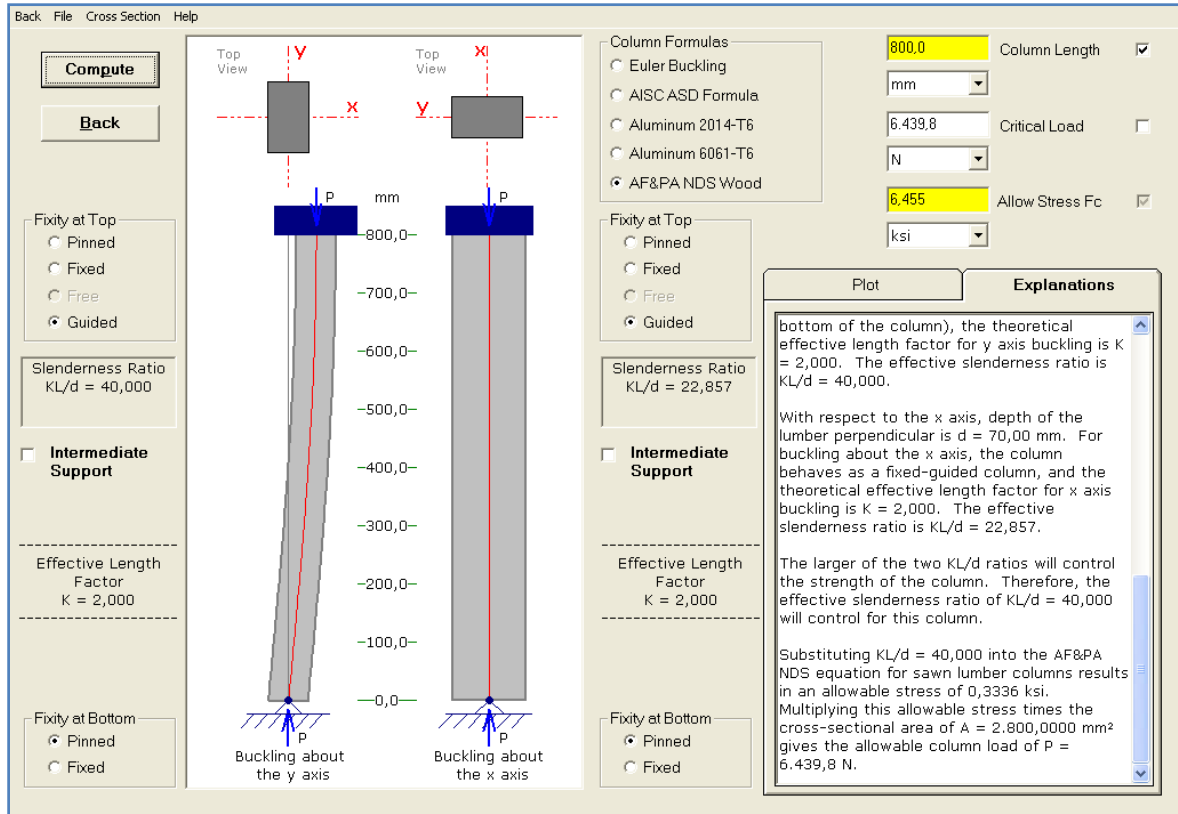


Figura 3.7: Deformación de las patas de la mesa en caso de exceso de carga.

Fuente: Investigación de campo

A continuación se desarrolla el mismo proceso para el tablón de la mesa.

Las medidas del tablón son: 77 cm de ancho, 127 cm de largo y 1.5 cm de espesor.

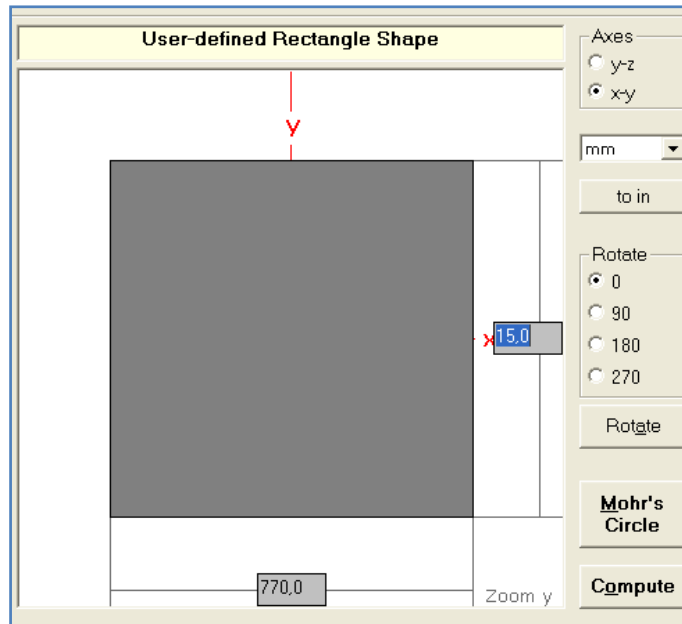


Figura 3.8: Sección de la tabla a analizar.

Fuente: Investigación de campo

Tabla 3.2: Propiedades de la sección de la tabla.

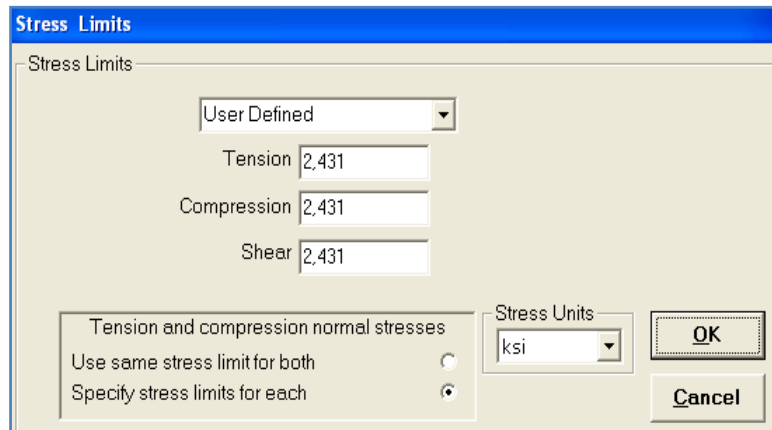
X Axis Properties			
Elastic Modulus	E	12,4000	GPa
From bottom to centroid	y (bot)	7,5000	mm
From centroid to top	y (top)	7,5000	mm
Area of shape	A	11.550,0000	mm ²
Moment of Inertia	I _x	216.562,5000	mm ⁴
Section Modulus	S _x	28.875,0000	mm ³
Section Modulus (bottom)	S (bot)	28.875,0000	mm ³
Section Modulus (top)	S (top)	28.875,0000	mm ³
Radius of Gyration	r _x	4,3301	mm
Plastic Modulus	Z _x	43.312,5000	mm ³
Shape Factor		1,5000	
From bottom to plastic n.a.	y _p (bot)	7,5000	mm
From plastic n.a. to top	y _p (top)	7,5000	mm
Polar Moment of Inertia	J	570,8828E+06	mm ⁴
Product of Inertia	I _{xy}	0,0000	mm ⁴
Maximum Moment of Inertia	I _{max}	570,6663E+06	mm ⁴
Minimum Moment of Inertia	I _{min}	216.562,5000	mm ⁴
Angle from x axis to I _{max} axis	B	0,0000	degrees
		Clockwise	

Elaborador por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

De la tabla de propiedades mecánicas de la madera MDF (anexo F) se obtiene un módulo de ruptura de 171 kg/cm² para un tablón de 15 mm de espesor, y transformado a Ksi obtendríamos 2,431ksi.

Tabla 3.3: Límite de esfuerzo para el tablón.



Elaborado por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

De acuerdo con los datos considerados y especificados a continuación, el tablero resistirá una carga máxima puntual de 1524,3 N que expresado en unidades de masa será 155,54 kg.

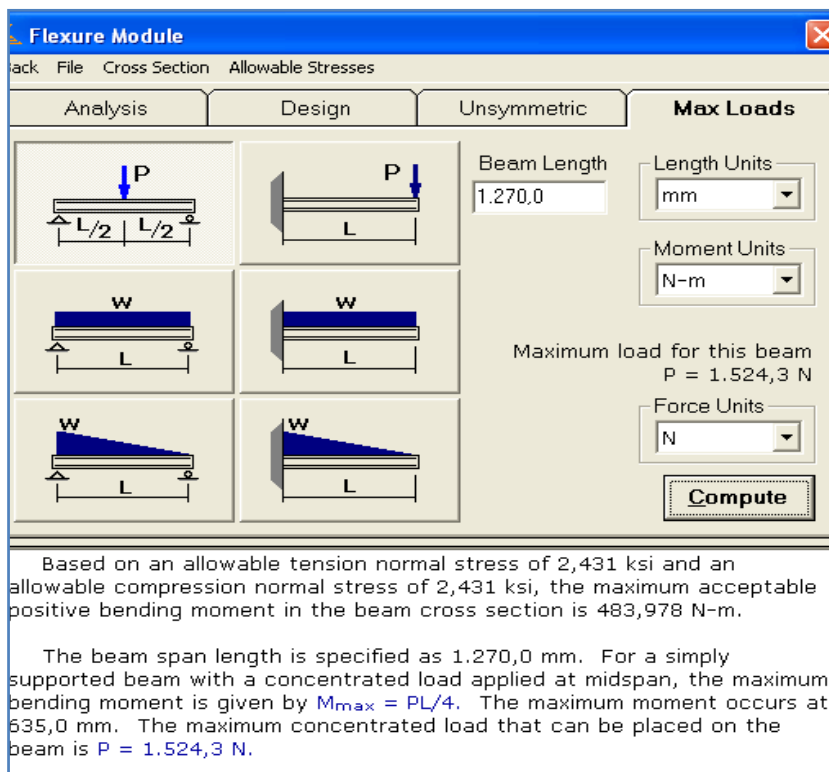


Figura3.9: Carga puntual máxima que soporta el tablero

Fuente: Investigación de campo

3.5 Construcción

Durante la construcción de la maqueta se ha procurado al máximo optimizar recursos con el fin de minimizar gastos. Aquí se presenta un detalle de todos los materiales utilizados, sean estos construidos o adquiridos.

Construidos:

- Mesa de soporte
- Estructura de ala
- Tanques de combustible
- Sistema de alimentación de combustible
- Bomba scavenge

Adquiridos:

- Bomba
- Mangueras de presión
- Elementos de tubería de agua en PVC

A continuación se detalla el proceso de construcción de la maqueta con el uso de los materiales anteriormente mencionados.

3.5.1 Tanques de combustible

Para cumplir con los objetivos del proyecto se ha utilizado dos tanques, uno de ellos es un cubo de lados paralelos y representa al tanque principal del avión; el otro es un cuadrilátero irregular que representa el ala izquierda de la aeronave.

Los tanques fueron contruidos de la siguiente manera:

- Mediante el uso de cálculos de triángulos se ha determinado las medidas exactas de los tanques.
- Se realizó un prototipo de los tanques de combustible en cartulina para ver si cumplen con las necesidades que tenemos.
- Con las plantillas realizadas en cartulina se cortó la mica para proceder con el armado de los tanques.
- Se unieron los lados de los tanques con silicona y una vez seca se reforzó todos los ángulos con bisel de aluminio de 0.5 in x 0.5 in con silicona también.
- Una vez todo seco, con el uso de bisagras se colocó las tapas superiores de ambos tanques.
- Para asegurar las tapas se utilizó topes de vitrinas y para abrirlas manijas alargadas.
- Se hermetizó todos los ángulos internos de los tanques con silicona transparente a fin de evitar la existencia de fugas.



Figura 3.10: Tanques de combustible

Fuente: Investigación de campo

3.5.2 Soporte

El soporte es una mesa de madera de 135 cm de largo, 85 cm de ancho y 80 cm de alto. Sus patas son cuadradas, de 7 cm x 4cm y el tablero es de madera MDF de 15 líneas.

El proceso seguido para la construcción se detalla a continuación.

- Usando como referencia las dimensiones de los tanques se calculó las medidas de la mesa, incluyendo la separación entre tanques, el espacio para la bomba y resto de elementos que se ubicaron en la mesa.
- En la mitad izquierda de la mesa se realizó una rampa de elevación para que el tanque muestre el diedro que un avión real posee y para que su tapa superior quede al mismo nivel de la tapa del tanque principal.
- Con la rampa ya fijada a la mesa se lacó todo en conjunto.



Figura 3.11: Mesa de soporte

Fuente: Investigación de campo

3.5.3 Sistema de transferencia de combustible

Está construido en su mayoría con elementos de tubería de agua en PVC y el resto con manguera de baja presión. El sistema inicia con una válvula check y todo el canal de succión está formado por tubería de 1 in. Desde la salida de la bomba hasta el desfogue en el tanque principal y el de llenado en el tanque del ala se encontrará tubería de 0.5 in. Para el accionamiento y control del sistema se han utilizado tres llaves de paso, una bomba eléctrica de 115 V, 0.5 Hp y un circuito eléctrico sencillo compuesto de un switch y un toma corriente.

Para la elaboración de la bomba scavenge se realizó todas las pruebas necesarias hasta conseguir los resultados buscados.



Figura 3.12: Elaboración de la bomba scavenge

Fuente: Investigación de campo

Aquí se detalla la construcción del sistema:

- Una vez fijados los tanques a la mesa con silicona transparente, se realizó un esquema del sistema de alimentación de combustible que se ensamblaría y se adquirió los materiales.
- Se dio inicio al sistema dividiendo la salida de la bomba en dos líneas distintas de 0.5 in que se las conocería como: *L1* (motive flow line) y *L2* (reinicio del sistema); ambas con una llave de paso independiente, y se mantuvo una sola línea de 1 in (Fuel feed line) o *L3*.
- En las tres líneas, se colocó universales para facilitar el retiro de la bomba en caso de ser necesario dar mantenimiento.



Figura 3.13: Salida de la bomba

Fuente: Investigación de campo

- Una vez ensamblada esta parte del sistema, se continuó con la perforación del tanque en los puntos de ingreso de las tres líneas.
- Se selló las perforaciones con pasos de tanques de reserva para evitar el uso de silicona y que se pudiera desarmar en cualquier momento.



Figura 3.14: Perforación de los tanques

Fuente: Investigación de campo

- Ya dentro del sistema se prolongó las *L1* y *L3* hasta donde se creyera conveniente, para cambiar de dirección con el uso de codos de 90° y 45°.
- Con acoples de manguera y manguera de baja presión se llegó hasta el otro extremo del tanque para marcar el sitio donde se realizarían los agujeros de conexión entre tanques de la *L3*.
- Para la *L1* se realizó el mismo procedimiento anteriormente mencionado pero adicionando casi al final del tramo la bomba scavenge con una prolongación en su agujero de succión ya que es necesario que este se encuentre en la parte más baja del ala.
- Se perforó ambos tanques y se unió los pasos de tanques de reserva que sellaban dichos agujeros con neoplos de la medida correspondiente.
- Estando ya dentro del tanque principal; para la *L3* se utilizó una **T** con un tapón en uno de los extremos que nos permitirá el llenado de todo el canal de succión hasta la bomba y en el otro extremo una sección de manguera, conectada a un codo de 90° en la base, para mediante otra sección de manguera terminar la *L3* con una válvula check que a su vez hará de filtro de impurezas para el sistema.

- Para la *L1* se utilizará únicamente un codo de 90° para que desfogue del fluido de modo vertical, ya que de lo contrario al salir con presión chocaría con la pared contraria y crearía salpicadura.



Figura 3.15: Armado del sistema dentro de los tanques

Fuente: Investigación de campo

- Para evacuar totalmente el agua del sistema se ha colocado una llave de paso en la parte más baja del tanque principal permitiéndose salir por acción de su peso mismo.
- Se elaboró el circuito eléctrico del sistema, incrementando la longitud de los cables y adicionando un switch y un tomacorriente.

Como toques finales:

- Se pintó las cañerías de acuerdo al diagrama.
- Para reconocer las partes del sistema se etiquetó cada elemento.
- Una vez terminado el ensamblaje, se cubrió la mesa con una segunda mano de laca.

3.6 Codificación de partes de la maqueta

Tabla 3.4: Codificación de partes

Parte	Código
Motive flow line	L1
Reinicio del sistema	L2
Fuel feed line	L3
Bomba venturi	Scavenge
Puerto de llenado	T
Válvula unidireccional	Check
Punto de alivio	L4
Bomba de agua	Bomba mecánica



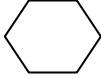

Elaborador por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

3.7 Diagramas de proceso

Es la representación gráfica de todos los pasos de construcción secuenciales y lógicos que se realizaron dentro de los procesos productivos, permite visualizar el ensamblaje y sub - ensamblaje del proceso de elaboración del trabajo práctico.

Tabla 3.5: Simbología de los diagramas de proceso

NÚMERO	SÍMBOLO	SIGNIFICADO
1		Operación
2		Inspección
3		Pieza terminada
4		Conectar

Elaborador por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

3.7.1 Pasos para la elaboración del diagrama de operación

- a. Se utilizará líneas horizontales para indicar el ingreso de la materia prima.
- b. Para indicar los pasos de transformación de la materia prima en producto elaborado se ubica el símbolo de operación e inspección respectivamente.
- c. Se toma en consideración una secuencia numérica para la operación y otra la para inspección.
- d. Unir el sub-ensamble, es decir siempre colocar, las partes más pequeñas a las más grandes.

3.7.2 Diagrama del proceso de construcción del prototipo de los tanques de combustible

Material utilizado: Cartulina blanca.

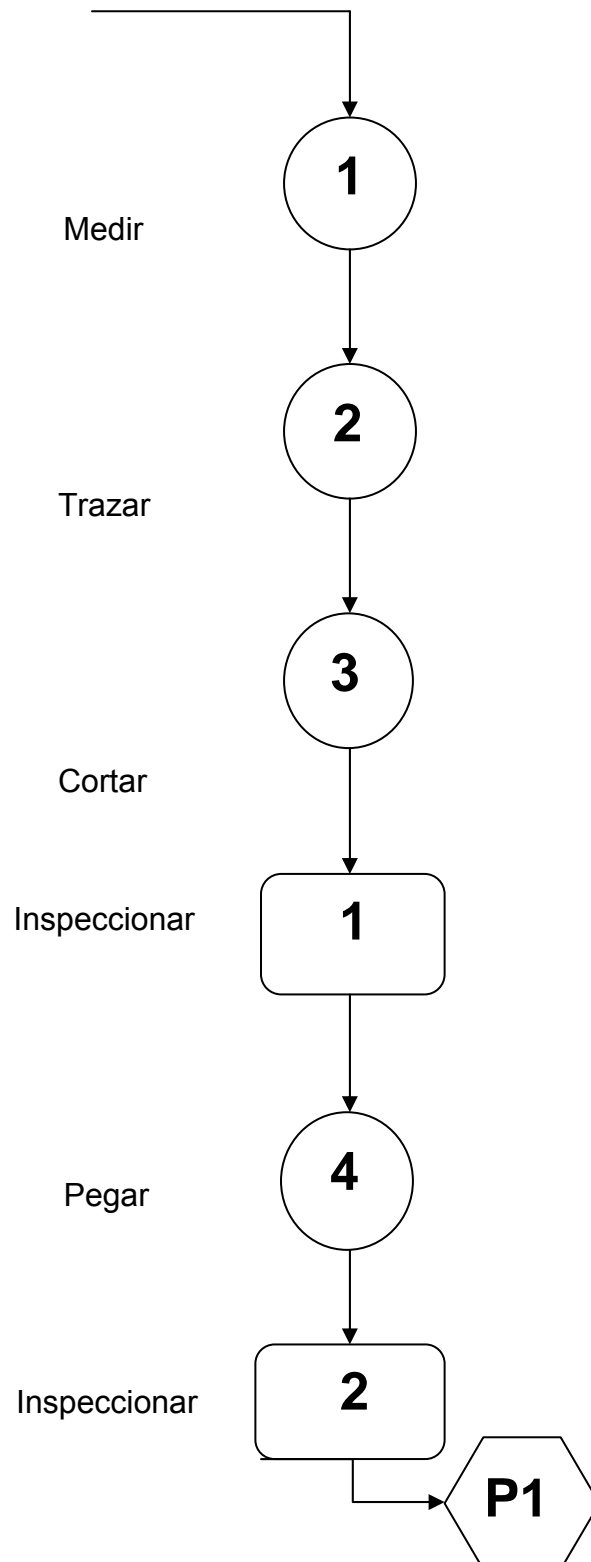


Tabla 3.6: Proceso del prototipo de los tanques de combustible.

NÚMERO		DESCRIRCIÓN
OPERACIÓN	INSPECCIONAR	
1		Realizar los cálculos de los lados de los tanques considerando los milímetros de traslape en los ángulos de las láminas.
2		Trazar las medidas calculadas en las cartulinas.
3		Cortar los lados de los tanques.
	1	Inspeccionar que las piezas coincidan entre ellas.
4		Pegar los lados de los tanques.
	2	Inspeccionar que las piezas pegadas nos hayan dado las figuras esperadas.
P1		El prototipo de los tanques está terminado

Elaborador por: Talía Aguilera

Fuente: Investigación de campo

3.7.3 Diagrama del proceso de construcción de los tanques de combustible.

Material utilizado: Lámina de mica de 3mm de espesor y ángulo de aluminio de 0.5 x 0.5 in.

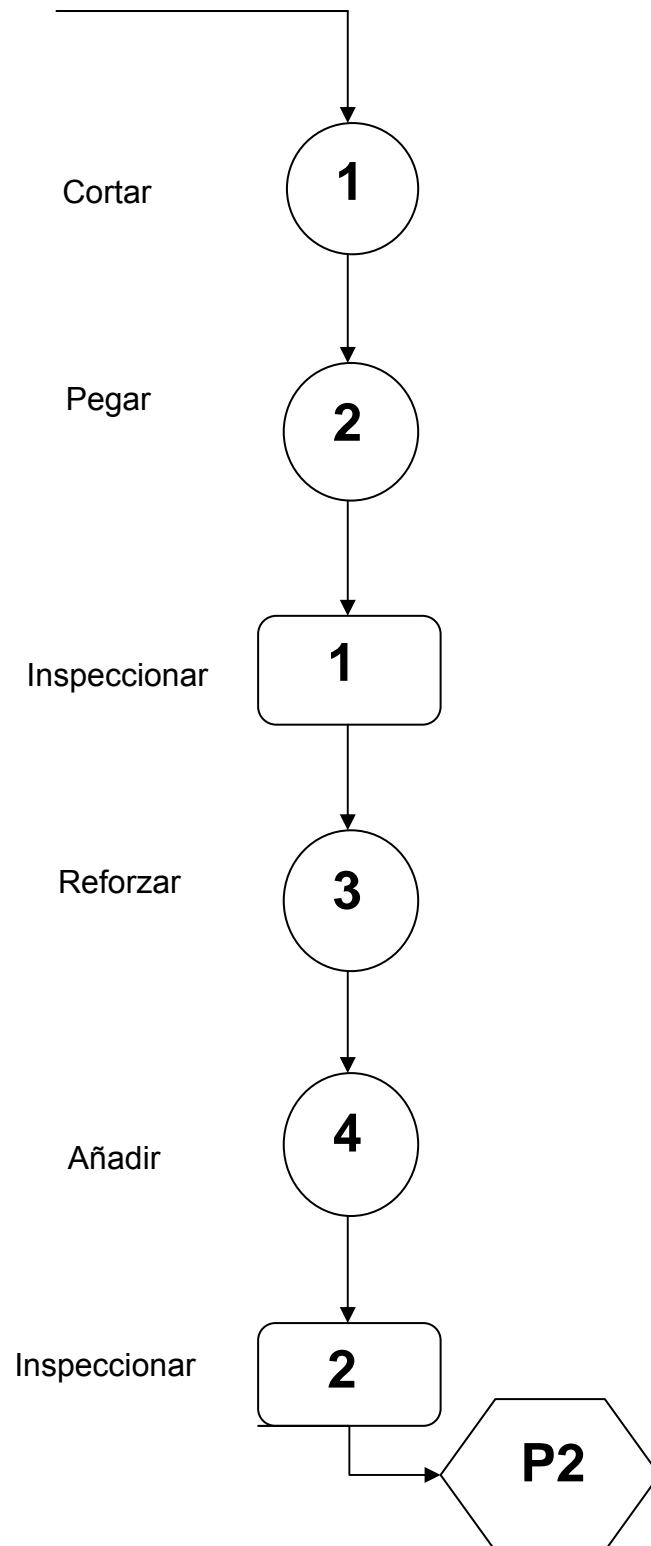


Tabla 3.7: Proceso de construcción de los tanques de combustible.

NÚMERO		DESCRIRCIÓN
OPERACIÓN	INSPECCIONAR	
1		Utilizando las plantillas creadas para el prototipo de los tanques, cortar las piezas de mica
2		Pegar las piezas obtenidas y formar los tanques.
	1	Verificar que la silicona esté completamente seca
3		Reforzar los ángulos de las piezas con ángulo de 0.5 x 0.5 in
4		Colocar las tapas de los tanques utilizando bisagras y remaches.
	2	Asegurarse de que no haya fallas.
P2		Los tanques están terminados.

Elaborador por: Talía Aguilera

Fuente: Investigación de campo

3.7.4 Diagrama del proceso de construcción de la mesa de soporte.

Material utilizado: Madera MDF de 15 líneas.

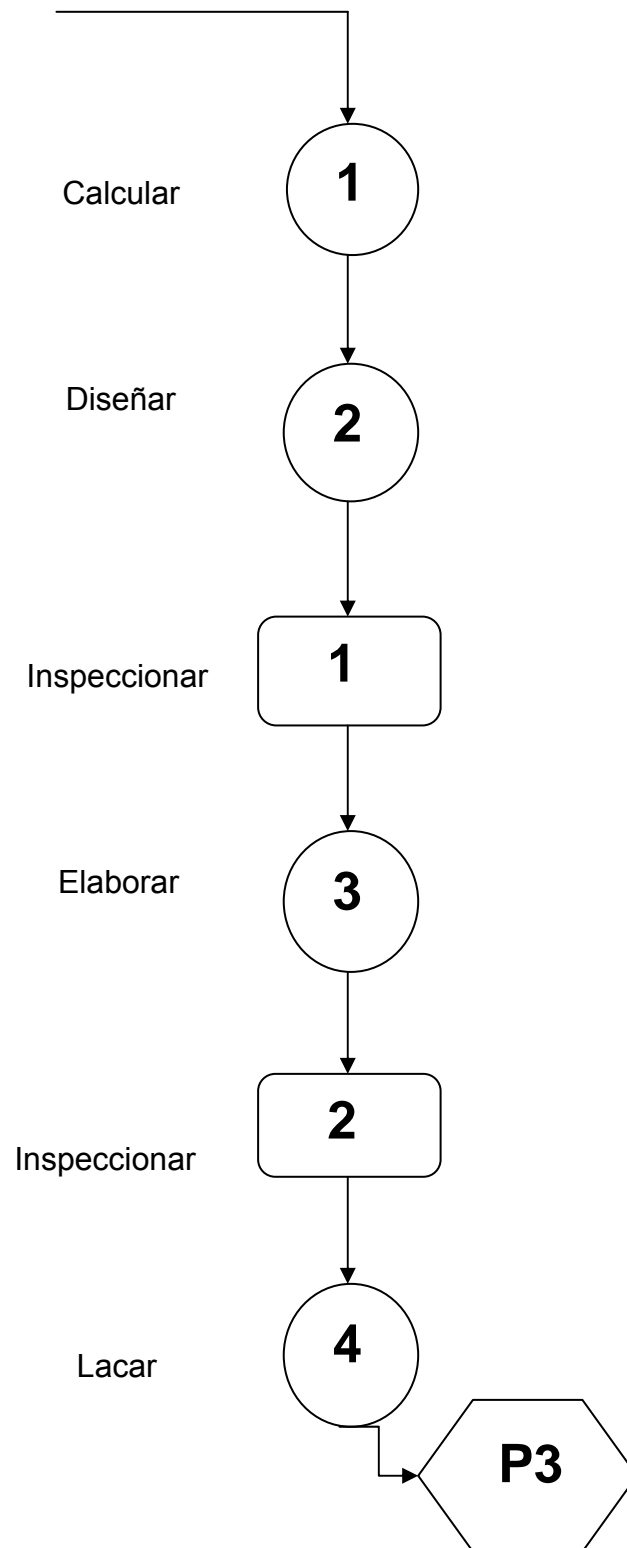


Tabla 3.8: Proceso de construcción de la mesa de soporte.

NÚMERO		DESCRIRCIÓN
OPERACIÓN	INSPECCIONAR	
1		Calcular las dimensiones de la mesa de acuerdo al tamaño de los tanques y el espacio requerido para las demás piezas que formarían parte del modelo.
2		Diseñar la mesa en Auto-cad para visualizar como deberá quedar una vez elaborada.
	1	Verificar que las medidas y estructura sean las apropiadas para el fin que tendrá.
3		En base a los planos y medidas elaboramos la mesa con madera MDF de 15 líneas.
	2	Asegurarse que la mesa esté adecuadamente construida.
4		Lacar completamente.
P3		La mesa está terminada.

Elaborador por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

3.7.5 Diagrama del proceso de creación de la bomba scavenge.

Material utilizado: Y de 0.5 in para manguera y cilindro plástico hueco de 0.5 in (diámetro externo).

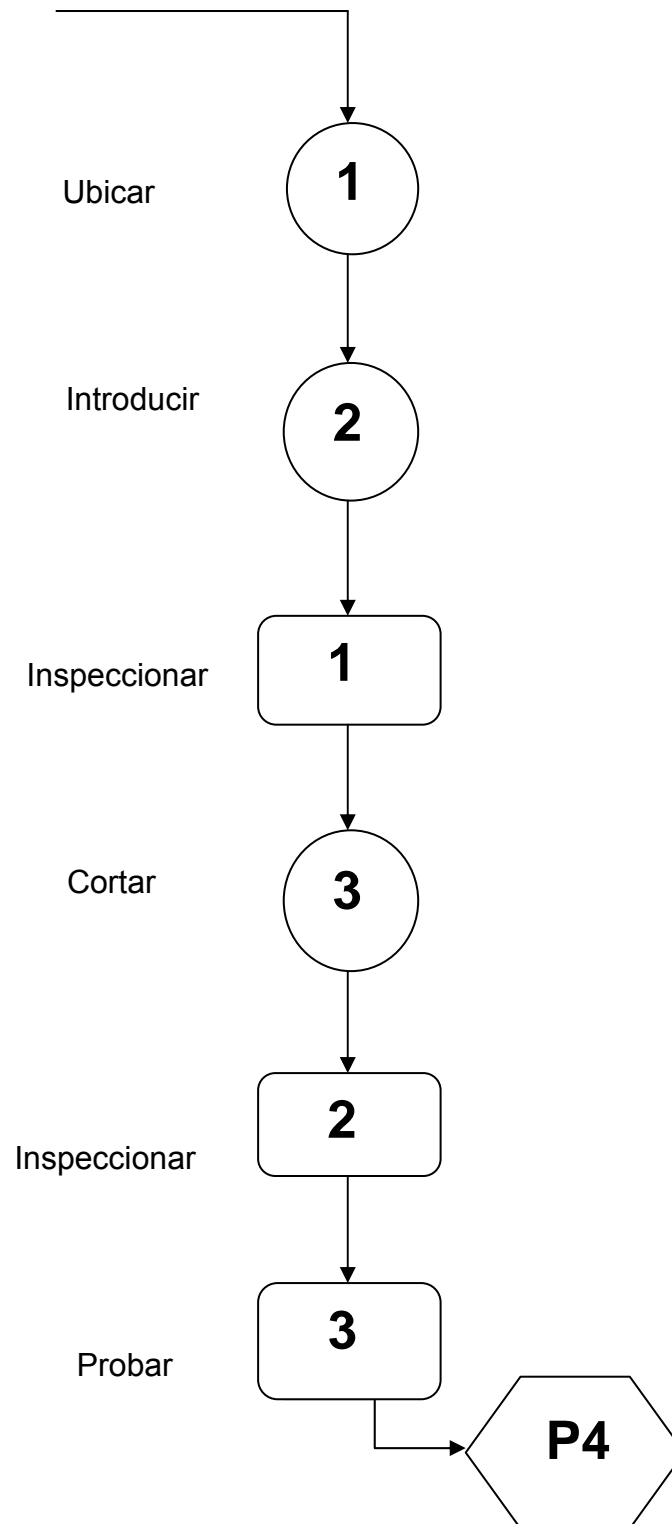


Tabla 3.9: Proceso de construcción de la bomba scavage.

NÚMERO		DESCRIPCIÓN
OPERACIÓN	INSPECCIONAR	
1		Posicionar la Y de modo que el vértice del ángulo agudo de esta quede señalando la dirección de flujo de líquido. El líquido fluirá horizontalmente.
2		Introducir el cilindro hueco en el canal con ángulo que quedará libre del flujo de corriente.
	1	Verificar que internamente gracias al cilindro se haya formado una rampa en el canal de flujo del líquido.
3		Cortar el restante del cilindro hasta dejarlo del mismo tamaño que la Y.
	2	Asegurarse de que la bomba tenga la forma adecuada y no haya fallas.
	3	Comprobar su correcto funcionamiento.
P4		La bomba está terminada.

Elaborador por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

3.7.6 Diagrama del proceso de construcción del sistema de transferencia de combustible.

Material utilizado: Elementos de tubería de agua en PVC, elementos para manguera en PVC y manguera reforzada con nylon.

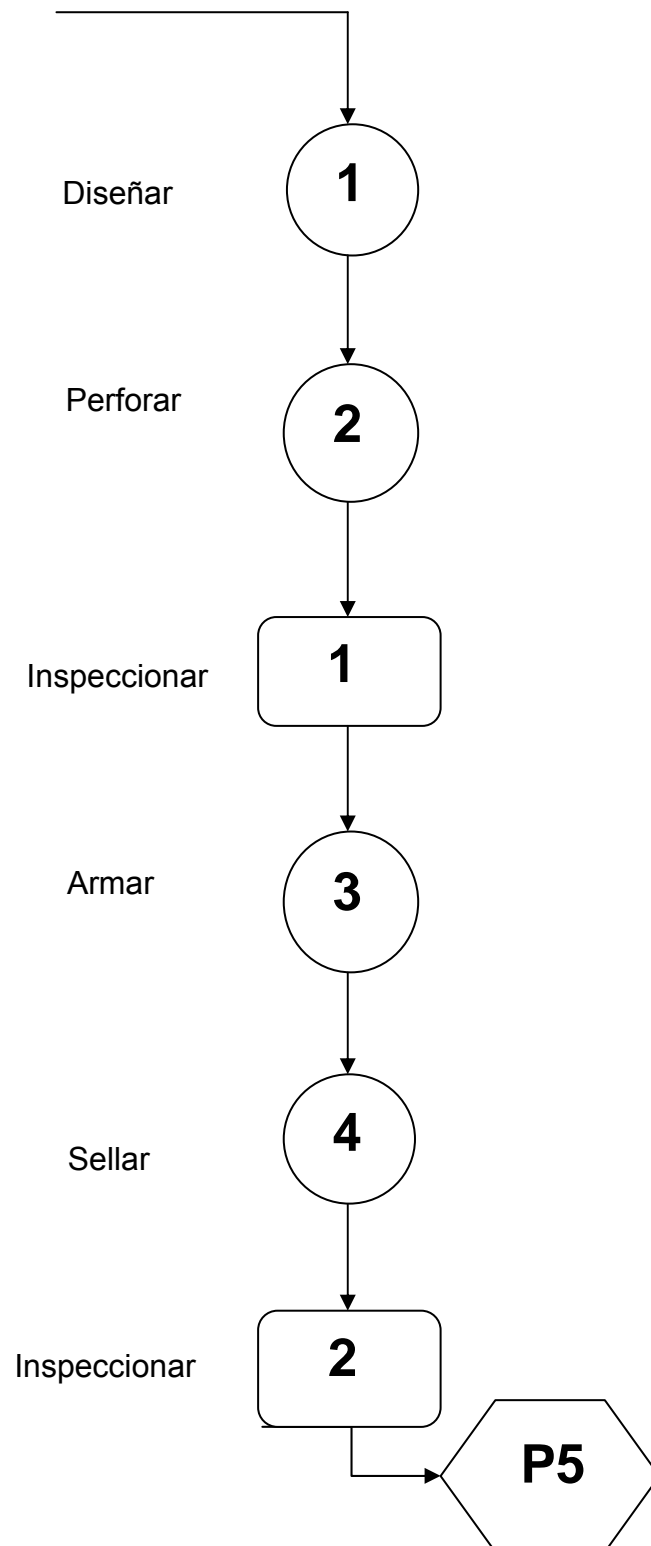


Tabla 3.10: Proceso de construcción del sistema de transferencia de combustible.

NÚMERO		DESCRIPCIÓN
OPERACIÓN	INSPECCIONAR	
1		Diseñar el sistema de transferencia de combustible considerando todas las piezas a utilizar.
2		Perforar los tanques en los lugares donde habrá ingreso de tubería y paso entre tanques.
	1	Después de cada perforación verificar que los agujeros coincidan con el diámetro de la tubería y estén en la posición adecuada.
3		Armar el sistema como se preestableció.
4		En cada extremo donde se utilizó manguera, con el uso de abrazaderas sellar los posibles ingresos de aire.
	2	Probar el correcto funcionamiento del sistema.
P5		El sistema de transferencia de combustible está terminado.

Elaborador por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

3.8 Descripción de funcionamiento de la maqueta

El sistema consiste en transportar el combustible del tanque del ala al tanque principal a través un circuito cerrado que se forma gracias a la presión de la bomba. Durante este circuito el combustible pasa por la bomba scavenge, la misma que funciona mediante el efecto venturi, creando un efecto de succión y depositándolo en el tanque principal.

3.9 Elaboración de manuales

A continuación se detallan los distintos procedimientos de operación, mantenimiento, registro de mantenimiento y normas de seguridad para manipular el equipo

3.9.1 Tipos de manuales

Se proporciona los siguientes manuales.



- Manual de Mantenimiento
- Manual de Operación
- Manual de Seguridad
- Registro de Mantenimiento

Tabla 3.11: Codificación de los manuales

Manual	Código
Manual de Mantenimiento	MM – 001
Manual de Operación	MO – 001
Manual de Seguridad	MS – 001
Registro de Mantenimiento	HR - 001

Elaborador por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

	MANUAL DE OPERACIÓN	Pág 1 de 2
	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A LOS MOTORES Y TANQUE PRINCIPAL DEL AVIÓN EMBRAER 170	Revisión Nº 1
		Cód. MO – 001
	ELABORADO POR: Talia Aguilera	Fecha: 15 de jul del 2013
APROBADO POR: Sgop. Tec. Avc. José López		
ITSA	MECÁNICA AERONÁUTICA	

1. Objetivo

Establecer las fases secuenciales a seguir para tener una operación exitosa y evitar daños en el equipo.

2. Alcance

Las instrucciones a continuación serán aplicables para los operadores de la maqueta bajo cualquier circunstancia

3. Procedimiento

Previo al uso de la maqueta, se revisará el contenido del manual minuciosamente con todo el grupo a intervenir, sean estos, operadores y observadores.

4. Normas de operación y funcionamiento



- Colocamos el agua en los tanques, hasta el nivel mínimo en el principal y hasta el nivel máximos en el del ala.
- Llenamos de agua el canal de succión desde la T del tanque principal.

- Alimentamos el circuito eléctrico con 110 V.
- Ubicamos la llave de la *línea 2* en posición de CLOSE y la de la *línea 1* en posición de OPEN.
- Posicionamos el switch del circuito en ON.
- La bomba succionará el fluido del tanque principal mediante la *línea 1* y lo expulsará por la *línea 2* dirigiendo el líquido a través del tanque del ala.
- Durante la trayectoria del fluido a través del tanque, cruzará por una bomba eyector, la misma que mediante el efecto venturi succionará el combustible del tanque del ala para depositarlo en el tanque principal.
- Pasado un par de minutos, podremos visualizar el cambio en los niveles de agua de los tanques.
- Una vez que el tanque principal alcance el nivel máximo y el tanque del ala el nivel mínimo de agua se invertirá las posiciones de las llaves de paso de las líneas. Primero la llave de la *línea 2* en posición de OPEN y luego la llave de la *línea 1* en posición de CLOSE para regresar el agua al tanque del ala hasta volver a alcanzar con el tanque principal el nivel mínimo y con el tanque del ala el nivel máximo.
- Para reiniciar el proceso invertimos nuevamente la posición de las llaves de paso, primero abriendo el canal cerrado y luego cerrando el canal abierto
- Respetar de manera contundente el orden de abrir y cerrar las llaves para evitar los contragolpes que arruinarían la bomba.

Responsable

Nombre:

Firma:

	MANUAL DE SEGURIDAD	Pág 1 de 3
	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A LOS MOTORES Y TANQUE PRINCIPAL DEL AVIÓN EMBRAER 170	Revisión Nº 1
		Cód. MS – 001
	ELABORADO POR: Talia Aguilera	Fecha: 15 de jul del 2013
	APROBADO POR: Sgop. Tec. Avc. José López	
ITSA	MECÁNICA AERONÁUTICA	
<p>1. Objetivo</p> <p>Establecer procesos de trabajo seguro a seguir al hacer uso de la maqueta, para evitar cualquier incidente, accidente o daño del equipo.</p> <p>2. Alcance</p> <p>Las normas detalladas a continuación serán aplicables tanto para operadores como para observadores, excepto aquellas que se encuentren especificadas.</p> <p>3. Procedimiento</p> <p>Previo al uso de la maqueta, se revisará el contenido del manual minuciosamente y se realizará el análisis de tarea adjunto con todo el grupo a intervenir, sean estos, operadores y observadores.</p> <p>4. Normas de seguridad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antes de dar inicio al funcionamiento se realizará una inspección visual de las condiciones estructurales de los tanques y de que el sistema de transferencia esté completo. 		

- Los cables eléctricos no estarán pelados, ni con empates.
- Considerando que el agua es buen conductor de electricidad se procurará superficies totalmente secas.
- Se respetará los límites mínimos y máximos de agua a fin de evitar derramamiento.
- Durante el funcionamiento de la maqueta se cerrarán los tanques para impedir la salida del agua.
- Una vez finalizado el trabajo se apagará la bomba y se desconectará el circuito.
- Para manipular el cloro en el agua se utilizará guantes de latex y gafas transparentes.
- Para evitar el daño de la bomba se respetará la secuencia de abrir y cerrar las llaves de paso como está especificado en el funcionamiento de la maqueta (cap IV).
- Se drenará totalmente la bomba una vez finalizado el proceso para evitar la oxidación interna de la misma.
- Al dar mantenimiento al equipo se utilizará overol, guantes, gafas y mascarilla de modo obligatorio.
- El responsable será siempre un docente del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

Responsable

Nombre:

Firma:

ANÁLISIS DE TAREA DE RIESGO

Se ha analizado la teoría del funcionamiento de la maqueta?

SI NO

Se ha realizado la inspección inicial del equipo como especifica el MM 001?

SI NO

Si ambos ítems son positivos se procederá a llenar el siguiente análisis.

Tarea	Punto clave	Riesgos	Modo de prevención de riesgos



En caso de faltar espacio se puede utilizar el reverso de la hoja.

Nombre:

.....

Firma:

.....

	MANUAL DE MANTENIMIENTO	Pág 1 de 2
	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A LOS MOTORES Y TANQUE PRINCIPAL DEL AVIÓN EMBRAER 170	Revisión Nº 1
		Cód. MM - 001
	ELABORADO POR: Talia Aguilera	Fecha:
	APROBADO POR: Sgop. Tec. Avc. José López	15 de jul del 2013
ITSA	MECÁNICA AERONÁUTICA	

1. Objetivo

Especificar técnicas de mantenimiento para prolongar la vida útil del equipo.

2. Alcance

Las normas especificadas serán aplicables para todos quienes lleven a cabo el mantenimiento a la maqueta.

3. Procedimiento

Se revisará el contenido del manual minuciosamente, se llevará a cabo el mantenimiento tal como está establecido y se registrará las fechas en la hoja de Registro de Inspección.

3.1 Mantenimiento por cada uso

- Durante el funcionamiento de la maqueta se cerrarán los tanques para impedir la salida del agua.
- Una vez finalizado el trabajo se apagará la bomba y se desconectará el circuito.

- Para evitar el daño de la bomba se respetará la secuencia de abrir y cerrar las llaves de paso como está especificado en el funcionamiento de la maqueta en el manual de operación.
- Se drenará totalmente la bomba una vez finalizado el proceso para evitar la oxidación interna de la misma.
- Al dar mantenimiento al equipo se utilizará overol, guantes, gafas y mascarilla de modo obligatorio.

3.2 Mantenimiento semanal

- Renovar y purificar el agua de los tanques de acuerdo a lo indicado en la tabla del Anexo E.
- El sistema puede permanecer toda la semana con agua pero la bomba será siempre liberada.
- Para manipular el cloro en el agua se utilizará guantes de latex y gafas transparentes.

3.3 Mantenimiento quincenal

- Desarmar la bomba y retirar las acumulaciones de óxido.

3.4 Mantenimiento mensual

- Desarmar la bomba y retirar las acumulaciones de óxido.
- Reemplazar los elementos dañados del sistema eléctrico.

Responsable

Nombre:

Firma:

3.10 Estudio económico

A continuación se detallan los gastos realizados durante la elaboración del proyecto.

3.10.1 Presupuesto

Previa la ejecución del proyecto se estimó un presupuesto de 300 dólares americanos.

3.10.2 Análisis de costos

Durante la elaboración del proyecto se realizaron los siguientes gastos; siendo todos de vital importancia para la construcción del prototipo, y se los ha ordenado de la siguiente manera.

- **Costos Primarios**

- Materiales
- Herramientas y Equipos
- Mano de Obra

- **Costos Secundarios**

- Derechos de grado
- Elaboración de trabajo escrito

3.10.2.1 Costos primarios

3.10.2.1.1 Costos de materiales

Tabla 3.12: Costos de materiales

CANT	DESCRIPCIÓN	VALOR (USD)
1	Bomba de agua de 0.5 hp	60
2 m	Manguera de baja presión de 1 in	4
4 m	Manguera de baja presión 0.5 in	7
8	Acoples de manguera de 1 in y 0.5 in	4
4 pliegos	Cartulina para plantillas	2
12 pzas	Mica de 3 líneas	70
2 tubos	Silicona	8
2	Ángulo de aluminio de 0.5 in	6
1 lam	Madera	40
1	Laca y secante	19
35	Acoples de tubería PVC de 1 in y 0.5 in	90
1	Válvula check	5
3	Llaves de paso	12
1	Pistola de gravedad para compresor	27
300 ml	Adherente a plástico	3.5
250 ml	Pintura blanca	2
250 ml	Pintura negra	2
500 ml	Thinner	1
40	Stickers	55
TOTAL		417.5

Elaborado por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

3.10.2.1.2 Costos por mano de obra

Tabla 3.13: Costos por mano de obra

Nº	ITEM	Cant.	V. por Hora	Hrs. Empleadas	V. Total USD
1	Construcción mesa de soporte	1	6	8	48,00
2	Corte de la mica	12	5	1	5,00
3	Elaboración de los tanques	2	6	16	96,00
4	Ensamblaje del sistema	1	4	18	72,00
TOTAL					221,00 USD.

Elaborado por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

3.10.2.2 Costos secundarios

Tabla 3.14: Costos secundarios

Nº	Detalle	Valor en USD
1	Derechos de Grado.	300,00
2	Elaboración del trabajo escrito.	100,00
TOTAL		400,00 USD

Elaborado por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

3.10.2.3 Costo total del trabajo de graduación

Tabla 3.15: Costo total del proyecto

Nº	Detalle	Valor en USD
1	Gastos Primarios	638.5
2	Gastos Secundarios	400.00
TOTAL		1038.5

Elaborado por: Talia Aguilera

Fuente: Investigación de campo

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Habiendo concluido la elaboración y conseguido lo que se buscaba del proyecto se ha podido establecer conclusiones, y en base a estas, recomendaciones que permitan conservar un tiempo más prolongado el prototipo funcionando correctamente.

4.1 Conclusiones

- El fundamento teórico recolectado es suficiente para el entendimiento y la emulación práctica del sistema.
- Para lograr la simulación del sistema se estudió sobre todo el funcionamiento y estructura de la bomba scavenge para poder recrearla de manera adecuada.
- La maqueta se encuentra armada y probada, dando satisfactorios resultados y cumpliendo con los objetivos planteados.
- A través de los manuales de mantenimiento, operación, seguridad y hoja de registro, se provee la información necesaria para la manipulación del modelo.
- El uso de los manuales optimiza el uso de la maqueta, además de prevenir cualquier tipo de accidentes o incidentes a los operadores.
- Mediante experiencias en el uso del prototipo se corrigió las posibles fallas en el ensamblaje de la maqueta.

- Se ha demostrado que el efecto venturi es la base principal del Sistema de Transferencia de Combustible del avión Embraer 170 - 190.
- El uso de la mica en los tanques ha favorecido mucho en reducir el peso de la maqueta, facilitar su transporte y poder observar el funcionamiento del principio del efecto venturi aplicado en la bomba scavenge.
- En los cálculos se ha demostrado que debido a que el caudal necesariamente será el mismo en todo el recorrido, al disminuir el área del tubo portador a la mitad, incrementamos la velocidad del fluido cuatro veces.
- Como resultado del cálculo de la presión en la sección que contiene la bomba venturi se obtuvo un valor negativo, lo que nos demuestra que el sistema está succionando el líquido del tanque, cumpliendo así con el objetivo principal del trabajo.

4.2 Recomendaciones

- Revisar instrucciones de uso previo al accionamiento de la maqueta.
- Utilizar la maqueta para realizar clases demostrativas sobre el tema.
- Una vez finalizado el trabajo, descargar el agua de la cañería de succión con el fin de evitar la oxidación de la bomba.
- Procurar limpieza en el ambiente y evitar la fricción ya que la mica es un material muy susceptible a la abrasión.
- Hacer trabajar la bomba periódicamente para que la acumulación de óxido no impida el giro de la turbina.
- En caso de incrementar el voltaje (220 máximo tolerable) considerar el aumento del caudal.
- Ubicar un filtro a la entrada de la cañería de succión para impedir el ingreso de material extraño que podría causar daño a los componentes del sistema.
- La maqueta deberá ser utilizada únicamente para realizar demostraciones prácticas de este sistema y con el fin de instruir a los estudiantes.
- El uso de los manuales de la maqueta y hojas de registro son de carácter obligatorio.

SIGLAS

AC	Corriente alterna
APU	Auxiliary power unit (Unidad auxiliar de energía)
CEMA	Centro de mantenimiento aeronáutico
DC	Corriente directa
E 170	Embraer 170
EICAS	Engine-indicating and crew-alerting system (Sistema de indicación del motor y alerta a la tripulación)
GA	Go around (tope y despegue)
HR	Hoja de registro
ITSA	Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico
LL	Low Lead (Baja de plomo)
MAU	Multi-station access unit
MFD	Multi-functional display (dispositivo multifunción)
MM	Manual de mantenimiento
MO	Manual de operación
MS	Manual de seguridad

NACA National Advisory Committee for Aeronautics
(Comité Consejero Nacional para la Aeronáutica)

TO Take off (despegue)

GLOSARIO

Alimentación cruzada.- Alimentación de combustible de un tanque al motor del lado opuesto.

Bomba centrífuga.- También denominadas rotativas, tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el líquido.

Carburador.- Pieza del motor de explosión en la que se efectúa la carburación.

Carburante.- Sustancia química, compuesta de hidrógeno y carbono, que, mezclada con un gas, se emplea como combustible en los motores de explosión y de combustión interna.

Cavitación.- Fenómeno físico, mediante el cual un líquido, en determinadas condiciones, pasa a estado gaseoso y unos instantes después pasa nuevamente a estado líquido.

Deflector.- Aparato destinado a desviar el flujo de una corriente.

Densidad.- Es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen.

Espectro de operación.- Rango de operación

Hidrocarburos.- Compuesto químico orgánico formado por carbono e hidrógeno.

Impurezas.- Sustancia o conjunto de sustancias extrañas a un cuerpo o materia que están mezcladas con él y alteran alguna de sus cualidades.

Inflamable.- Que arde con facilidad y desprende llamas inmediatamente

Maqueta.- Proyecto o reproducción de un monumento, edificio u otra construcción hecho en tamaño reducido.

Motor.- Máquina que transforma en trabajo mecánico otras formas de energía.

Octano.- Medida del poder antidetonante de las gasolinas.

Poder calorífico.- Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.

Punto de congelación.- Llamado también punto de solidificación, es la temperatura a la cual un líquido se solidifica.

Queroseno.- Líquido inflamable, mezcla de hidrocarburos, que se obtiene de la destilación del petróleo natural y que en la actualidad se emplea como combustible de aviones de reacción y para fabricar insecticidas.

Sistema de inyección.- Se encarga de llevar el combustible desde el tanque hasta los cilindros para su inyección.

Válvula.- Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en una máquina o en un instrumento.

Volátil.- Se aplica a la sustancia que se transforma fácilmente en vapor o en gas cuando está expuesta al aire

BIBLIOGRAFÍA

Libros y manuales:

- Física general SCHAUM Daniel 1961 pág 103
- Física general TIPPENS
- Generalidades ATA 28 EMBRAER-190
- Aviation maintenance technician handbook – airframe vol 1
- CBT – Embraer 170 – 190
- OÑATE, Esteban (2007). Conocimiento del Avión. Sexta Edición.
- ATA 28 Embraer 190

Páginas web:

- http://atenea.us.es/php/infgen/aulav/insta_aeronaves/IA_ATA_28_FUEL.pdf
- <http://www.construmatica.com>
- www.slideshare.net/pitbar/sistema-de-combustible-de-aeronave
- <http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/efecto-venturi>
- http://www.ecured.cu/index.php/Efecto_Venturi
- <http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF36.html>
- <http://es.scribd.com/doc/42884014/Sistema-Combustible>

- <http://aviacioncenter.blogspot.com>
- http://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/821-031_PurifyWater_Sp.pdf
- <http://blog.espol.edu.ec/joansanc/>
- <http://es.scribd.com/doc/6057846/Bombas-Centrifugas>
- <http://www.fing.edu.uy/iq/cursos/qica/repart/qica1/Combustibles.pdf>
- <http://html.sistemas-combustibles.com>
- http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Densidad_Concepto.htm
- <http://www.wordreference.com/definicion/inmediatamente>
- http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/01-poder_calorifico.pdf
- <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/congelacion-punto-de-definicion-significado/gmx-niv15-con193662.htm>