

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN COMPROBADOR DE INYECTORES
PARA EL MOTOR PT6 PARA EL LABORATORIO DE MOTORES
DEL ITSA**

POR:

ALEJANDRO DAVID PROAÑO CHILCAÑAR

Trabajo de Graduación como requisito previo para la obtención del Título

de:

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
MOTORES**

2011

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. ALEJANDRO DAVID PROAÑO CHILCAÑAR, como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES.

SGOS. TÉC. AVC. LCDO. EDISON MOLINA
DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADO

Latacunga Agosto, 26, 2011

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
Carátula.....	I
Certificación.....	II
Índice de Contenidos.....	III
Listado de Tablas.....	VIII
Listado de Figuras.....	IX
Listado de Anexos.....	X

CAPÍTULO I
IMPLEMENTACIÓN DE UN COMPROBADOR DE INYECTORES PARA EL
MOTOR PT6 PARA EL LABORATORIO DE MOTORES DEL ITSA

1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Alcance.....	5

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción.....	6
2.2 Fundamentación teórica.....	6
2.2.1 Motores a reacción o turborreactores.....	6
2.2.1.1 Funcionamiento.....	7
2.2.1.2 Componentes principales.....	8
2.2.1.3 Tipos.....	10
2.2.2 Motores turbohélice.....	13
2.2.2.1 Características.....	13
2.2.2.2 Funcionamiento.....	14
2.2.2.3 Componentes principales.....	15

2.2.2.4 Tipos.....	16
2.2.3 Motor turbohélice PT6A.....	16
2.2.3.1 Descripción y operación.....	16
2.2.3.2 Información del motor.....	19
2.2.3.3 Componentes principales del motor PT6A.....	20
2.2.4 Sistemas del motor PT6.....	23
2.2.4.1 Sistema de aire.....	23
2.2.4.2 Sistema de lubricación.....	24
2.2.4.3 Sistema de ignición.....	28
2.2.5 Sistema de combustible del motor PT6.....	29
2.2.6 Componentes principales del sistema de combustible del motor PT6.....	31
2.2.6.1 Calentador de combustible.....	31
2.2.6.2 Bomba de combustible.....	32
2.2.6.3 Unidad de control de combustible.....	33
2.2.6.4 Líneas de combustible.....	36
2.2.6.5 Divisor de flujo y válvula de botado.....	36
2.2.6.6 Válvulas de drenaje de combustible.....	38
2.2.6.7 Múltiple de combustible y atomizadores.....	38
2.2.7 Combustible.....	41
2.2.8 Combustible de aviación.....	42
2.2.9 Combustible de jet.....	43

2.2.10 Comprobador.....	44
2.2.11 Acero galvanizado.....	45

CAPÍTULO III CONSTRUCCIÓN

3.1 Preliminares.....	47
3.2 Planteamiento y estudio de alternativas.....	47
3.2.1 Selección de la mejor alternativa.....	49
3.3 Construcción del comprobador de inyectores para el motor PT6.....	50
3.3.1 Materiales usados en la construcción.....	50
3.3.1.1 Tubo de acero galvanizado ASTM A53.....	50
3.3.1.2 Válvula reguladora de presión neumática.....	51
3.3.1.3 Manómetro.....	52
3.3.1.3.1 Manómetros de tubo de Bourdon.....	53
3.3.1.3.2 Manómetros de fuelle.....	53
3.3.1.4 Filtro.....	54
3.3.1.5 Plancha metálica.....	55
3.3.1.6 Tuberías y conexiones.....	55
3.3.1.7 Suelda.....	55
3.3.2 Descripción del comprobador de inyectores.....	57
3.3.3 Partes del comprobador de inyectores.....	58

3.3.4 Orden de construcción.....	58
3.3.4.1 Construcción del reservorio.....	59
3.3.4.2 Ubicación de conexiones neumáticas y de combustible...	63
3.3.4.3 Construcción de la base del comprobador.....	65
3.3.4.4 Ensamblado y pintura.....	66
3.4 Codificación de máquinas herramientas y materiales.....	67
3.5 Diagrama de proceso.....	69
3.6 Pruebas de operación y análisis de resultados.....	73
3.7 Elaboración de manuales.....	75
3.7.1 Descripción y codificación de manuales.....	75
3.7.2 Manual de seguridad.....	76
3.7.3 Manual de operación.....	79
3.7.4 Manual de mantenimiento.....	83
3.8 Presupuesto.....	85
3.8.1 Rubros.....	85
3.8.1.1 Detalle de costos.....	85

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....	88
4.2 Recomendaciones.....	89

Glosario de Términos.....	90
Bibliografía.....	91
Anexos.....	92

LISTADO DE TABLAS

CAPÍTULO II

Tabla N° 1: Tipos de motores a reacción.....	10
Tabla N° 2: Especificaciones del motor PT6A (Día estándar - A nivel del mar)...	19
Tabla N° 3: Particularidades sobresalientes del motor PT6A.....	19
Tabla N° 4: Especificaciones del combustible Jet A y Jet A-1.....	44

CAPÍTULO III

Tabla N° 5: Material de construcción del reservorio.....	51
Tabla N° 6: Herramientas principales.....	59
Tabla N° 7: Codificación de Máquinas.....	67
Tabla N° 8: Codificación de Herramientas.....	68
Tabla N° 9: Codificación de materiales.....	68
Tabla N° 10: Especificaciones de construcción y montaje.....	68
Tabla N° 11: Simbología de los Diagramas de Proceso.....	69
Tabla N° 12: Costo primario.....	85
Tabla N° 13: Maquinaria, Herramienta y Equipos.....	86

Tabla N° 14: Mano de obra.....	86
Tabla N° 15: Costos secundarios.....	87
Tabla N° 16: Costos total del proyecto.....	87

LISTADO DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura N° 1: Componentes principales de un motor a reacción.....	10
Figura N° 2: Componentes principales de un motor Turbohélice.....	15
Figura N° 3: Motor seccionado PT6A.....	18
Figura N° 4: Sección longitudinal del motor.....	22
Figura N° 5: Flujo De Aire.....	24
Figura N° 6: Diagrama esquemático del sistema de lubricación.....	27
Figura N° 7: Sistema de ignición por bujías.....	28
Figura N° 8: Sistema de ignición por calentadores.....	29
Figura N° 9: Diagrama esquemático del sistema de combustible.....	30
Figura N° 10: Calentador de combustible.....	32
Figura N° 11: Bomba de aceite.....	33
Figura N° 12: Unidad de control de combustible.....	35
Figura N° 13: Divisor de flujo y válvula de botado.....	37
Figura N° 14: Válvulas de drenaje de combustible.....	38
Figura N° 15: Atomizadores de combustible.....	40
Figura N° 16: Conjunto del múltiple de combustible - Sección transversal...	40

CAPÍTULO III

Figura N° 17: Comprobador Inyectores Pratt & Whitney.....	48
Figura N° 18: Regulador de presión.....	52
Figura N° 19: Manómetro de tubo de Bourdon.....	53
Figura N° 20: Manómetro de fuelle.....	53
Figura N° 21: Filtro de combustible.....	54
Figura N° 22: Soldadura de arco.....	56
Figura N° 23: Área de soldado.....	57
Figura N° 24: Reservorio 1.....	62
Figura N° 25: Reservorio 2.....	63
Figura N° 26: Conexiones de sistema neumático y de combustible.....	64
Figura N° 27: Tol al frio para la base del banco.....	65
Figura N° 28: Comprobador de inyectores concluido (Frente).....	66
Figura N° 29: Comprobador de inyectores concluido (costado).....	67
Figura N° 30: Comprobador de inyectores Probado.....	74
Figura N° 31: Descripción del comprobador de inyectores.....	80

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A: Anteproyecto Del Trabajo De Graduación.....	93
Anexo B: Planos De Construcción Del Reservorio De Combustible.....	119
Anexo C: Fotografías De Construcción Del Comprobador De Inyectores.....	120

Anexo D: Fotografías De Comprobador De Inyectores Pratt & Whitney.....	124
Anexo E: Manual De Mantenimiento Del Motor PT6 ATA 73 – 10 – 05.....	125

Resumen

El siguiente trabajo contiene el proceso según el cual se desarrolló la construcción de un Banco de Comprobación de inyectores de Combustible, específicamente para el motor PT6 para el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA).

Además consta de un análisis económico del costo total e individual de cada uno de los elementos y materiales utilizados en el desarrollo del proyecto, así como de las herramientas, equipos y demás ítems que fueron necesarios para el desarrollo del proyecto.

Este proyecto es creado con el afán de que todos los estudiantes del Instituto puedan tener una fuente de acceso didáctico en lo que se refiere al estudio de cómo se realizan las labores de inspección de los inyectores, debido a que esta tarea se la realiza de forma periódica en el motor PT6, el cual se lo encuentra en el mercado nacional con mucha frecuencia debido a su uso en aeronaves de mediano rango; adicionalmente esta labor se la debe desempeñar con mucha destreza, ya que es considerada como una tarea principal en el mantenimiento aeronáutico; adicionalmente esta maqueta permitirá que los estudiantes desarrollen una destreza adicional referente al manejo de equipos de este tipo.

Summary

The following project contains the process which was developed the construction of a fuel nozzle tester for the ITSA.

The project also consist of an economic analysis of the total cost and place mat of every one of the elements and materials used in the development of the project, as well as of the tools, equipment and other items that were necessary for the development of the project.

This project is created with the aim that all students of the Institute can be a source of educational access in regard to the study of how to perform the inspection work of the injectors, because this task was performed periodically on an PT6 motor, which is found in the market very often due to their use in medium-range aircraft, in addition to this work must be improved with great skill, as it is considered a major task in maintaining aircraft, in addition this model will allow students to develop additional skills concerning the management of such teams

CAPÍTULO I

IMPLEMENTACIÓN DE UN COMPROBADOR DE INYECTORES PARA EL MOTOR PT6 PARA EL LABORATORIO DE MOTORES DEL ITSA

1.1 Antecedentes

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA) es una institución creada para la formación de profesionales capacitados para el ámbito laboral del medio aeronáutico de nuestro país; por tal razón este centro de formación se encuentra en permanente desarrollo, manteniéndose a la vanguardia con los avances tecnológicos que la industria aeronáutica presenta.

La institución cuenta con varios equipos de instrucción como maquetas, bancos de prueba, soportes, entre otros; además de poseer motores usados en la industria aeronáutica para la instrucción del alumnado. Sin embargo para que el proceso de enseñanza aprendizaje incremente su alcance es necesario implementar nuevos equipos precisos para desempeñar tareas de mantenimiento requeridas en el campo laboral.

A pesar de que el adiestramiento practico en los motores es satisfactorio no está por demás que este sea mejorado; tal es el caso del entrenamiento practico desarrollado en los motores PT6, en el cual se puede desarrollar aun mas las destrezas de los futuros tecnólogos.

Una vez analizada la investigación realizada con anterioridad al desarrollo del presente proyecto se pudo concluir que para obtener un desempeño eficaz de los estudiantes en el ámbito laboral, es muy importante la utilización de equipos de instrucción, esto se lo puede lograr implementando un comprobador de inyectores para el motor antes mencionado. (Ver Anexo A)

La implementación del comprobador de inyectores permitirá efectuar inspecciones y labores de mantenimiento para los inyectores del motor PT6 como parte del entrenamiento del alumno, mejorando su desempeño en el campo laboral; así mismo, esto permitirá que se encuentren más familiarizados con las labores de inspección y el uso de herramientas especiales las cuales son usadas de forma habitual en la industria aeronáutica.

1.2 Justificación

Al no existir un equipo apropiado para el chequeo de los inyectores del motor PT6A del laboratorio de motores, y para la instrucción de los estudiantes de una forma correcta se ha visto que es necesaria y prioritaria la construcción de un comprobador de inyectores para el motor PT6A, ya que ayudará a mejorar el desempeño tanto de los alumnos, como del personal docente. Brindándoles la herramienta necesaria para el desarrollo de sus prácticas.

También la construcción de este comprobador servirá como una guía de instrucción para mostrar los procedimientos a seguir en las labores de inspección y mantenimiento, las cuales pueden ser llevadas a cabo en el comprobador.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Construir e implementar un comprobador de inyectores del motor PT6 para facilitar el entrenamiento de los alumnos de la carrera de mecánica aeronáutica mención motores del ITSA.

1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar información como base sustentable para el buen desarrollo del proyecto.
- Construir un comprobador para el chequeo del funcionamiento de los inyectores del motor PT6.

- Demostrar el correcto funcionamiento del comprobador para la inspección de los inyectores del motor PT6.
- Elaborar manuales de operación, mantenimiento y seguridad del comprobador de inyectores

1.4 Alcance

Mediante la implementación de este comprobador de inyectores los alumnos de la carrera de mecánica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico que realicen sus prácticas en el motor PT6 podrán dar un diagnóstico del estado de funcionamiento de los inyectores para así poder desarrollar sus destrezas en cuanto a actividades de inspección.

Además servirá a todas las personas que estén interesadas en este trabajo de grado o en su información. El comprobador además permitirá tener un modelo básico en lo que respecta a chequeos operacionales de los inyectores de combustible.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

El presente capítulo muestra la información necesaria para una correcta comprensión de los conceptos que se utilizaron para la construcción de todas las partes que conforman el comprobador de inyectores, se incluye en este capítulo un extracto generalizado de la información del motor PT6 y de sus sistemas así como de conceptos introductorios a los motores que permiten asimilar fácilmente toda la información perteneciente al desarrollo de este proyecto. Cabe mencionar que para el desarrollo de esta construcción se empleó manuales de mantenimiento usados en aviación otorgando un gran aporte de material real usado en la industria aeronáutica.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Motores a reacción o turboreactores¹

Un motor de reacción, reactor o jet (del inglés jet engine), es un tipo de motor que descarga un chorro de fluido a gran velocidad para generar un empuje de acuerdo a la tercera ley de Newton. Esta definición generalizada del motor a reacción incluye turboreactores, Turbofan, cohetes y estator reactores pero, en su uso común, el término se refiere generalmente a una turbina de gas utilizada para producir un chorro de gases para propósitos de propulsión.

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_reacci%C3%B3n

2.2.1.1 Funcionamiento

Un motor de turboreactor es un tipo de motor de combustión interna utilizado a menudo para impulsar una aeronave. El aire es arrastrado a un compresor rotatorio a través de la toma de aire y es comprimido, durante varias etapas sucesivas, a alta presión antes de entrar en la cámara de combustión. El combustible es mezclado con el aire comprimido e inflamado. Este proceso de combustión aumenta considerablemente la temperatura del gas. El resultado de la combustión sale para expandirse a través de la turbina, donde se extrae la energía para mover el compresor. Aunque este proceso de expansión reduce tanto la temperatura como la presión del gas, estos se mantienen generalmente superiores a los del medio. El flujo de gas de salida de la turbina se expande a la presión ambiental a través de una tobera de propulsión, produciendo un chorro a altas velocidades. Si la velocidad de este chorro de gases supera a la velocidad del avión, entonces hay un empuje neto hacia delante.

Bajo condiciones normales, la acción de bomba del compresor asegura cualquier retroceso del flujo, consiguiendo así un proceso continuo en el motor. De hecho, el proceso completo es similar al ciclo de cuatro tiempos, pero donde la admisión, compresión, ignición, expansión y salida se realiza simultáneamente, pero en distintas secciones del motor. La eficiencia de un motor a reacción depende fuertemente de la relación de presiones y la temperatura de la turbina.

Comparando el turboreactor con el motor convencional a hélice, el primero toma una cantidad relativamente pequeña de masa de aire y la acelera considerablemente, mientras que una hélice utiliza una masa de aire grande y la acelera sólo una pequeña parte. La salida de gases a altas velocidades de un turboreactor lo hace eficaz a velocidades altas, especialmente a las supersónicas, y a altitudes elevadas. En aviones más lentos y aquellos que sólo realicen vuelos cortos, una turbina de gas propulsada por una hélice, conocido como turbopropulsor, es más común y eficiente.

El diseño de turboreactor más simple es de una sola bobina, en el que un único eje conecta la turbina al compresor. Para diseños con relaciones de presión

más altas suelen tener dos ejes concéntricos, mejorando la estabilidad del compresor. El eje de alta presión conecta el compresor y turbina de alta presión. Esta bobina externa de alta presión, con la cámara de combustión, forma el núcleo o generador del motor. El eje interno conecta el compresor de baja presión con la turbina de baja presión. Ambas bobinas pueden funcionar libremente para conseguir velocidades óptimas, como en aviones supersónicos como el Concorde.

2.2.1.2 Componentes principales

Los componentes principales de un motor a reacción son similares en los diferentes tipos de motor, aunque no todos los tipos contienen todos los componentes. Las principales partes incluyen:

Entrada o toma de aire: Para aviones subsónicos, la entrada de aire hacia el motor a reacción no presenta dificultades especiales, y consiste esencialmente en una apertura que está diseñada para reducir la resistencia como cualquier otro elemento del avión. Sin embargo, el aire que alcanza al compresor de un reactor normal debe viajar a una velocidad inferior a la del sonido, incluso en aviones supersónicos, para mantener una mecánica fluida en el compresor y los álabes de la turbina. A velocidades supersónicas, las ondas de choque que se forman en la entrada de aire reduce la presión en el compresor. Algunas entradas de aire supersónicas utilizan sistemas, como un cono o rampa, para incrementar la presión y hacerlo más eficiente frente a las ondas de choque.

Compresor o ventilador: El compresor está compuesto de varias etapas. Cada etapa consiste en álabes que rotan y estatores que permanecen estacionarios. El aire pasa a través del compresor, incrementando su presión y temperatura. La energía se deriva de la turbina que pasa por el rotor.

Eje: Transporta energía desde la turbina al compresor y funciona a lo largo del motor. Puede haber hasta tres rotores concéntricos, girando a velocidades independientes, funcionando en sendos grupos de turbinas y compresores.

Cámara de combustión: Es el lugar donde se quema continuamente el combustible en el aire comprimido.

Turbina: Actuando como un molino de viento, extrayendo la energía de los gases calientes producidos en la cámara de combustión. Esta energía es utilizada para mover el compresor a través del rotor, ventiladores de derivación, hélices o incluso convertir la energía para utilizarla en otro lugar a través de una caja de accesorios con distintas salidas. El aire relativamente frío puede ser utilizado para refrigerar la cámara de combustión y los álabes de la turbina e impedir que se fundan.

Tobera o salida: los gases calientes dejan el motor hacia la atmósfera a través de una tobera, cuyo objetivo es producir un aumento de la velocidad de estos gases. En la mayoría de los casos, la tobera es convergente o de área de flujo fija.

Tobera supersónica: si la relación de presión de la tobera (la división entre presión de entrada de la tobera y la presión ambiente) es muy alta, para maximizar el empuje puede ser eficaz, a pesar del incremento de peso, utilizar una tobera convergente-divergente o de Laval. Este tipo de tobera es inicialmente convergente, pero más allá de la garganta (la zona más estrecha), empieza a incrementar su área en la parte divergente.

La optimización de un motor depende de muchos factores incluyendo el diseño de la toma de aire, el tamaño total, el número de etapas del compresor, el tipo de combustible, el número de etapas de salida, los materiales de los componentes, la cantidad de aire derivada en los casos donde se haga uso de derivación de aire, etc.

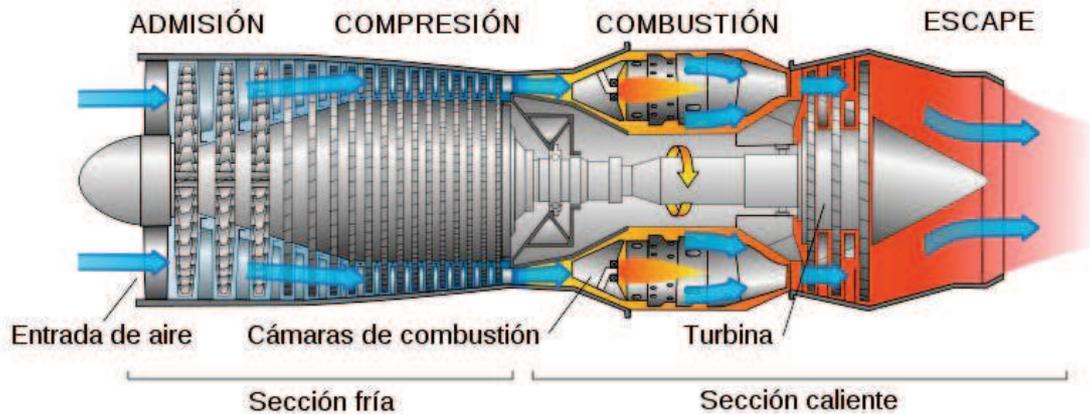


Figura N° 1: Componentes principales de un motor a reacción.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_reacci%C3%B3n

2.2.1.3 Tipos

Existe una gran cantidad de diferentes tipos de motores a reacción, en los que todos obtienen propulsión mediante la expulsión de gases a altas velocidades.

Tabla N° 1: Tipos de motores a reacción

Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
Turborreactor	Término genérico para un motor de turbina sencillo.	Simplicidad del diseño, eficiente a velocidades supersónicas (~Mach 2).	Diseño básico, sin mejorar en rendimiento y potencia en vuelo subsónico, relativamente ruidoso.
Turbohélice	Estrictamente no es un reactor completo: una turbina de gas es utilizada como planta motriz para mover una hélice o eje en caso de un helicóptero.	Muy eficiente a velocidades subsónicas bajas (alrededor de 400-500 km/h).	Velocidad máxima limitada en aviones, algo ruidoso, transmisión compleja.

Turbofan	La primera etapa del compresor muy aumentada para proporcionar un flujo de aire derivado alrededor del núcleo del motor.	Más silencioso debido a su mayor masa de flujo y menor velocidad total de salida, más eficiente para diversas velocidades subsónicas, temperatura más baja de los gases de salida.	Mayor complejidad (múltiples conductos), diámetro del motor grande, necesidad de contener álabes pesados. Más expuesto a daños por objetos externos y hielo. La velocidad máxima está limitada debido a la posibilidad de ondas de choque que dañen el motor. La forma más común de reactor en el 2007, utilizado por aviones de línea como el Boeing 747 y aviones militares.
Estatorreactor (<i>ramjet</i> en inglés)	El aire de entrada es comprimido completamente por la velocidad y su forma divergente.	Muy pocas partes móviles, alcanza velocidades de Mach 0,8 a 5 o más, eficiente a alta velocidad (Mach 2,0 o mayor), el motor a reacción de entrada de aire más ligero con relaciones de empuje-peso de hasta 30 a velocidades óptimas.	Debe tener una velocidad inicial alta para su funcionamiento, ineficiente a velocidades bajas debido a su baja relación de compresión, generalmente con una limitada variación de velocidades, el flujo en las tomas de aire debe ser reducido a velocidades subsónicas, ruidoso, relativamente difícil de probar.
Propfan	Motor turbopropulsor que mueve una o más hélices. Similar a un Turbofan.	Alta eficacia de combustible, potencialmente menos ruidoso, podría liderar el vuelo comercial a alta velocidad, popular durante los años 1980 durante las crisis de combustibles.	El desarrollo de motores Propfan ha estado muy limitado, generalmente más ruidoso que los Turbofan, complejo.

Scramjet	Similar a un estatorreactor sin un difusor, el flujo de aire permanece a velocidades supersónicas durante todo el motor.	Pocas partes mecánicas, puede operar a velocidades muy altas (Mach 8 a 15) con buena eficacia.	Aún en fase de desarrollo, necesita de una velocidad inicial muy alta (Mach 6 o más) para funcionar, problemas de refrigeración, relación empuje-peso muy pobre (~2), complejidad aerodinámica muy alta, dificultades en las estructuras.
Pulsorreactor	El aire es comprimido y quemado de forma intermitente en lugar de modo continuo. Algunos diseños utilizan válvulas	Diseño muy simple, utilizado comúnmente en aeromodelismo.	Ruidoso, ineficiente (baja relación de compresión), funcionamiento pobre a gran escala, las válvulas en los diseños que las utilizan se desgastan rápidamente.
Motor de detonación de pulso	Similar al pulsorreactor, pero la combustión ocurre como una detonación en lugar de una deflagración, puede necesitar o no válvulas.	Máxima eficiencia teórica del motor	Muy ruidoso, las partes expuestas a una fatiga mecánica extrema, difícil de comenzar la detonación, sin ser práctico para el uso actual.

Fuente: Wikipedia.

Elaborado por: Alejandro Proaño.

2.2.2 Motores turbohélice²

El tipo de motor denominado turbohélice (en inglés: turboprop) tiene montada delante del reactor una hélice propulsada por una segunda turbina, denominada turbina libre, o por etapas adicionales de la turbina que mueve el compresor (tipo eje fijo).

Alrededor de un 90 % de la energía de los gases expandidos se absorbe en la parte de la turbina que mueve la hélice y el 10 % restante se emplea para acelerar el chorro de gases de escape. Esto hace que el chorro solo suponga una pequeña parte del empuje total.

2.2.2.1 Características

Las características y usos del turbohélice son:

1. Alto rendimiento propulsivo a bajas velocidades, lo cual resulta en cortas carreras de despegue pero que disminuye rápidamente a medida que la velocidad aumenta. El motor es capaz de desarrollar alto empuje a bajas velocidades porque la hélice puede acelerar grandes cantidades de aire a partir de velocidad 0 hacia delante del avión.
2. Tiene un diseño más complicado y es más pesado que un turboreactor.
3. Un consumo específico de combustible más bajo que el turboreactor.
4. Combinación motor y hélice con mayor área frontal lo cual necesita trenes de aterrizaje mayores para los aviones de ala baja, pero que no necesariamente aumenta la resistencia parasitaria.
5. Posibilidad de empuje inverso eficaz.

Estas características demuestran que los motores turbohélices son superiores para despegar con cargas pesadas en pistas de longitud corta y media. Normalmente los turbohélices están limitados en velocidades hasta aproximadamente 500 mph (805 km/h), ya que el rendimiento de la hélice cae

² <http://www.thejetengine.net/wp-content/upload/TURBOHELICES.pdf>

rápidamente con velocidades mayores a causa de la formación de ondas de choque. No obstante, los investigadores en la Hamilton Standard division of United Technologies Corporation y otros están intentando superar, o ampliar esta limitación experimentando con hélices multi-palas de cuerda ancha y diámetro pequeño, que dicen ser más rentables que el Turbofan de gran relación de paso, con un 20 por ciento de reducción en el consumo específico de combustible.

2.2.2.2 Funcionamiento

Mientras que el diseño básico de un turbohélice es similar a un turborreactor puro, principalmente difiere en:

- ▶ Una turbina adicional para arrastrar a la hélice
- ▶ Una disposición de dos conjuntos de rotación
- ▶ Un engranaje reductor para convertir la alta velocidad rotacional de la turbina en una velocidad más moderada para la hélice.

Un turborreactor está diseñado para acelerar una masa de flujo de aire relativamente baja a una alta velocidad de escape, inversamente, un turbohélice está diseñado para acelerar una gran masa de flujo de aire a baja velocidad. Esto como resultado nos da un rendimiento de combustible inmejorable, aunque a costa de la velocidad de vuelo y el ruido en cabina.

El ciclo termodinámico es igual al del reactor puro. En el reactor puro, la propulsión es el resultado de la reacción sobre la masa acelerada, en tanto que en el turbohélice se obtiene por medio de la tracción de la hélice que recibe la energía procedente de la aplicada a la turbina que la mueve. La velocidad de salida de los gases de escape es pues ya muy reducida, porque la energía cinética de los gases en la expansión ha sido captada casi en su totalidad por las turbinas para mover al compresor o compresores y la hélice. Solo un pequeño empuje residual se obtiene en el turborreactor base, procedente de la energía que aún queda en la expansión después de la última turbina, pero este empuje es muy pequeño comparado con la tracción de la hélice.

2.2.2.3 Componentes principales

El motor turbohélice típico puede descomponerse en conjuntos que son:

1. El conjunto de la sección de potencia, que comprende los componentes principales usuales de los motores de turbina de gas (compresor, cámara de combustión, turbina, y la sección de escape).
2. El conjunto de la caja o engranaje del reductor que contiene aquellas secciones peculiares para las configuraciones de turbohélice.
3. El conjunto medidor de torque, usado para indicar la potencia desarrollada por el motor turbohélice. El torque del motor o momento de torsión que es proporcional a los caballos de potencia y se transmite a través del reductor de la hélice.
4. El conjunto de arrastre de accesorios.

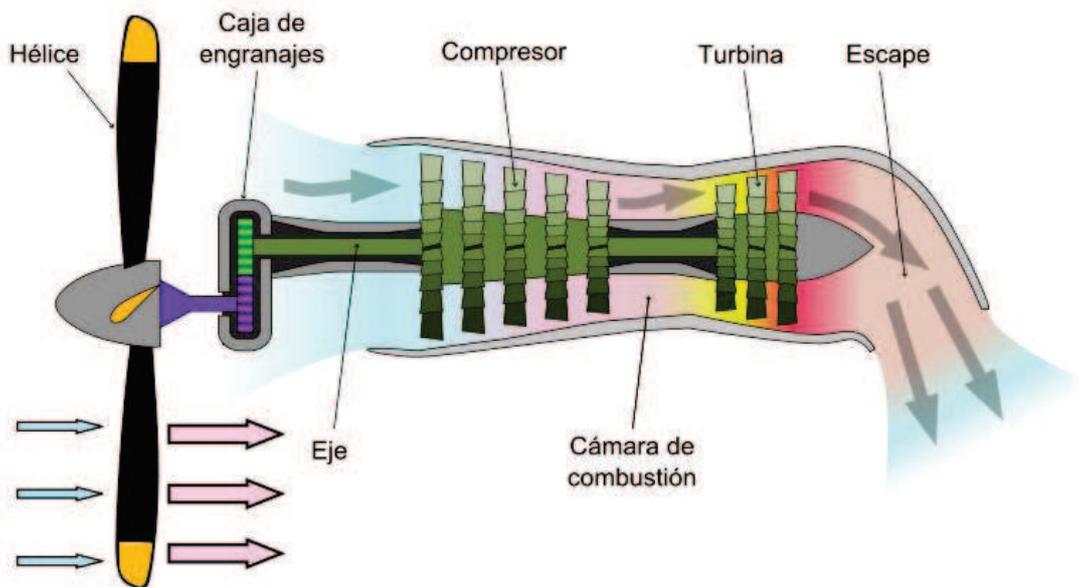


Figura N° 2: Componentes principales de un motor Turbohélice

Fuente: <http://www.thejetengine.net>

2.2.2.4 Tipos

Los turbohélices pueden adoptar diversas configuraciones según el turboreactor básico con el que formen un grupo moto-propulsor. Las configuraciones pueden ser:

- ▶ Turboreactores puros de compresores axiales simples o dobles.
- ▶ Turboreactores puros de compresores centrífugos simples o dobles.
- ▶ Turboreactores puros de compresores mixtos (axiales y centrífugos).

Atendiendo a la forma en que la hélice recibe el movimiento, los turbohélices pueden ser:

- ▶ De turbina libre.
- ▶ De turbina ligada.

2.2.3 Motor turbohélice PT6A³

2.2.3.1 Descripción y operación

El PT6A es un motor ligero de turbina libre. El motor usa dos secciones de turbina independientes: la primera impulsa el compresor en la sección generadora de gases y la segunda impulsa el eje de la hélice por medio de una caja de reducción de engranajes. El motor es autosuficiente a partir de su generador de gases que impulsa el sistema de aceite el cual provee lubricación para todas las aéreas del motor, presión para el medidor de torque y poder para el control de paso de la hélice.

El aire de entrada ingresa al motor a través de una cámara anular, formada por la cubierta de entrada del compresor, en donde este es dirigido hacia el

³ PT6A Training Manual. Pratt & Whitney Canada Corp.

compresor. El compresor consiste de tres etapas axiales combinadas con una sola etapa centrífuga, ensambladas como una sola unidad integral.

Una serie de álabes estatores, localizados entre cada etapa de compresión, ordenan el aire, incrementan su presión estática y lo direccionan hacia la siguiente etapa de compresión. El aire comprimido pasa a través de unos tubos difusores los que giran la dirección del aire noventa grados y convierten su velocidad en presión estática. El aire ordenado entonces pasa a través de unos álabes rectos hacia la periferia de la cámara, la cámara de combustión y la carcasa del generador de gases.

La cámara de combustión consiste de una fundición anular la cual tiene perforaciones de varios tamaños que permiten la entrada del aire proveniente del compresor. El flujo de aire cambia de dirección en 180 grados conforme este ingresa y se mezcla con el combustible. La mezcla de aire/combustible es encendida y la resultante expansión de gases son dirigidos hacia las turbinas. La ubicación de la cámara elimina la necesidad de un eje largo entre el compresor y la turbina del compresor, esto a su vez reduce el largo total y el peso del motor.

El combustible es inyectado dentro de la cámara de combustión por medio de 14 atomizadores tipo simplex ordenados de forma que se facilite el arranque. El combustible se abastece por medio de un múltiple dual que consiste en tubos de transferencia primarios y secundarios y adaptadores. La mezcla de aire/combustible es encendida por medio de dos bujías que sobresalen dentro de la cámara. Los gases resultantes se expanden desde de la cámara, invierten su dirección en la zona del ducto de salida y pasan a través de los álabes guías de entrada de la turbina del compresor hacia la turbina del compresor. Los álabes guía aseguran que los gases en expansión impacten en los álabes de la turbina en el ángulo correcto, con la mínima pérdida de energía. Los gases aún en expansión son entonces dirigidos hacia adelante para impulsar a la turbina de potencia.

Las turbinas de potencia y del compresor están ubicadas aproximadamente en el centro del motor con sus respectivos ejes que se extienden en dirección

opuesta. Esta particularidad permite procedimientos de instalación e inspección simplificados. Los gases de escape provenientes de la turbina de potencia son dirigidos a través de un escape anular hacia la atmosfera por medio de dos puertos de escape opuestos provistos en el ducto de escape.

El abastecimiento de aceite para el motor está contenido en un tanque de aceite integral el cual forma la sección posterior de la carcasa de entrada del compresor. El tanque tiene una capacidad total de 2.3 galones U.S. y está provisto de una varilla medidora de nivel.

El combustible que se abastece al motor desde una fuente externa es además presurizado por una bomba de combustible impulsada por el motor y su flujo hacia el múltiple de combustible está controlado por la unidad de control de combustible (FCU) y una unidad de control de flujo para arranque o un divisor de flujo y una válvula de botado de acuerdo a los requerimientos del modelo del motor.

La turbina de potencia impulsa a la hélice por medio de una caja de engranajes de reducción planetaria de dos etapas ubicada en la parte frontal del motor. La caja de engranajes incorpora un dispositivo medidor de torque integral el cual esta creado para proveer una indicación exacta de potencia del motor.



Figura N° 3: Motor seccionado PT6A

Fuente: <http://www.unitedturbine.com/downloads.html>

2.2.3.2 Información del motor

Las especificaciones del motor y particularidades sobresalientes del mismo están detalladas en las siguientes tablas.

Tabla N° 2: Especificaciones del motor PT6A (Día estándar - A nivel del mar)

CONDICIÓN DE OPERACIÓN	ESHP	SHP	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (lb/eshp/h)
Despegue	580	550	0.630
Continuo máximo	580	550	0.630
Ascenso máximo	580	550	0.630
Crucero máximo	580	550	0.630
Rangos para 2205 RPM de la hélice			

Fuente: Manual de mantenimiento PT6A

Elaborado por: Pratt & Whitney Canada

Tabla N° 3: Particularidades sobresalientes del motor PT6A

PARTICULARIDADES SOBRESALIENTES	
Tipo del motor	Turbina libre
Tipo de cámara de combustión	Anular
Relación de compresión	7.0 : 1
Rotación del eje de la hélice (visto por delante)	Sentido horario
Configuración del eje de la hélice	Bridado
Relación de reducción del eje de la hélice	0.0664 : 1
Diámetro del motor	19.0 in.
Largo del motor	62.0 in.
Consumo de aceite	0.2 lb/h.
Peso seco	328 lb.

Fuente: Manual de mantenimiento PT6A

Elaborado por: Pratt & Whitney Canada

2.2.3.3 Componentes principales del motor PT6A⁴

El motor PT6A está dividido en 2 módulos principales: el generador de gases y la sección de potencia. El motor PT6 consta de los siguientes componentes generales

La caja de accesorios.- Es impulsada por el compresor, esta se encuentra ubicada en la parte posterior del motor, consiste en dos encapsulados de aleación de magnesio, empernados y asegurados a la carcasa de entrada al compresor. Su función es mover a los accesorios del motor y del avión tales como la bomba de combustible y la unidad de control de combustible, el arranque generador, las bombas de aceite de presión y recuperación, el generador tacómetro Ng; además de dar soporte y alojamiento para el filtro de aceite, el medidor de nivel de aceite la bomba de presión de aceite y la válvula reguladora de presión de aceite.

El compresor.- consta de 3 etapas axiales mas 1 etapa centrifuga, este se encuentra alojado en la sección posterior de la carcasa del generador de gases y éste es impulsado por la turbina del compresor. El compresor provee el flujo de masa de aire necesario a la presión requerida para mantener la combustión y enfriar los componentes de la sección caliente, además de transmitir la energía rotacional desde la turbina del compresor para impulsar los accesorios montados en la caja de accesorios

La cámara de combustión.- está contenida en la sección frontal de la carcasa del generador de gases, es de tipo anular, de flujo invertido (acorta el motor), provee un área para la combustión de la mezcla aire combustible. El aire proveniente del compresor es dirigido desde la sección difusora y éste se descarga dentro de la sección de combustión; el aire ingresa a través de perforaciones de varios diámetros, mezclándose con el combustible, esta mezcla es encendida. Los gases en expansión fluyen hacia atrás y dentro de la zona los ductos de salida en la cual el flujo de gases gira en 180° hacia la parte interior

⁴ Pratt & Whitney Canada, Maintenance Manual.

para fluir hacia adelante hasta los álabes guías de entrada a la turbina del compresor y a la turbina del compresor.

Turbinas.- El motor incorpora dos turbinas, una para la sección del compresor y otra para la sección de potencia. La turbina del compresor está adjunta a la parte frontal del eje del compresor; mientras que la turbina de potencia está adherida al conjunto del eje de la turbina de potencia, el cual, a su vez, impulsa la caja de engranajes de reducción. Cada turbina está precedida de un conjunto de álabes guías de entrada, el cual dirige el flujo de gases en su turbina respectiva en el ángulo más eficiente posible. Estos álabes guía están provistos de núcleos de pasajes de aire de enfriamiento. La turbina del compresor es de una sola etapa (de rotación anti horaria), recupera la energía de los gases para impulsar al compresor. La turbina de potencia consta igualmente de una etapa de turbina (de rotación horaria), ésta es independiente de la turbina del compresor (turbina libre), extrae energía de los gases para mover a la hélice.

La caja de reducción.- La caja de reducción es una caja de dos etapas planetarias de engranajes de reducción, integra un sistema de aseguramiento de torque de tipo hidromecánico, reduce la velocidad de la turbina de potencia a una velocidad adecuada para la operación de la hélice. Tiene una velocidad del eje de salida nominal de 2200 RPM en potencia de despegue. Los engranajes de reducción y el eje de la hélice, están ubicados en la parte frontal del motor, están alojados en dos cubiertas de aleación de magnesio, y está empernada a la brida delantera del ducto de escape.

Sistema de control del motor.- El sistema de control del motor consta de una hélice de velocidad variable, consta de un sistema de empuje invertido de la hélice y una unidad de control de combustible de tipo hidroneumática.

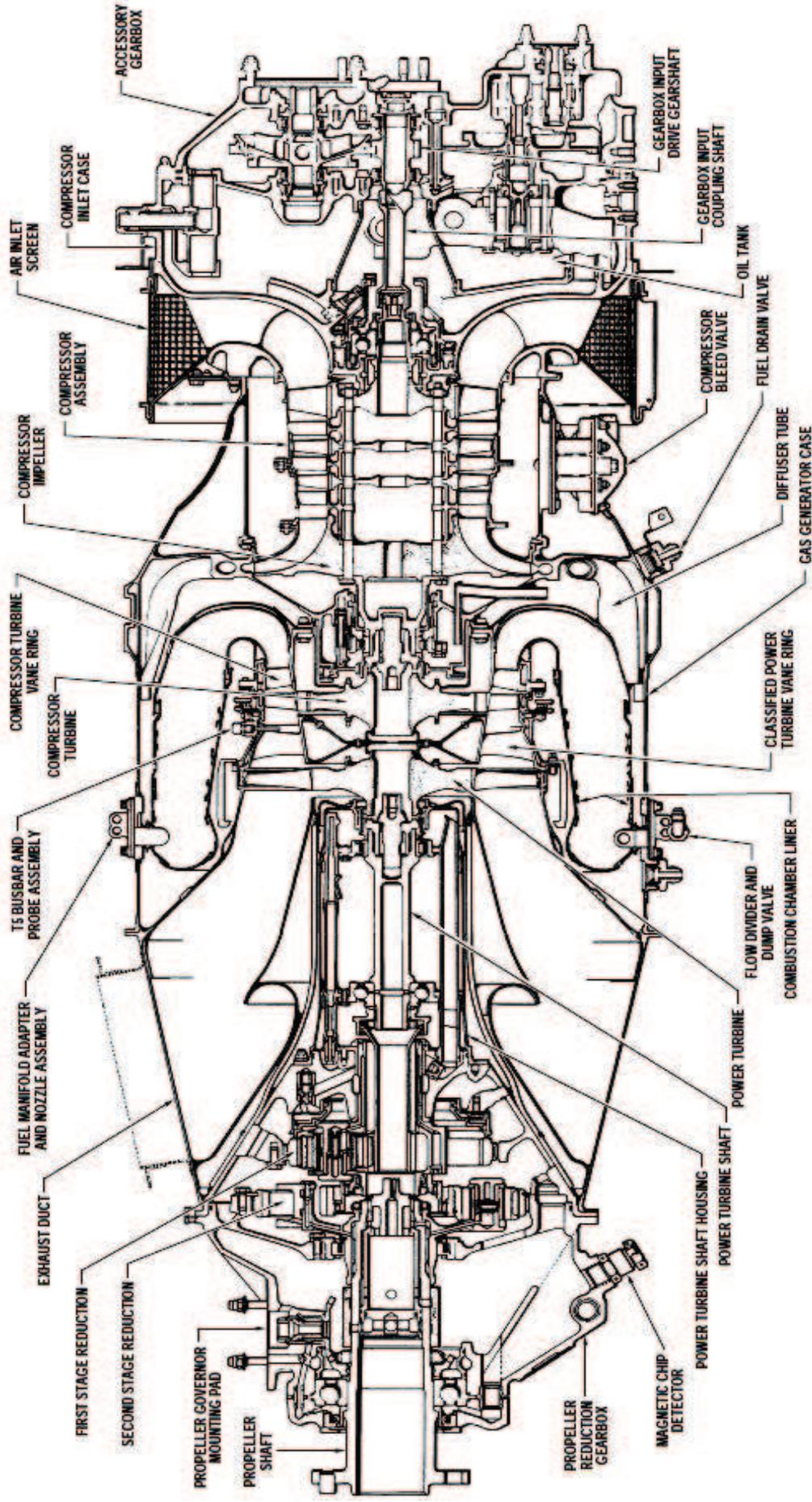


Figura N° 4: Sección longitudinal del motor
Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Mantenimiento

2.2.4 Sistemas del motor PT6⁵

2.2.4.1 Sistema de aire

Tres sistemas de aire separados son suministrados para el motor, un sistema para el sellado del compartimento de los rodamientos, el segundo para refrigeración por aire, y el tercero para la válvula de purga del compresor y los servicios del fuselaje.

Sello de aire en rodamientos.- La presión del aire se utiliza para sellar los compartimientos N° 1, 2 y 3 de los rodamientos y para enfriar el compresor y los discos de potencia de la turbina y los alabes guía de la turbina del compresor. La presión del aire se utiliza en conjunción con sellos de laberinto que se componen de dos partes separadas. Una parte es en forma de una superficie plana de rotación, a veces con ventilación, la otra parte consiste en un sello estacionario circular con profundos surcos anulares. Estas piezas forman un sello de aire cuando se juntan. El juego de funcionamiento entre cada par de piezas giratorias y fijas se mantiene al mínimo. Aire de entre las etapas del compresor, es usado para proporcionar una presión diferencial a través del sello de laberinto situado en frente de los rodamientos.

Refrigeración.- Los discos de turbina del compresor y de potencia son refrigerados por el aire de descarga del compresor de la zona de salida del difusor por la parte baja del conducto de salida. El aire de refrigeración que pasa sobre las caras delantera y trasera del compresor y los discos de potencia de la turbina se disipa en la corriente principal de los gases de escape en las raíces de los alaves. Adicionalmente el flujo de aire circundante al motor refrigera la sección caliente del motor, es decir la periferia de la cámara de combustión.

Válvula de purga del compresor.- La válvula de purga del compresor, ubicada en la carcasa del generador del gas en la posición de las 7, abre automáticamente un puerto en la carcasa del generador de gases para obtener el

⁵ PT6A Maintenance Manual, Pratt & Whitney Canada

aire de entre las etapas del compresor, y previene el stall del compresor. La válvula de purga se mantiene cerrada en altas velocidades del generador de gases

Abastecimiento de aire para servicios del avión.- Un puerto ubicado en el lado izquierdo de la carcasa del generador de gases permite el abastecimiento hacia la aeronave accediendo el uso de la presión de descarga de aire del compresor para servicios de la aeronave (Aire Acondicionado).

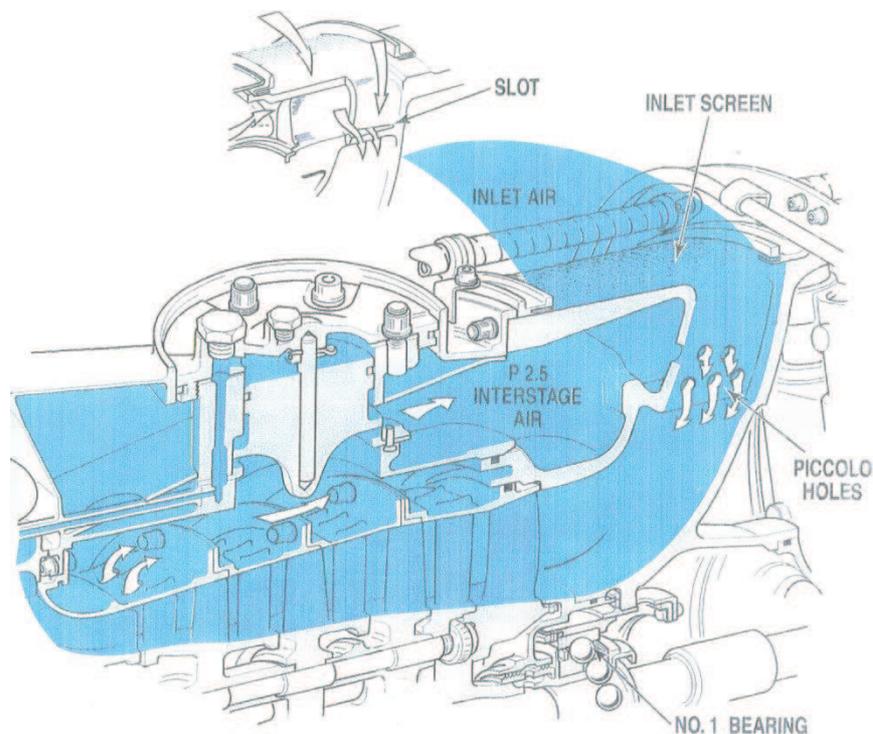


Figura N° 5: Flujo De Aire

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Entrenamiento

2.2.4.2 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación del motor integral contiene un tanque de aceite formada integralmente en la carcasa de la entrada del compresor que proporciona un suministro constante de aceite limpio a los cojinetes del motor, los engranajes de reducción, las unidades de accesorios, torquimetro y el gobernador de la hélice. El aceite lubrica y enfría los cojinetes y lleva las impurezas al filtro de aceite en el que se impide la circulación posterior.

La indicación de aceite se compone de una varilla medidora de cantidad de aceite, que forma parte integrante de la tapa de llenado del depósito de aceite. La caja de engranajes de accesorios proporciona el espacio para la instalación del medidor de temperatura y suministra dispositivos de detección de presión. Un detector de chips se encuentra en la caja reductora para detectar fallas inminentes en los componentes. El sistema consta de un sistema de presión, sistema de recuperación, y un sistema de ventilación.

Sistema de presión de aceite.- El aceite es conducido desde el reservorio de aceite a través de una bomba de engranajes, y es entregado al filtro de aceite y la válvula reguladora de presión. En la salida del filtro, el aceite a presión se separa en varios flujos.

El rodamiento N° 1 y la entrada del eje impulsor de la caja de accesorios, son lubricados con aceite dirigido a través de pasajes y tubos de transferencia. El transmisor de presión de aceite y el bulbo de temperatura de aceite están montados en puertos ubicados en pasajes internos.

Un tubo único ubicado en el fondo del lado derecho del motor, entrega aceite para lubricar los cojinetes N° 2, 3 y 4, la caja de engranajes de reducción, los accesorios frontales y después los sistemas de la hélice y de aseguramiento de torque.

Sistema de recuperación de aceite.- El sistema de recuperación consiste de cuatro bombas de tipo engranajes en dos elementos dobles. Dos bombas están ubicadas dentro de la caja de accesorios mientras que las otras dos están montadas externamente en la parte posterior de la caja de accesorios.

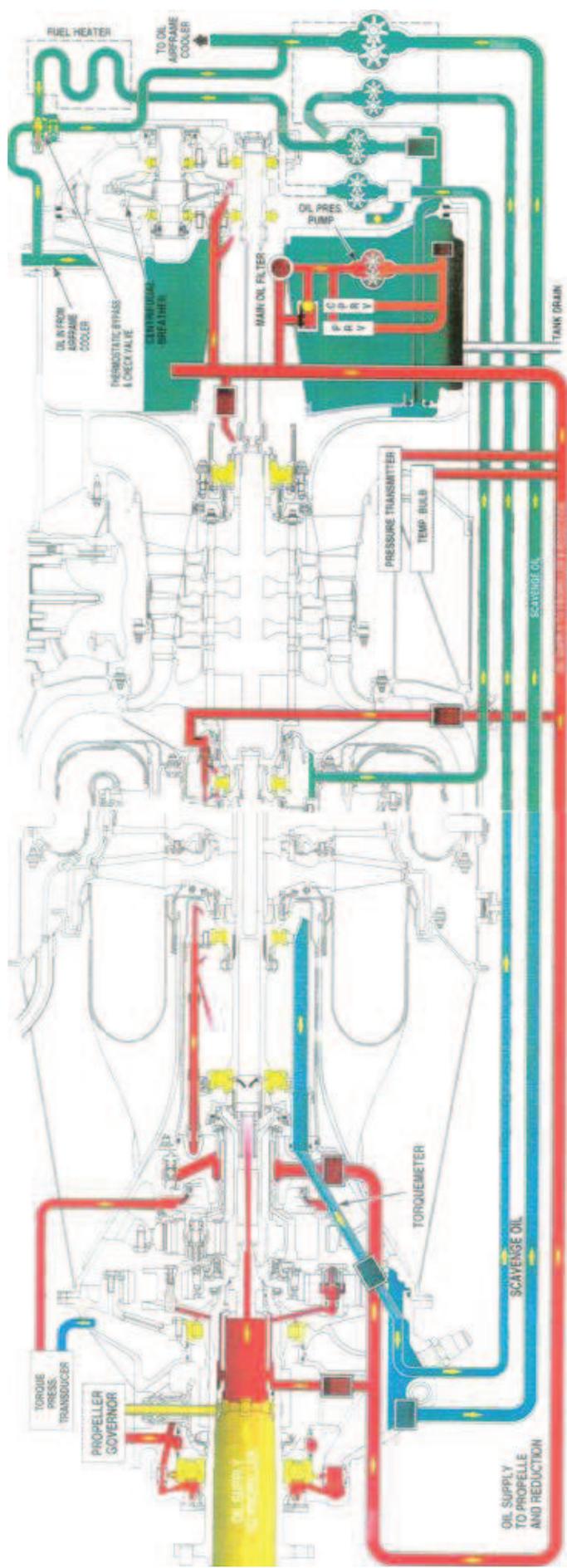
El aceite del rodamiento N° 1 es recuperado dentro de la caja de accesorios por gravedad. El rodamiento N° 2 es recuperado a través de un tubo externo montado por debajo del motor. En alta potencia una válvula de alivio montada en la línea cercana a las bombas de recuperación permite que el aceite/aire de la cavidad del rodamiento dentro de la caja de accesorios, previniendo que la cavidad del rodamiento N° 2 se inunde.

La caja de accesorio recibe aceite del sistema de recuperación de los rodamientos N° 1, 2, 3 y 4. Desde allí, el aceite se rota hacia el calentador de combustible por medio de una bomba de recuperación.

Desde la parte externa del calentador de combustible, el aceite es dirigido hacia la válvula de bypass termostática, dependiendo de la temperatura del aceite, la válvula termostática de bypass direcciona el aceite hacia el tanque de aceite o hacia el radiador de aceite.

El aceite que retorna del radiador de aceite es regresado al reservorio mediante un adaptador anti salpicaduras en la parte superior del reservorio.

El área de recuperación de aceite de los rodamientos N° 3 y 4 dentro de la caja de accesorios es recuperada por medio de una tubería montada en el lado izquierdo del motor. El aceite es recuperado por una de las bombas externas montadas en la parte posterior de la caja de accesorios. La caja de reducción y el sistema de aceite de la hélice son recuperados a través de un tubo externo ubicado al lado del tubo de recuperación de los rodamientos N° 3 y 4. El aceite es bombeado por la segunda bomba de recuperación montada externamente y va directamente hacia el radiador de aceite.



ENGINE LUBRICATION SCHEMATIC

Figura N° 6: Diagrama esquemático del sistema de lubricación

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Entrenamiento

2.2.4.3 Sistema de ignición

Existen dos tipos de sistemas de ignición disponibles para el motor PT6, dependiendo estos de la aplicación específica del modelo del motor relacionado con la aeronave. Cada sistema, es energizado desde el abastecimiento nominal del avión (28 Volt. D.C.), el cual provee al motor con rápidas chispas a cualquier temperatura ambiente.

Una aplicación usa el sistema de bujías (Fig. N° 7). Este sistema consiste en dos bujías, dos cables recubiertos y un excitador de ignición el cual incorpora un circuito de estado sólido.

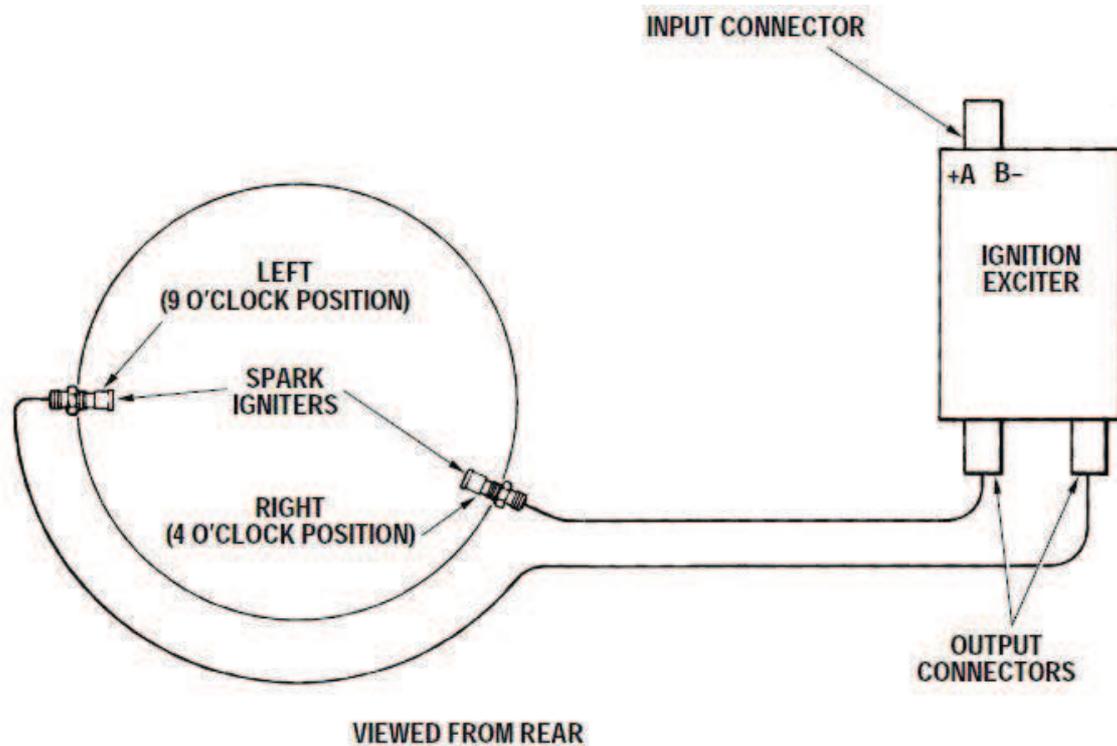


Figura N° 7: Sistema de ignición por bujías

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Mantenimiento

La segunda aplicación usa el sistema de bujías de calentamiento o calentadores (Fig. N° 8). Este sistema consiste en dos bujías de calentamiento, dos cables recubiertos y un regulador de corriente de ignición el cual incorpora un circuito seleccionable de dos posiciones de resistencias.

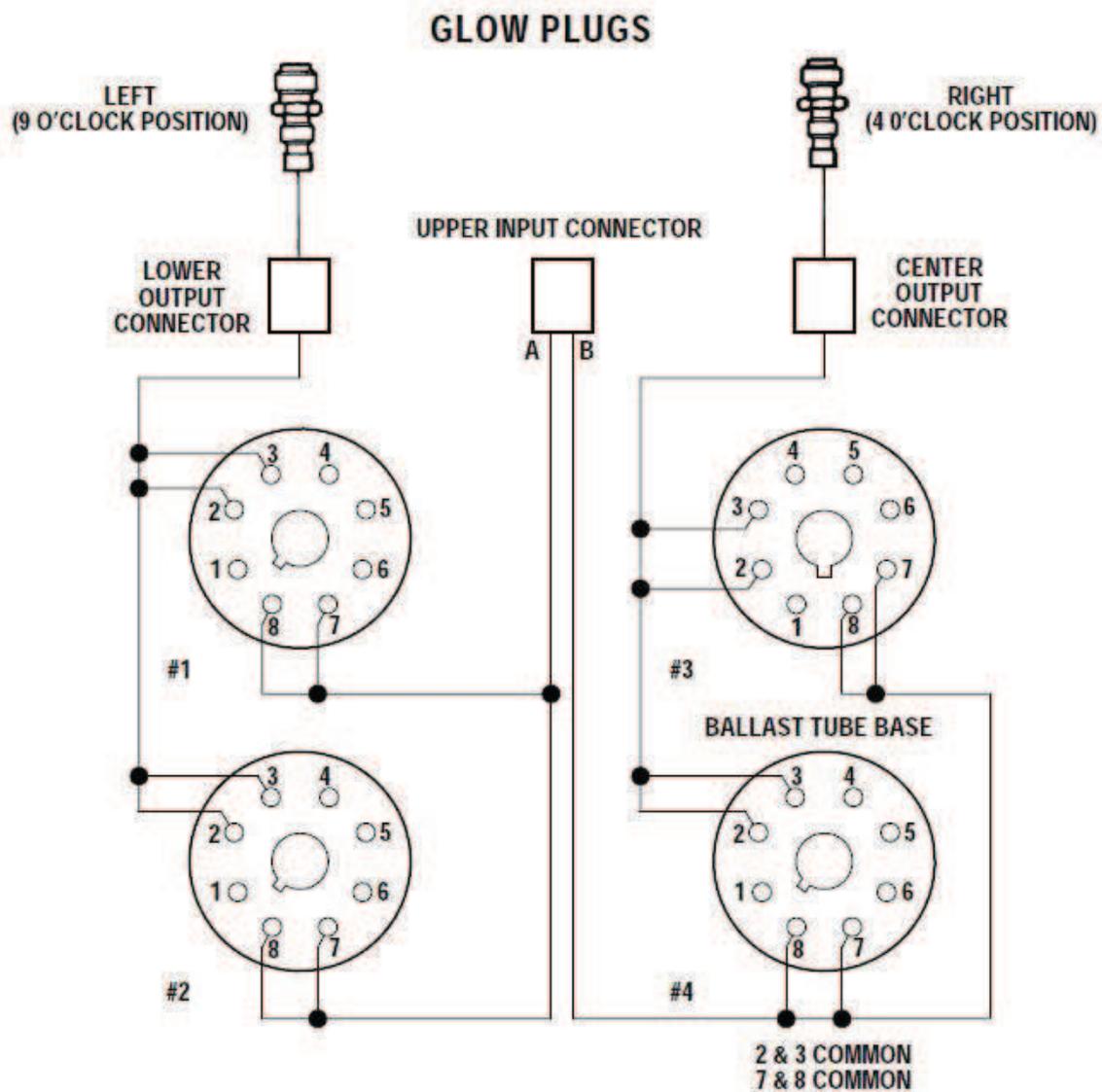


Figura N° 8: Sistema de ignición por calentadores

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Mantenimiento

2.2.5 Sistema de combustible del motor PT6

El sistema de combustible del motor comprende de una bomba de combustible impulsada por el motor; una unidad de control de combustible la cual determina la programación apropiada de combustible para la operación de estado estable y aceleración del motor de acuerdo a la selección de la palanca de potencia; catorce atomizadores de combustible por medio de los cuales el combustible es entregado a la cámara de combustión; una válvula de corte de combustible la cual controla la entrega de combustible hacia el múltiple de

combustible y es operada por la palanca de combustible; un compensador de temperatura el cual modifica la programación de la unidad de control de combustible de acuerdo a las variaciones de temperatura en el aire de entrada del compresor; una válvula de botado automática la cual expelle el combustible residual dentro de un tanque colector después de que el motor se apaga; un mecanismo gobernador de combustible en el gobernador de la hélice el cual limita la velocidad de la hélice en el rango de beta reduciendo el flujo de combustible hacia la unidad de control de combustible, y también limita las RPM en el caso de falla del gobernador de la hélice y el gobernador de sobre velocidad.

El control de sistema de control de combustible del motor se efectúa por medio de un sistema de cables y poleas las cuales conectan a la palanca de potencia y la palanca de combustible con la unidad de control de combustible y la válvula de corte de combustible respectivamente.

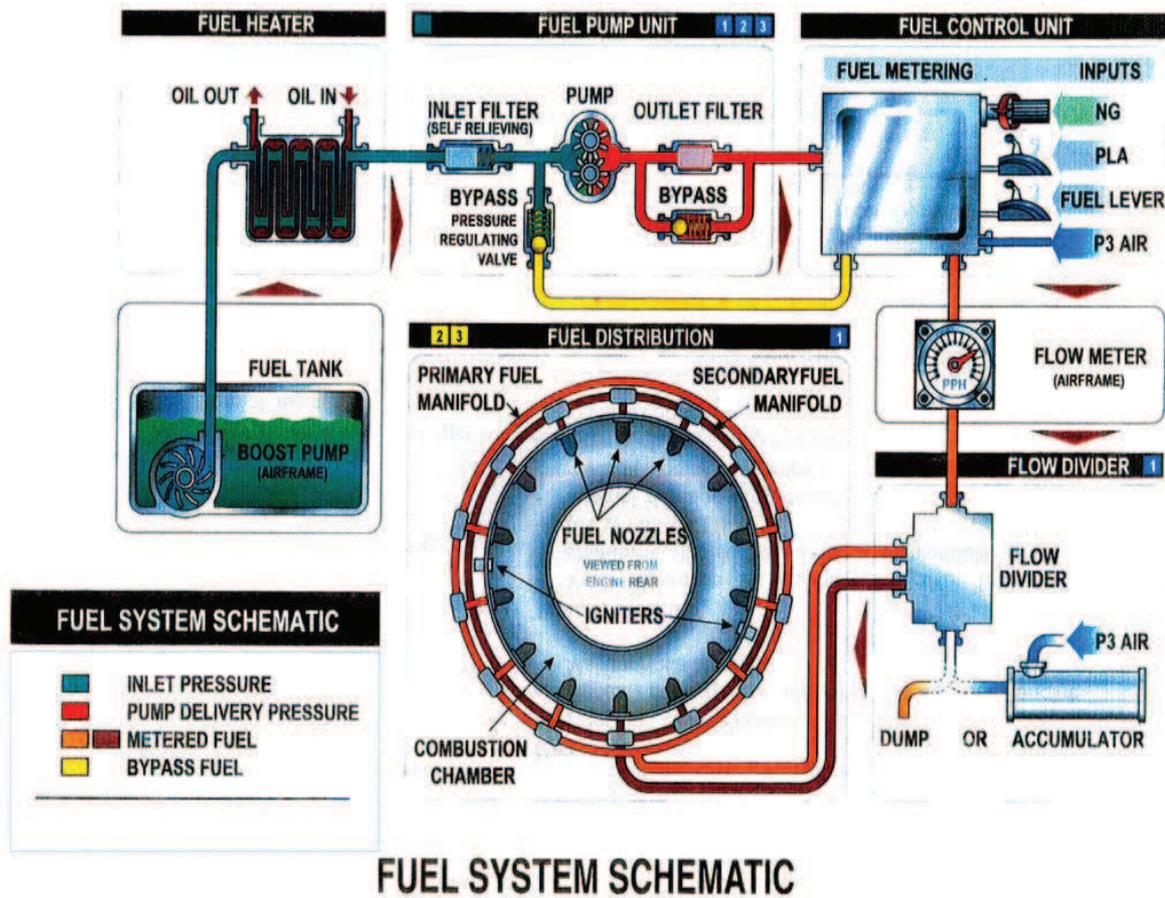


Figura N° 9: Diagrama esquemático del sistema de combustible

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Entrenamiento

2.2.6 Componentes del sistema de combustible del motor PT6

2.2.6.1 Calentador de combustible

El calentador de combustible, está montado en la parte superior de la caja de accesorios en la parte posterior del motor, es esencialmente un intercambiador de temperatura el cual usa calor proveniente del sistema de aceite de lubricación del motor para precalentar el combustible (entre 21 a 32° Celsius) en el sistema de combustible. El calentador de combustible incorpora pasajes de combustible, pasajes de recuperación de aceite y un elemento térmico sensor de temperatura de combustible.

Combustible frio proveniente de las bombas booster del avión ingresa al calentador de combustible y rodea al elemento térmico. El elemento térmico se contrae y permite que el aceite proveniente de la caja de accesorios viaje a través del intercambiador de calor. El calor del aceite se transfiere al combustible y la temperatura del combustible empieza a incrementarse.

A los 21° C el elemento térmico comienza a expandirse y mueve a la válvula hacia la derecha. En esta posición, el aceite que se recupera de la caja de accesorios progresivamente deja de atravesar el núcleo del calentador de combustible y la temperatura del combustible se estabiliza. El resorte ubicado en la parte posterior de la válvula la empuja de regreso hacia la izquierda (posición de calentamiento) cuando la temperatura del combustible baja. Durante la operación, el elemento térmico constantemente reacciona para ajustar la temperatura de salida del combustible.

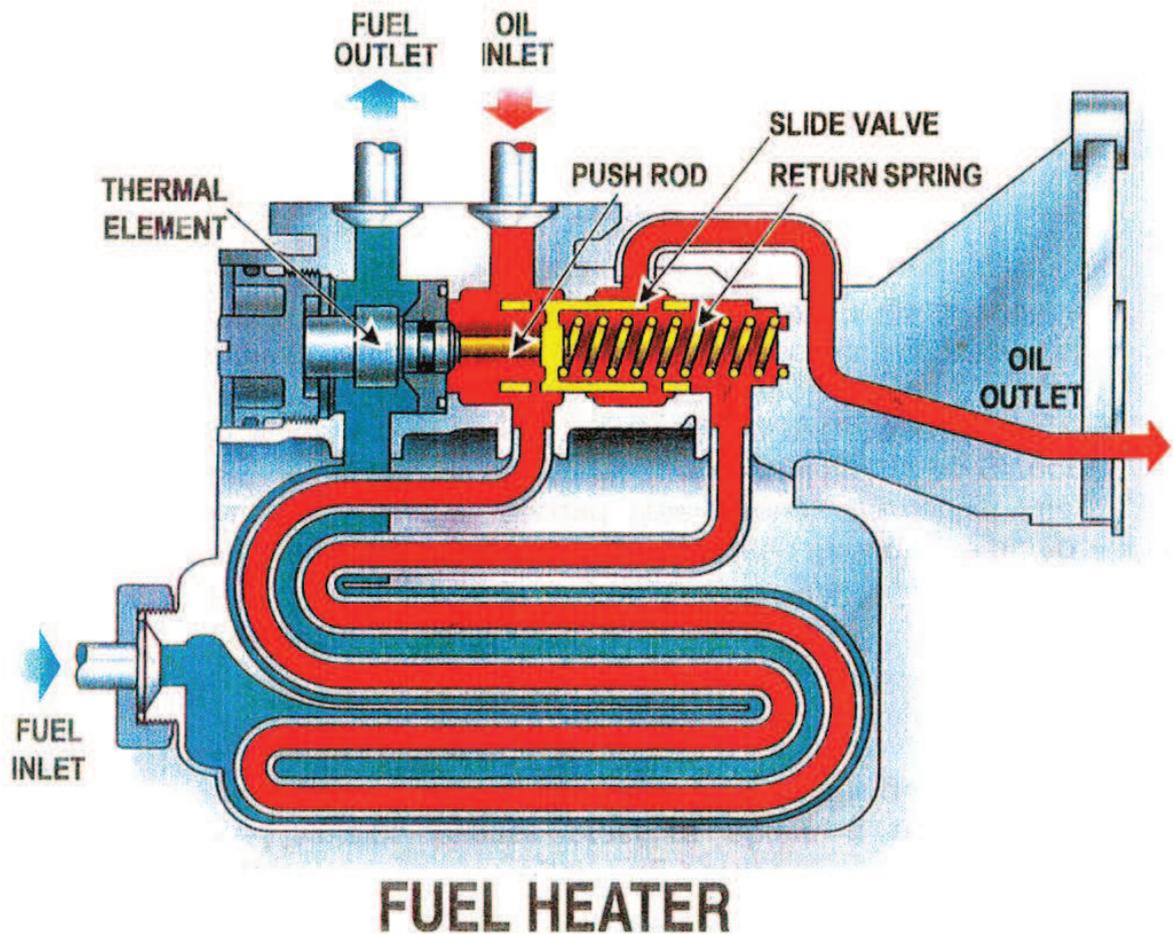


Figura N° 10: Calentador de combustible

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Entrenamiento

2.2.6.2 Bomba de combustible

La bomba de combustible impulsada por el motor es una bomba de desplazamiento positivo de tipo engranajes, montada a la posición de las 2 en la cara posterior de la caja de accesorios. Un acople ranurado se usa para transmitir el impulso del tren de engranajes hacia los engranajes de la bomba; las ranuras del acople están lubricadas por medio de una bruma de aceite proveniente de la caja de accesorios. Otro acople, al otro lado de los engranajes de la bomba, se usa para transmitir una señal de la velocidad hacia la unidad de control de combustible (FCU).

Combustible proveniente del calentador de combustible ingresa al alojamiento de la bomba de combustible pasando a través de un filtro de de entrada, entonces

atraviesa la bomba e incrementa su presión en los engranajes de la bomba. El combustible es filtrado una segunda vez por medio de un filtro de combustible de salida antes de ser entregado a la unidad de control de combustible. Una válvula reguladora de presión tipo bypass está montada en la línea de retorno de bypass del FCU para asegurar que un mínimo de presión se mantenga en los bujes para reducir la fuga de combustible cuando la presión se incrementa.

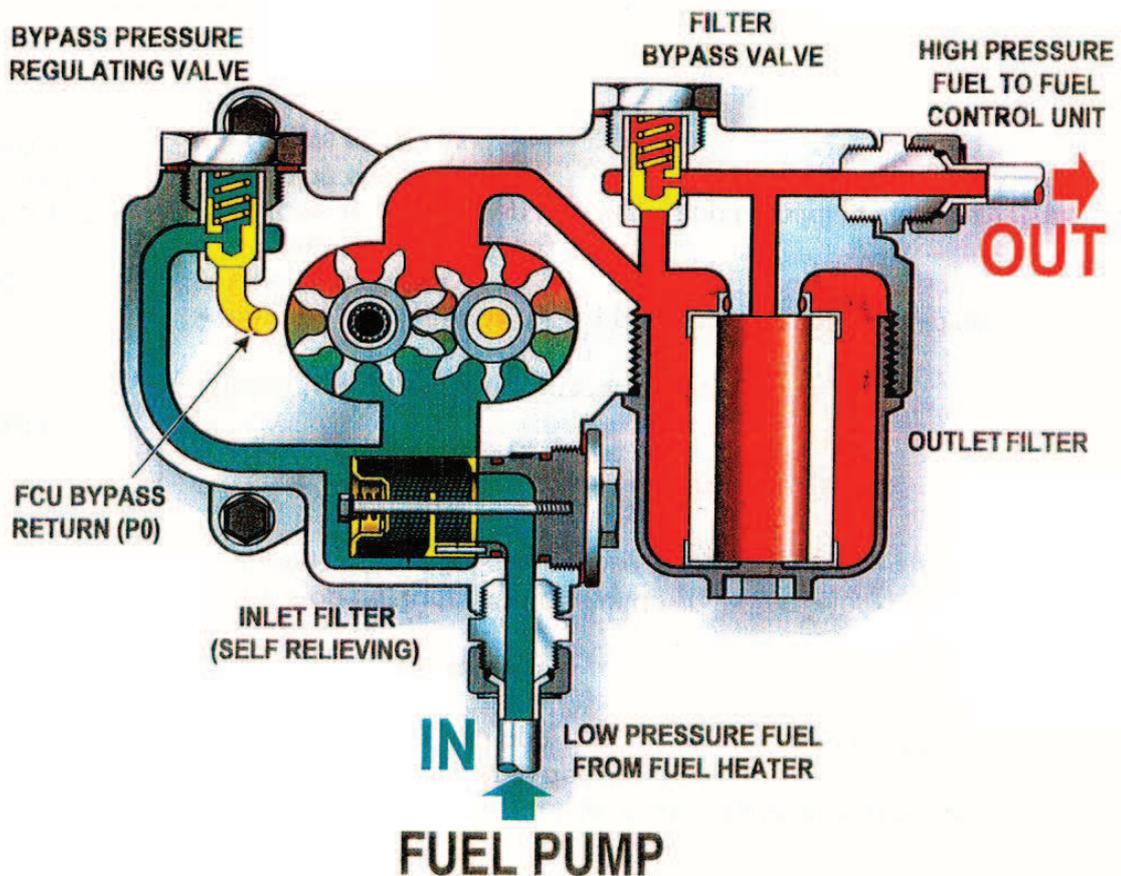


Figura N° 11: Bomba de combustible

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Entrenamiento

2.2.6.3 Unidad de control de combustible

La función principal de la unidad de control de combustible es determinar el flujo de combustible para el motor en respuesta a las siguientes entradas.

- Posición de la palanca de potencia (PLA)
- Presión de descarga del compresor (P3)
- Velocidad del compresor (Ng)

La unidad de control de combustible (FCU) está montada en la parte posterior de la bomba de combustible. Un acople ranurado entre la bomba y la FCU transmite una señal de velocidad, proporcional a la velocidad de la turbina del compresor (N_g), hacia la sección del gobernador en la FCU. La FCU determina la programación del combustible para el motor para proveer la potencia requerida según esta establecido mediante el control de la velocidad del compresor. La salida de la potencia del motor depende directamente de la velocidad de la turbina del compresor. El control de esta velocidad se logra mediante la regulación de la cantidad de combustible hacia la sección de combustión del motor.

La FCU es abastecida con combustible a presión desde la bomba (P1). El flujo de combustible es establecido por una válvula medidora y un sistema de válvula de bypass, con la presión de la bomba el combustible es abastecido hacia la entrada de la válvula medidora. La presión del combustible que se encuentra inmediatamente después de la válvula medidora es llamado combustible medido (P2), el cual fluye hacia la unidad de control de arranque. La válvula de bypass mantiene una presión diferencial de combustible constante esencial ($P1$ menos $P2$) a través de la válvula medidora. El área del orificio de la válvula medidora es cambiada por movimiento de la válvula para conocer los requerimientos del motor específicos, con la salida del combustible ($P1$) en exceso de lo requerido retornada, a través de pasajes internos en la FCU y la bomba, hacia la entrada de la bomba al filtro de entrada. El combustible que se ha conducido por el bypass se lo llama combustible P_o . La válvula bypass consiste en una válvula deslizadora y es actuada por un resorte y un diafragma. En operación, la fuerza del resorte es balanceada por la operación diferencial de $P1$ menos $P2$ en el diafragma. La válvula esta siempre en posición de mantener la diferencia $P1$ menos $P2$, y enviar por el bypass el combustible en exceso de los requerimientos del motor.

Una válvula de alivio de alta presión está incorporada en paralelo con la válvula de bypass para prevenir una excesiva presión $P1$ en la FCU. La válvula está cerrada por medio de un resorte y permanece cerrada hasta que la presión de entrada $P1$ exceda a la fuerza del resorte y abra la válvula hacia P_o . Tan pronto la presión es reducida hasta un valor aceptable, la válvula se cierra.

La válvula medidora consiste de una aguja contorneada operada en una manga, y regulando el flujo de combustible por medio de la variación del área del orificio. El flujo del combustible después de arranque inicial es una función de la posición de la válvula medidora solamente porque la válvula de bypass mantiene una presión diferencial constante esencial a través del orificio sin importar las variaciones de presión o descarga de la entrada del combustible.

Un ajuste externo está provisto en la cubierta del resorte de la válvula de bypass para permitir la variación del rango de aceleración, y la concordancia de aceleración, en las instalaciones de multi-motor.

Variaciones en la gravedad específica del combustible resultante del cambio de temperatura en el combustible son compensadas mediante discos bimetálicos instalados debajo del resorte de la válvula de bypass.

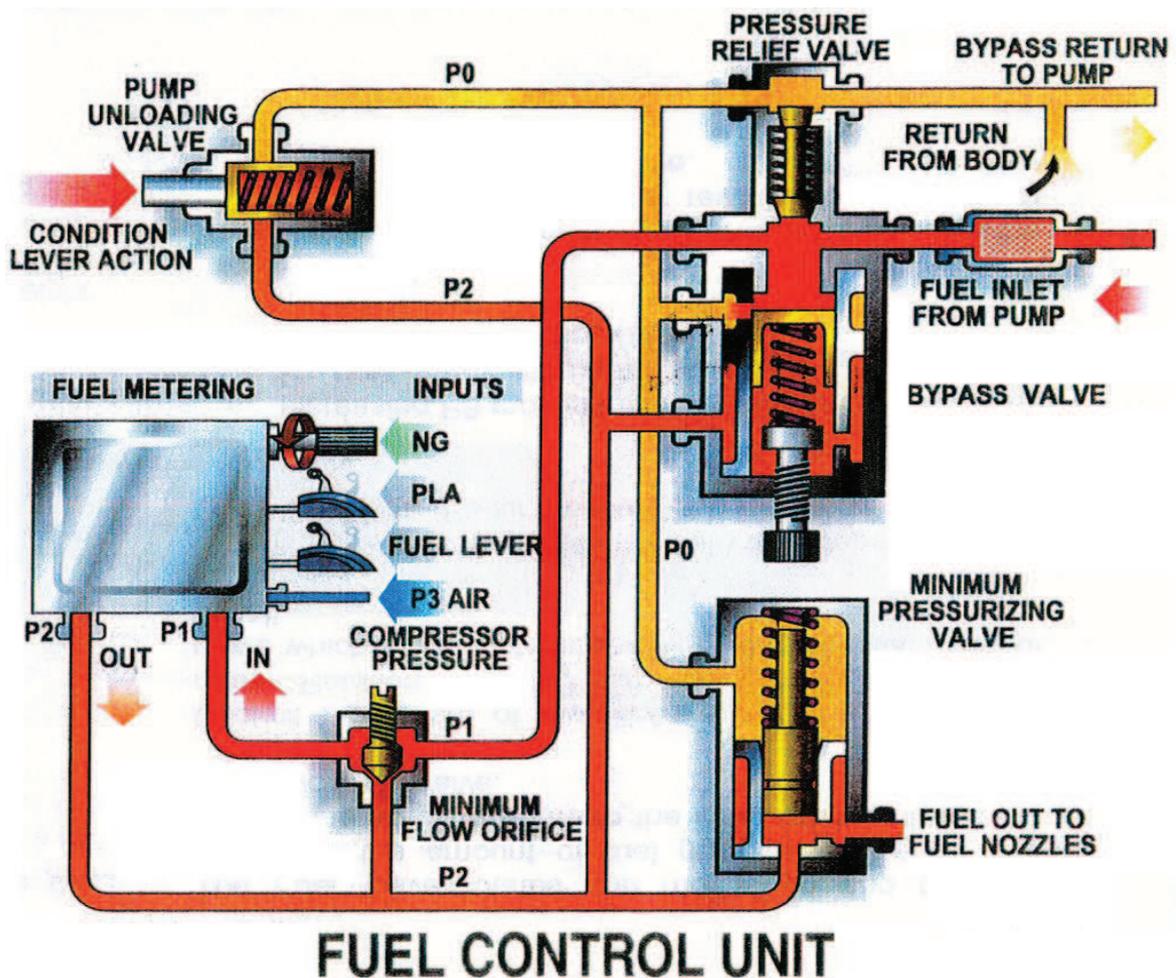


Figura N° 12: Unidad de control de combustible

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Entrenamiento

2.2.6.4 Líneas de combustible

El combustible abastecido hacia el motor es dirigido desde el calentador de combustible hacia la bomba de combustible, y desde la bomba de combustible hacia la unidad de control de combustible (FCU), a través de cañerías flexibles, el combustible medido desde el FCU hacia el múltiple de combustible se lo hace a través de líneas de acero inoxidable.

Cada conjunto de cañerías flexibles que entregan el combustible consisten de un núcleo interno de fluorocarbono plástico con malla de acero inoxidable y asbesto y una cubierta externa de plástico sintético. La cubierta exterior actúa como un aislante de fuego. Conexiones de acero inoxidable están incorporadas en cada extremo de las cañerías.

Las cañerías rígidas de acero inoxidable consisten de tubos sin costura preformados con conexiones de acero inoxidable en cada extremo.

2.2.6.5 Divisor de flujo y válvula de botado

El divisor de flujo está montado en el adaptador del múltiple de entrada de combustible localizado en la posición de las 6 en la carcasa del generador de gases. El divisor de flujo programa el combustible medido de la FCU entre los múltiples de combustible primarios y secundarios como una función primaria de la presión del múltiple de combustible. Durante el encendido del motor, el combustible medido es entregado inicialmente a los adaptadores primarios, con los atomizadores secundarios interrumpidos de acuerdo a un valor preestablecido. Todos los atomizadores están operativos a partir de ralentí.

El divisor de flujo y la válvula de botado dividen el flujo de combustible proveniente de la FCU entre el múltiple de combustible primario y secundario durante el encendido y la operación del motor, y botan el combustible residual de los múltiples de combustible cuando el motor se apaga.

La unidad consiste de una válvula de transferencia cargada por un resorte operada dentro de un resorte, la válvula está provista de puertos para el ingreso del combustible, flujo primario y secundario, y botado del combustible residual. La unidad esta sujeta con dos codos conectores para las líneas de ingreso y botado de combustible. Cuando la válvula de corte de combustible en la FCU se cierra durante el apagado del motor, un resorte opera en el divisor de flujo y la válvula de botado se sobrepone a la presión de entrada del combustible y mueve un pistón dentro de la unidad para bloquear los puertos de entrada de combustible. Éste movimiento del pistón conecta los múltiples primario y secundario de combustible con el puerto de la válvula de botado y permite que el combustible residual en el múltiple de combustible sea desalojado fuera del motor o hacia un colector de drenaje según sea aplicable.

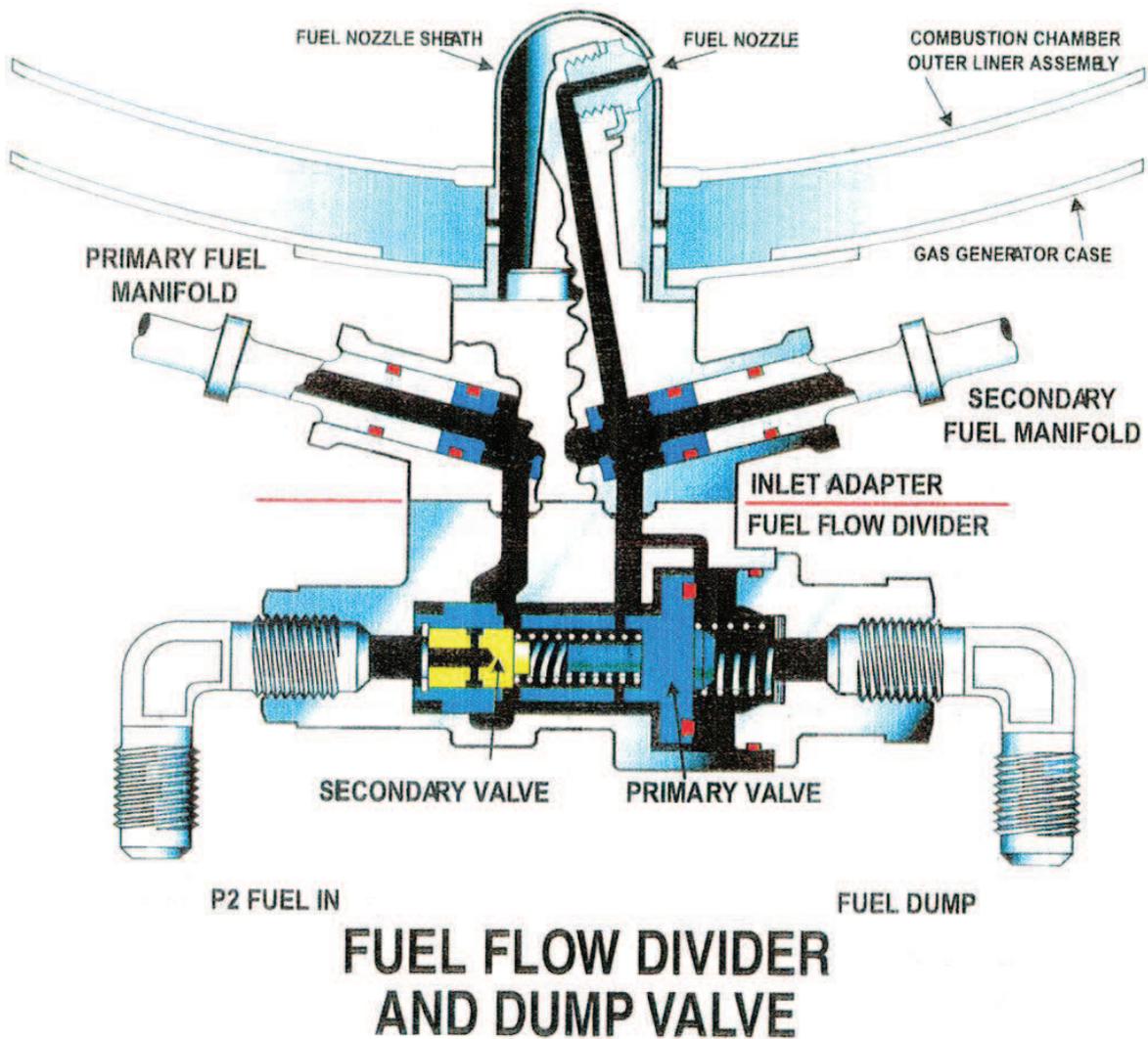


Figura N° 13: Divisor de flujo y válvula de botado

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Entrenamiento

2.2.6.6 Válvulas de drenaje de combustible

La instalación de las válvulas de drenaje de combustible consiste de dos válvulas y empaques instalados en la carcasa del generador de gases en la posición de las 6, una en la parte posterior del montaje del motor y otra adyacente a la estación C. Las válvulas permiten que todo el combustible residual acumulado en el fondo de la carcasa del generador de gases se drene hacia un punto de recolección en el avión cuando el motor se apaga. La válvula posterior además elimina cualquier residuo del fondo del ducto de escape por medio de un pequeño agujero en el fondo del ducto del cono posterior inmediatamente en frente de la válvula. Ambos drenajes están cerrados durante la operación del motor por medio de la acción de la presión de aire P3 sobre la carga del resorte de la válvula.

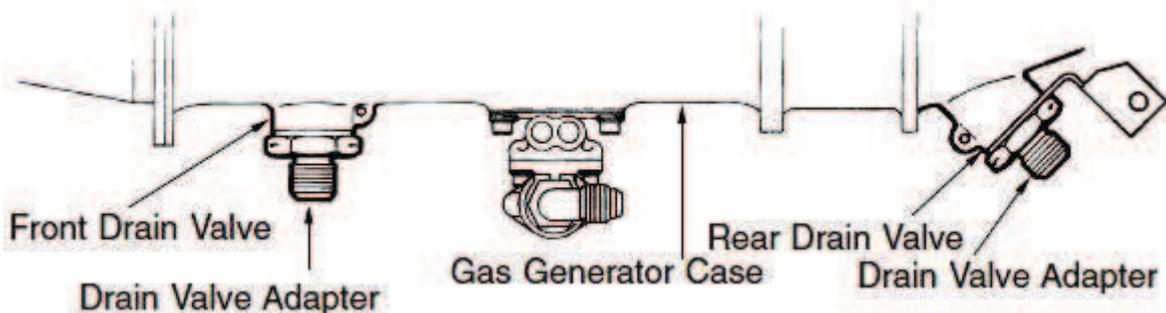


Figura N° 14: Válvulas de drenaje de combustible

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Mantenimiento

2.2.6.7 Múltiple de combustible y atomizadores

El múltiple de combustible dual entrega el combustible medido desde el divisor de flujo (PT6A-21) o el control de flujo de arranque (PT6A-27 y PT6A-28), según sea aplicable, hacia los atomizadores de combustible primario y secundario. El múltiple consiste de 14 conjuntos adaptadores (siete primarios, seis secundarios y un adaptador de entrada secundario). Los adaptadores están interconectados por dos pares de tubos de transferencia de combustible y están asegurados cada uno a sus respectivas bases en la carcasa del generador de gases por medio de dos pernos. Los platos de aseguramiento, asegurados por los

mismo dos pernos, mantienen los tubos de transferencia en posición. Los adaptadores y los tubos de transferencia están sellados por medio de empaques y empaquetaduras preformadas, respectivamente.

Cada adaptador del múltiple de combustible incorpora un inyector de combustible de un solo orificio tipo simplex, con punta tipo circular, y una cubierta. Las puntas tipo circular proveen una fina atomización de combustible en spray dentro de la cámara de combustión anular. La cubierta se asegura sobre el atomizador de combustible y la sección interna del adaptador del múltiple.

Cada atomizador de combustible, el cual incorpora una fina serie de perforaciones adyacentes a la punta, está roscado dentro de la sección interna del adaptador. Un pasaje interno conecta el atomizador con su respectiva perforación primario o secundario en el cuerpo del adaptador. Las cubiertas y los atomizadores se extienden a través de la carcasa del generador de gases y la cámara de combustión, y están posicionados de tal manera que produzcan una atomización tangencial de un atomizador al siguiente dentro de la cámara.

Hoyos en la cubierta de los atomizadores admiten aire para refrigeración, desde el espacio entre la cubierta del generador de gases y la cámara de combustión, para pasar dentro de la cubierta del atomizador y hacia afuera a través de la abertura en el atomizador; este aire, además de refrigerar la punta del atomizador, asiste en la atomización del combustible.

La cámara de combustión está ubicada y soportada dentro de la cubierta del generador de gases por las cubiertas de los atomizadores de combustible. Las cubiertas actúan como espigas y pasan a través de los soportes de suspensión soldados a la pared externa de la cámara.

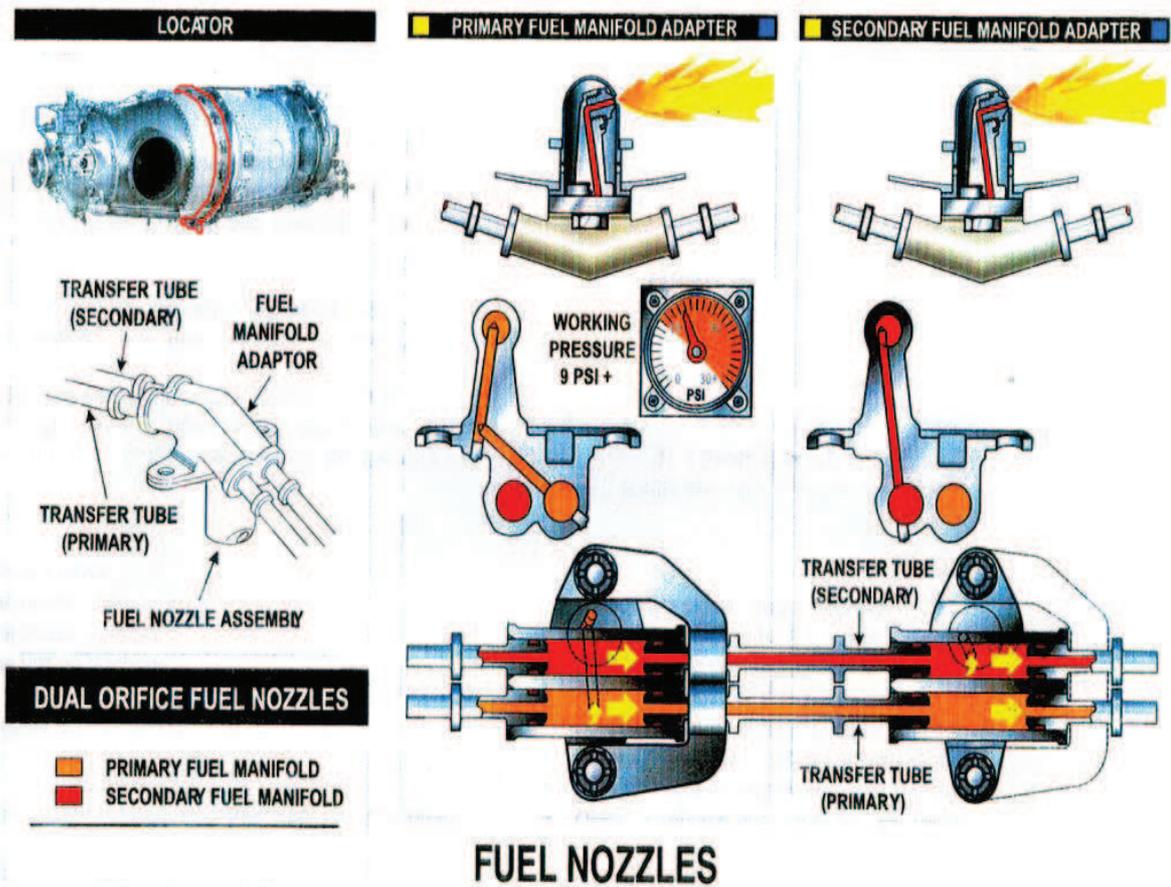


Figura N° 15: Atomizadores de combustible

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Entrenamiento

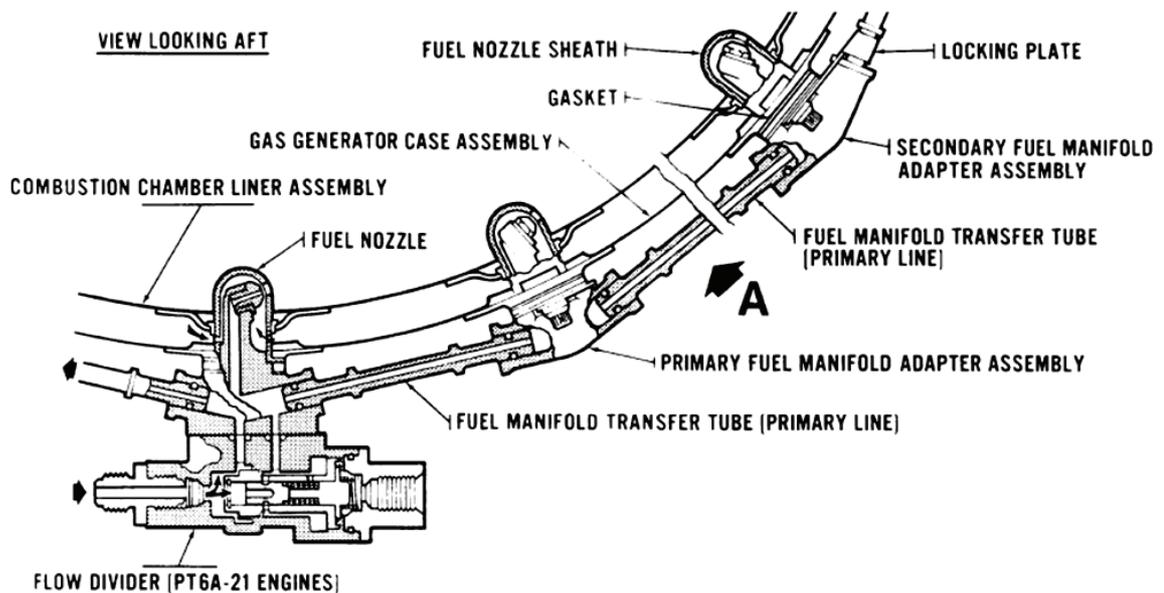


Figura N° 16: Conjunto del múltiple de combustible - Sección transversal

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Mantenimiento

2.2.7 Combustible⁶

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando se quema, y luego cambiar o transformar su estructura química. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser una energía química). En general se trata de sustancias susceptibles de quemarse, pero hay excepciones que se explican a continuación.

Hay varios tipos de combustibles. Entre los combustibles sólidos se incluyen el carbón, la madera y la turba. El carbón se quema en calderas para calentar agua que puede vaporizarse para mover máquinas a vapor o directamente para producir calor utilizable en usos térmicos (calefacción). La turba y la madera se utilizan principalmente para la calefacción doméstica e industrial, aunque la turba se ha utilizado para la generación de energía y las locomotoras que utilizaban madera como combustible eran comunes en el pasado.

Entre los combustibles fluidos, se encuentran los líquidos como el gasóleo, el queroseno o la gasolina (o nafta) y los gaseosos, como el gas natural o los gases licuados de petróleo (GLP), representados por el propano y el butano. Las gasolinas, gasóleos y hasta los gases, se utilizan para motores de combustión interna.

Se llaman también combustibles a las sustancias empleadas para producir la reacción nuclear en el proceso de fisión, aunque este proceso no es propiamente una combustión.

Tampoco es propiamente un combustible el hidrógeno, cuando se utiliza para proporcionar energía (y en grandes cantidades) en el proceso de fusión nuclear, en el que se funden atómicamente dos átomos de hidrógeno para convertirse en uno de helio, con gran liberación de energía. Este medio de obtener energía no ha sido dominado todavía por el hombre (más que en su forma más violenta, la

⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Combustible>

bomba nuclear de hidrógeno, conocida como Bomba H) pero en el universo es común puesto que es la fuente de energía de las estrellas.

Los combustibles fósiles son mezclas de compuestos orgánicos mineralizados que se extraen del subsuelo con el objeto de producir energía por combustión. El origen de esos compuestos son seres vivos que murieron hace millones de años. Se consideran combustibles fósiles al carbón, procedente de bosques del periodo carbonífero, el petróleo y el gas natural, procedentes de otros organismos. Entre los combustibles más utilizados se encuentran el gas butano, el gas natural y el gasóleo.

2.2.8 Combustible de aviación⁷

El combustible de aviación es un tipo especializado de combustible en base de petróleo que se usa para dar poder a las aeronaves. Este es generalmente de una mayor calidad que los combustibles usados para aplicaciones menos críticas tales como calefacción o transporte terrestre, y además contiene aditivos para reducir el riesgo de congelación o explosión debido a las altas temperaturas, entre otras propiedades.

La mayoría de los combustibles disponibles para las aeronaves son derivados del petróleo que se usan en motores con bujías es decir motores de pistones o motores tipo Wankel, o combustible para motores turbina el cual es además usado en motores de aeronaves a diesel. Alcohol, mezclas de alcohol y otras combustibles alternos pueden ser usados de forma experimental pero estos generalmente no están disponibles.

Avgas es vendido en menores cantidades, pero para una mayor cantidad de avionetas individuales, como sea el combustible de jet se vende en mayor volumen para aviones grandes operados típicamente por las aerolíneas, aeronaves militares o aeronaves de grandes corporaciones.

⁷ http://en.wikipedia.org/wiki/Aviation_fuel

Avgas es un combustible de alto octanaje usado en aeronaves y vehículos de competencia. El término avgas es una palabra combinada de gasolina de aviación (aviation gasoline), para distinguirse de mogas gasolina de motor (motor gasoline), el cual es el combustible derivado del petróleo usado en automóviles. Avgas es típicamente usado en aeronaves que usan motores recíprocos o motores Wankel.

El combustible para jet es un combustible claro de color pajizo, basado en un combustible de base de combustible de parafina sin plomo (Jet A-1), o en una mezcla de nafta y keroseno (Jet B). Éste es muy similar al diesel, y puede ser usado tanto en motores de ignición por compresión o en motores turbina.

2.2.9 Combustible de jet⁸

El combustible de jet es un tipo de combustible de aviación diseñado para el uso en aeronaves impulsadas por motores de turbina de gas. Este es de apariencia transparente con coloración pajiza. Los combustibles de mayor uso para la aviación comercial son los tipos Jet A y Jet A-1 los cuales se producen bajo una especificación estandarizada internacional. El otro combustible Jet comúnmente usado en aviación civil impulsado por motores de turbina es el Jet B el cual se usa por su capacidad de desempeño en climas fríos. El combustible de jet debe cumplir las siguientes especificaciones.

⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Jet_fuel

Tabla N° 4: Especificaciones del combustible Jet A y Jet A-1

DESCRIPCIÓN	JET A	JET A-1
Punto de ignición	> 38° C (100.4° F)	
Temperatura de autoencendido	210° C (410° F)	
Punto de congelamiento	< -47° C (-52.6° F)	< -40° C (-40° F)
Temperatura de encendido expuesto al ambiente	287.5° C (549.5° F)	
Densidad a 15° C (59° F)	0.775 kg/L a 0.840 kg/L	
Energía específica	> 42.80 MJ/kg	

Fuente: Aviation Fuel - Jet Fuel Information

Elaborado por: Alejandro Proaño

2.2.10 Comprobador

Un comprobador es un equipo que permite realizar evaluaciones técnicas, mantenimiento, pruebas y chequeo de equipos o de algún sistema en general.⁹

Para el efecto de nuestro proyecto el comprobador corresponde al equipo que se usará para determinar el estado en el que se encuentran los atomizadores de combustible, el cual permitirá que el operario determine de acuerdo a parámetros preestablecidos la efectividad en la atomización del combustible dentro de la cámara de combustión, permitiendo juzgar si estos se encuentran dentro de límites de operación seguros y eficientes.

Existen varios tipos de comprobadores de inyectores, los cuales son construidos de acuerdo a los requerimientos del inyector en el cual vayan a ser utilizados; equipos sencillos que solamente verifican el haz de atomización, comprobadores que comparan el caudal entre inyectores, modelos que permiten analizar la atomización de inyectores controlados eléctricamente, sin embargo todos cumplen la misma función y requieren de un operador que emita su criterio técnico acerca del estado del inyector.

⁹ <http://www.wordreference.com/definicion/comprobar>

2.2.11 Acero galvanizado¹⁰

El acero galvanizado es aquel que se obtiene luego de un proceso de recubrimiento de varias capas de la aleación de hierro y zinc. Por lo general se trata de tres capas de la aleación, las que se denominan “gamma”, “delta” y “zeta”. Finalmente se aplica una última y cuarta capa externa que sólo contiene zinc, a la que se le llama “eta”, y es la que le da aquel típico aspecto gris brillante al acero.

El recubrimiento galvanizado le otorga al acero una excelente protección, entregándole propiedades fabulosas entre las que se encuentra su gran resistencia a la abrasión, así como también a la corrosión. Esta última característica produce tres excelentes efectos. El primero, denominado “protección por efecto de barrera” consta en la aislación frente a un medio ambiente que podría ser bastante agresivo. En segundo lugar, la “protección catódica o de sacrificio” es aquella en la que el zinc se comporta como la parte anódica de la corrosión, de este modo, mientras haya recubrimiento de zinc, entonces el acero estará protegido. Por último, la “restauración de zonas desnudas” se refiere a que la corrosión del zinc logra tapar aquellas discontinuidades que pueden existir en el recubrimiento a causa de la corrosión u otro tipo de daños, como por ejemplo, un golpe fuerte.

Por otra parte, el galvanizado aporta protección contra la corrosión atmosférica, que responde a las condiciones climáticas del lugar en la que la pieza de acero se encuentre ubicada, así como también contra los agentes contaminantes como el óxido de azufre y los cloruros típicos de las zonas cercanas a la costa. Otra de las protecciones que brinda el galvanizado guarda relación con el agua, tanto dulce, como de mar.

En resumen, dentro de las múltiples ventajas que hacen de este proceso de galvanizado algo tan positivo y necesario se encuentra que otorgan al acero una durabilidad mucho mayor, así como también una gran resistencia. Cabe destacar

¹⁰ <http://www.misrespuestas.com/que-es-el-acero-galvanizado.html>

la gran protección que este recubrimiento le otorga, protegiéndolo como una barrera física, de forma electroquímica y brindándole un proceso de auto-curado con los productos de la corrosión del zinc.

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN

En este capítulo se hace referencia al proceso que se siguió para la construcción del comprobador, de una manera secuencial y describiendo cada uno de los pasos.

3.1 Preliminares

La construcción del comprobador de inyectores para el motor PT6 responde a una necesidad observada en el laboratorio de motores del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico durante el proceso de investigación.

Actualmente no existe ninguna maqueta en el Instituto, que brinde la posibilidad de observar de una manera directa las características, componentes y funcionamiento de un comprobador de inyectores y de esa manera corroborar los conocimientos impartidos en el aula.

De esta manera al implementar este comprobador se logrará preparar a los futuros Tecnólogos, principales responsables del mantenimiento aeronáutico, para comprender y realizar los procesos de trabajo encargados, con gran precisión y calidad, que es lo que busca la Industria Aeronáutica moderna.

3.2 Planteamiento y estudio de alternativas

Para la realización del comprobador de inyectores se indago sobre los diseños existentes para este tipo de motores, se constato que existían dos modelos base.

El primer modelo corresponde al diseño establecido en los manuales de mantenimiento del motor PT6 de la PRATT & WHITNEY. Mientras que el segundo modelo corresponde a un diseño portátil elaborado artesanalmente para lugares en los que no se cuente con las instalaciones adecuadas para trabajos de mantenimiento. Ambos diseños cumplen con la función para la que fueron concebidos de forma similar.

El primer modelo (Fig. 17) es usado en la mayoría de talleres de mantenimiento, es un diseño simple que usa presión neumática la cual es regulada y medida para presurizar un reservorio de combustible por la parte superior del mismo; con lo cual se consigue impulsar el combustible por cañerías, estas están conectadas en el fondo del reservorio y conducen al combustible hacia un filtro para que este pueda ser usado a través de un adaptador que permite la conexión hacia los inyectores, permitiendo así la tarea de inspección de los mismos.

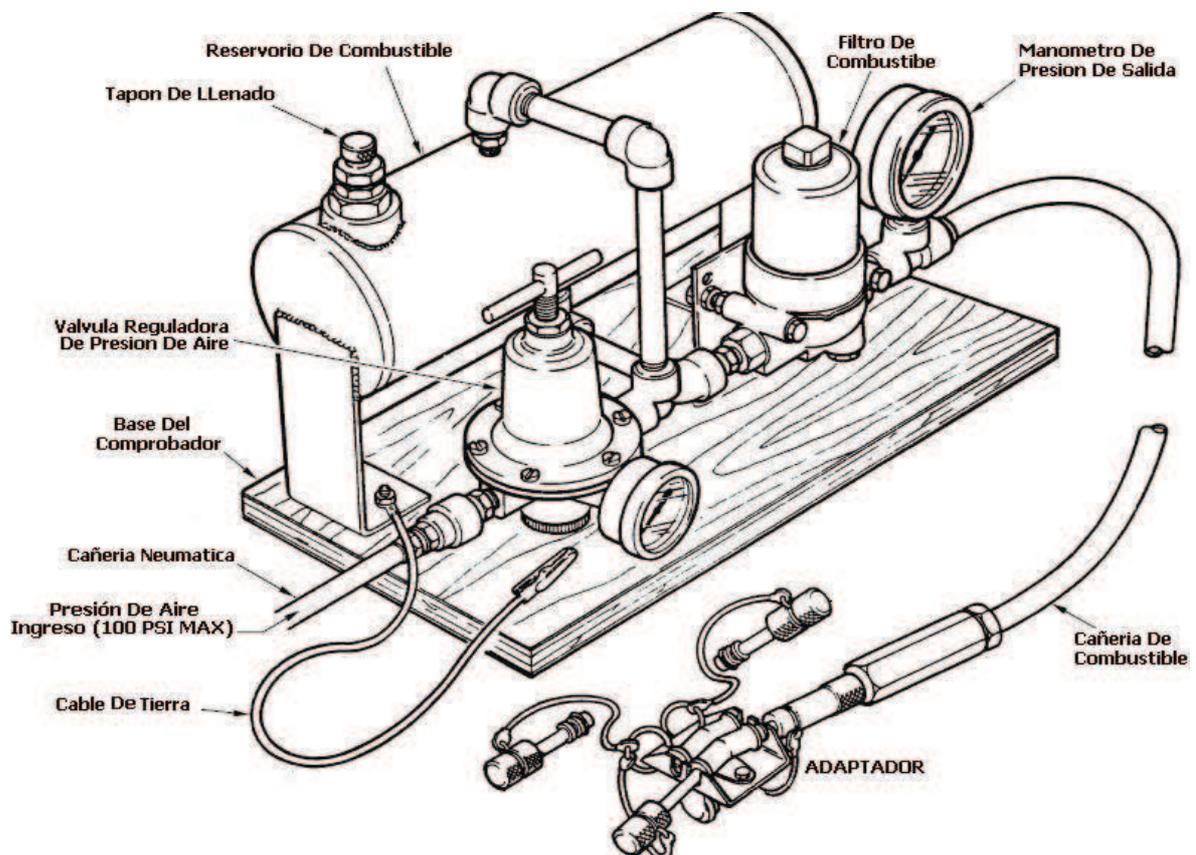


Figura N° 17: Comprobador Inyectores Pratt & Whitney

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Mantenimiento

El segundo modelo es más bien usado fuera de los talleres convencionales, debido a que fue concebido para ser portátil, este diseño usa en lugar de la presión neumática una bomba manual de presión que realiza la función de presurizar el depósito de combustible permitiendo cumplir los mismos fines que el comprobador diseñado por la PRATT & WHITNEY, esto elimina la necesidad de una toma de presión neumática y por lo tanto se puede usar en lugares que no cuenten con dichas instalaciones.

3.2.1 Selección de la mejor alternativa.

La maqueta para su fabricación tiene que cumplir con parámetros técnicos principalmente en cuanto al trabajo que se realiza para asemejarse lo más posible a los comprobadores usados en talleres de mantenimiento reales para de esta manera capacitar de forma adecuada a los futuros técnicos de aviación en este tipo de labores de mantenimiento.

Para conocer las opiniones de los técnicos que han realizado labores de mantenimiento reales de este tipo, se indagó sobre este tema en talleres de mantenimiento que poseen comprobadores de inyectores similares y se pudo establecer que a pesar de existir estos dos tipos de comprobadores antes mencionados, existe una preferencia evidente por parte de todos los técnicos hacia el diseño establecido por la Pratt & Whitney, debido a que este es de fácil operación, además de que su complejidad de diseño es mínima y es de fácil construcción; en contraposición con el segundo diseño que además de ser complejo en su diseño, representa un costo mayor para su construcción debido al incremento de componentes.

Por lo expuesto anteriormente se decidió que el diseño a usarse en este proyecto es el establecido por la Pratt & Whitney, tanto por su simplicidad de construcción como su costo, que al no ser elevado vuela a esta la mejor opción para su implementación.

En cuanto al uso de los materiales, éstos se utilizaron en base a un análisis que permitió usarlos de manera eficiente, tomando en cuenta las cargas que debe

soportar el comprobador para poder desempeñarse de forma apropiada según los requerimientos técnicos necesarios para el comprobador.

3.3 Construcción del comprobador de inyectores para el motor PT6

Para la fabricación de este comprobador se realizó un bosquejo básico en el que se señalaron los requerimientos que debía satisfacer el mismo, además cabe mencionar que los cambios físicos en la estructura del comprobador se deben a las necesidades que se fueron presentando durante su fabricación, sin embargo estos cambios son de apariencia mas no en su funcionamiento ni características técnicas, es decir fueron cambios superficiales que permitieron facilitar el ensamblaje del comprobador.

3.3.1 Materiales usados en la construcción

3.3.1.1 Tubo de acero galvanizado ASTM A53¹¹

Los tubos para conducción de fluidos tales como agua, vapor, gas y aire a altas presiones, son fabricados bajo la norma ASTM A53. Estos tubos son aptos para operaciones que involucran doblado, rebordeado y cualquier otra formación en frío.

Para validar las exigencias de las normas de fabricación el fabricante realiza ensayos y verificación en los tubos procesados en sus instalaciones. En el caso de conducción de fluidos se realizan ensayos dependiendo de la designación comercial del tubo.

La siguiente tabla corresponde a las especificaciones técnicas del material del cual está construido el reservorio del banco de comprobación de inyectores.

¹¹ http://www.unicon.com.ve/conduccion_tubos_alta_presion.html

Tabla N° 5: Material de construcción del reservorio

Nombre	Acero galvanizado ASTM A53	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	200 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	76,9231 GPa
Tensión térmica	Coefficiente de expansión	0,00000000012 su/c
	Conductividad térmica	53 W/(m K)
	Calor específico	450 J/(kg c)

Fuente: Autodesk Inventor

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

3.3.1.2 Válvula reguladora de presión neumática¹²

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 20000 lb/in² (140 Mpa) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1500° F (815° C). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia.

¹² <http://duplex-valves.com/tipos-de-valvulas.htm>

El Regulador de Presión es utilizado para ajustar la presión de aire en la línea de salida del tanque de almacenamiento a cualquier presión entre 0 y 150 PSI. Este accesorio es muy útil para realizar las pruebas de comprobación que requieren variaciones en la presión. El regulador incluye un dial de fácil lectura que permite el ajuste de la presión en la línea. La entrada de la línea es un conector de ¼" similar a la de salida.



Figura N° 18: Regulador de presión

Fuente: <http://duplex-valves.com>

3.3.1.3 Manómetro¹³

Los manómetros son los instrumentos utilizados para medir la presión de fluidos (líquidos y gases). Lo común es que ellos determinen el valor de la presión relativa, aunque pueden construirse también para medir presiones absolutas.

Todos los manómetros tienen un elemento que cambia alguna propiedad cuando son sometidos a la presión, este cambio se manifiesta en una escala o pantalla calibrada directamente en las unidades de presión correspondientes.

Hay muchas maneras de convertir los valores de presión en otra magnitud cambiante que pueda convertirse en el movimiento de una aguja indicadora o en un número en una pantalla digital pero los más comunes son:

¹³ <http://www.sabelotodo.org/aparatos/manometros.html>

3.3.1.3.1 Manómetros de tubo de Bourdon

Estos manómetros tienen un tubo metálico elástico, aplanado y curvado de forma especial conocido como tubo de Bourdon. Este tubo tiende a enderezarse cuando en su interior actúa una presión, por lo que el extremo libre del tubo de Bourdon se desplaza y este desplazamiento mueve un juego de palancas y engranajes que lo transforman en el movimiento amplificado de una aguja que indica directamente la presión en la escala.

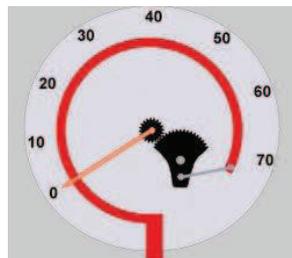


Figura N° 19: Manómetro de tubo de Bourdon

Fuente: <http://www.sabelotodo.org>

3.3.1.3.2 Manómetros de fuelle

Los manómetros de fuelle tienen un elemento elástico en forma de fuelle (como el acordeón) al que se le aplica la presión a medir, esta presión estira el fuelle y el movimiento de su extremo libre se transforma en el movimiento de la aguja indicadora. Una variante del manómetro de fuelle es el manómetro de diafragma, en este caso la presión actúa sobre un diafragma elástico el que se deforma y la deformación se convierte en el movimiento del puntero indicador.

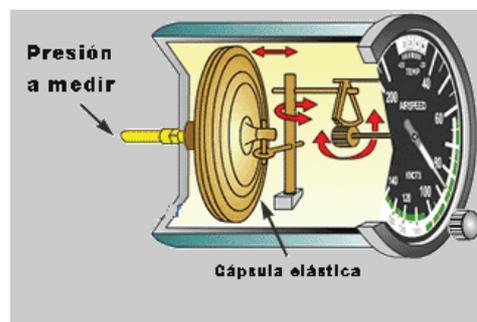


Figura N° 20: Manómetro de fuelle

Fuente: <http://www.sabelotodo.org>

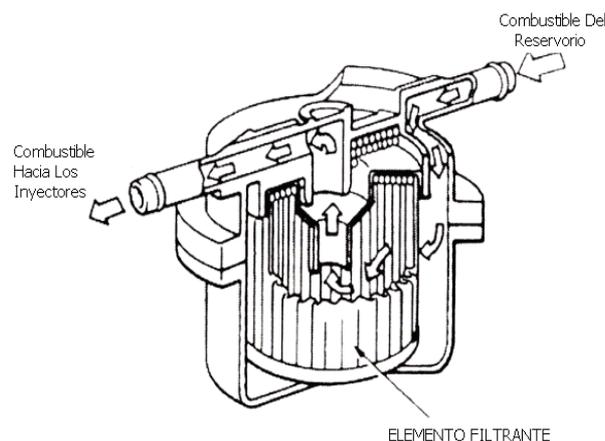
3.3.1.4 Filtro¹⁴

El filtro de combustible es una parte esencial del sistema de alimentación, puesto que el mecanismo interno de los inyectores y otros componentes, deben protegerse contra cualquier cuerpo extraño que pueda encontrarse en el combustible.

La función del filtro es retener las impurezas que pueda llevar en suspensión el combustible. Incluso impurezas mínimas pueden dar lugar a perturbaciones en el sistema de alimentación. Los componentes susceptibles principalmente de éstas alteraciones son las toberas de inyección.

En particular, los modernos sistemas de inyección requieren una alimentación con combustible completamente limpio y homogéneo, debiéndose evitar las "pulsaciones" (intermitencia en el suministro).

El filtro usado en esta construcción es un filtro de características similares a las requeridas para el funcionamiento del motor (10 μ), debido a que se requiere que el combustible llegue limpio a los inyectores ya que debemos comprobar su funcionamiento evitando incrementar las impurezas que estos pudiesen tener.



Configuración del Filtro de Combustible

Figura N° 21: Filtro de combustible

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

¹⁴ <http://funciondelmotor.blogspot.com/2009/08>

3.3.1.5 Plancha metálica

Se uso una plancha metálica de tol al frio de 2 mm de espesor para proveer de una base adecuada para el banco de comprobación, de esta manera se la construyo de dimensiones apropiadas para que quepan los componentes del comprobador de inyectores y se evite daños en los mismos, además de proveer un medio adecuado para facilitar su transporte.

3.3.1.6 Tuberías y Conexiones

Se requirió de una serie de conexiones tanto de tipo neumáticas como de tipo hidráulicas; usados para conectar entre si todos los componentes, la mayoría de tipo comercial para facilitar su adquisición para el proyecto, así como también de acoples especiales fabricados necesariamente para el comprobador, que conectaran al banco de comprobación con el inyector a comprobar.

3.3.1.7 Suelda

Aplicada en la construcción metálica de la base del comprobador, el sellado de los extremos del tubo metálico (Reservorio), y la unión de los puertos para las líneas de llenado, entrada de aire y salida de combustible en el reservorio.

La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas derritiendo ambas y agregando un material de relleno derretido (metal o plástico), el cual tiene un punto de fusión menor al de la pieza a soldar, para conseguir un baño de material fundido (el baño de soldadura) que, al enfriarse, se convierte en una unión fuerte. A veces la presión es usada conjuntamente con el calor, o por sí misma, para producir la soldadura. Esto está en contraste con la soldadura blanda (en inglés soldering) y la soldadura fuerte (en inglés brazing), que implican el

derretimiento de un material de bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo¹⁵.

Soldadura por arco

Estos procesos usan una fuente de alimentación para soldadura para crear y mantener un arco eléctrico entre un electrodo y el material base para derretir los metales en el punto de la soldadura. Pueden usar tanto corriente continua (D.C.) como alterna (A.C.), y electrodos consumibles o no consumibles. A veces, la región de la soldadura es protegida por un cierto tipo de gas inerte o semi-inerte, conocido como gas de protección, y el material de relleno a veces es usado también.

Uno de los tipos más comunes de soldadura de arco es la soldadura manual con electrodo revestido (SMAW, Shielded Metal Arc Welding), que también es conocida como soldadura manual de arco metálico (MWMA) o soldadura de electrodo. La corriente eléctrica se usa para crear un arco entre el material base y la varilla de electrodo consumible, que es de acero y está cubierto con un fundente que protege el área de la soldadura contra la oxidación y la contaminación por medio de la producción del gas CO₂ durante el proceso de la soldadura. El núcleo en sí mismo del electrodo actúa como material de relleno, haciendo innecesario un material de relleno adicional.



Figura N° 22: Soldadura de arco

Fuente: INFRA

¹⁵ INFRA, "Manual de Conceptos Básicos en Soldadura y Corte" Tomo I.

Área de soldado.

(1) Dirección de avance, (2) Tubo de contacto, (3) Electrodo, (4) Gas, (5) Metal derretido de soldadura, (6) Metal de soldadura solidificado, (7) Pieza a soldar.

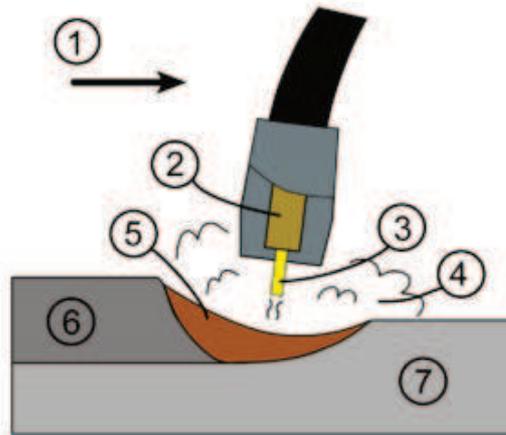


Figura N° 23: Área de soldado

Fuente: INFRA

3.3.2 Descripción del comprobador de inyectores

El comprobador de inyectores está construido en base al modelo preseleccionado anteriormente, en el cual la estructura principal es el reservorio que está fabricado por un tubo de acero al cual se sello por los extremos, además se le realizó tres perforaciones que sirven para el llenado de combustible, el ingreso de la presión neumática y la salida del combustible a presión; el reservorio es capaz de soportar las cargas estructurales requeridas para su operación segura.

La base del comprobador realizada en una plancha metálica adecuada para este fin es resistente y soporta el peso del tanque, además sirve para fijar el filtro y la conexión de salida del combustible, y proporciona seguridad al momento de transportar el comprobador.

Para su funcionamiento este comprobador requiere únicamente de presión neumática proveniente de un compresor, la cual es suministrada por medio de un

acople rápido, esta presión será regulada mediante una válvula que permitirá tener control sobre la presión entregada al reservorio; la presión neumática de ingreso será medida usando un manómetro ubicado en la válvula.

El filtro está ubicado a la salida del reservorio, este evitará que impurezas lleguen a obstruir a los inyectores que van a ser comprobados, posterior al filtro se ubica un manómetro de salida en el cual podemos verificar la presión entregada hacia los inyectores de combustible; y la cañería flexible que lleva el combustible hacia el adaptador para los inyectores.

3.3.3 Partes del comprobador de inyectores

El comprobador de inyectores consta de los siguientes elementos:

- Acople rápido para toma de aire
- Válvula reguladora de presión
- Manómetro de entrada
- Tapón de llenado de combustible
- Reservorio de combustible
- Filtro de combustible
- Manómetro de salida de combustible
- Adaptador para los inyectores

3.3.4 Orden de construcción

A continuación se detalla paso a paso la construcción del banco de prueba, el orden de construcción se constituye en las siguientes fases:

1. Reservorio
2. Conexiones neumáticas y de combustible
3. Base del comprobador
4. Ensamblado y pintura

Es importante además mencionar las herramientas principales que se usaron en la construcción de este comprobador. No corresponde el total de las

herramientas usadas, sin embargo esta lista corresponde a las herramientas más importantes y grandes usadas en este proyecto.

Tabla N° 6: Herramientas principales.

Herramientas	Características
Suelda Eléctrica	Soldadora Eléctrica, 110 / 220 V, 60 Hz 300 amperios, Marca Kende
Cizalla	Cizalla mecánica Geholz, longitud de corte 2100 mm, capacidad corte 6 mm
Dobladora	Dobladora estándar de piso, 6 pies, apertura de garganta: 76.2 mm. (3"). ángulo de dobles: 45°
Taladro de banco	Taladro de banco de columna de 1/2 Hp, Marca Truper.
Compresor	Compresor de aire marca Truper, 3 Hp, tanque de 25 L, 120 V, 60 Hz.

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

3.3.4.1 Construcción del reservorio

Para la construcción del reservorio de combustible se lo realizó en una forma cilíndrica similar en dimensiones al establecido en los manuales de mantenimiento, sin embargo es menester mencionar que se realizó un cálculo de resistencia estructural previo para asegurar la integridad física del mismo, debido a que es de suma importancia asegurar que el reservorio no fuese a fallar al soportar las presiones internas a las que será sometido durante su operación, además se optimizó el uso del material del cual fue construido para que el peso no fuese excesivo, sin comprometer su resistencia estructural.

Para calcular la resistencia del reservorio se usó las siguientes ecuaciones correspondientes al cálculo de esfuerzos en recipientes de pared delgada bajo presión, extraídas del libro de mecánica de materiales de Beer & Johnston 3° edición, que establecen lo siguiente.

Para el esfuerzo longitudinal:

$$\sigma_1 = \frac{Pr}{t}$$

Para el esfuerzo de costilla:

$$\sigma_2 = \frac{Pr}{2t}$$

Donde:

- σ_1 : Esfuerzo Longitudinal
- σ_2 : Esfuerzo de Costilla
- P : Presión
- r : Radio
- t : Espesor Del Material

Tomando en cuenta que la presión máxima que soportará el reservorio corresponde a 300 PSI, siendo esta del doble de lo que se suministrara en condiciones de operación normal (150 PSI), el espesor del material es de 3 mm (0.011811 in), y el radio del reservorio es de 50 mm (1.9685039 in); los valores correspondientes a remplazar son:

$$\sigma_1 = \frac{300 \text{ lb in}^2 \times 1.9685039 \text{ in}}{0.011811 \text{ in}} = 50000.099 \text{ lb in}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{300 \text{ lb in}^2 \times 1.9685039 \text{ in}}{2 \times 0.011811 \text{ in}} = 25000.049 \text{ lb in}^2$$

Una vez determinado el esfuerzo de costilla y el esfuerzo longitudinal, se compara con los esfuerzos máximos del material con el que está construido el reservorio, para lo cual se calcularan los esfuerzos de fluencia, y esfuerzo máximo

del material del que está construido el reservorio; el mismo que corresponde a las características anteriormente mencionadas, de la siguiente manera:

Para el esfuerzo longitudinal máximo:

$$\sigma_{1max} = \frac{\sigma y r}{t}$$

Para el esfuerzo de costilla máximo:

$$\sigma_{2max} = \frac{\sigma u r}{2t}$$

Donde:

- σ_1 : Esfuerzo Longitudinal
- σ_2 : Esfuerzo de Costilla
- σu : Resistencia última
- σy : Límite de elasticidad
- r : Radio
- t : Espesor Del Material

Remplazando con los valores de la tabla obtenemos:

$$\sigma_{1max} = \frac{30022.8 \text{ lb in}^2 \times 1.9685039 \text{ in}}{0.011811 \text{ in}} = 5003809.9 \text{ lb in}^2$$

$$\sigma_{2max} = \frac{50038 \text{ lb in}^2 \times 1.9685039 \text{ in}}{2 \times 0.011811 \text{ in}} = 4169841.6 \text{ lb in}^2$$

Demostrando así la efectividad de la construcción del reservorio, ya que este es capaz de soportar cargas mucho mayores a las que será sometido durante su operación.

Una vez constatado que los requerimientos operacionales se han satisfecho se procedió a la construcción del reservorio, de esta manera y con el tubo de acero galvanizado 1000 mm x 3 mm x 3000 mm, se procedió a la construcción del mismo.

Se realizó las perforaciones necesarias para la ubicación de la entrada de aire, la salida del combustible y el llenado del reservorio, para proceder a soldarlas por medio de la soldadura por arco.



Figura N° 24: Reservorio 1

Fuente: Investigación de campo

Para concluir la construcción del reservorio se procedió a sellar los extremos del mismo; para lo cual se usó tapas formadas del mismo material del tanque, ubicándolas de similar forma con soldadura por arco.



Figura N° 25: Reservorio 2

Fuente: Investigación de campo

3.3.4.2 Ubicación de conexiones neumáticas y de combustible

Las conexiones neumáticas y de combustible fueron ubicadas una vez que fueron instaladas la tomas en el reservorio, esto se lo realizo debido a que fue necesario ubicar los demás componentes en función de la distancia apropiada del reservorio para que sean de fácil instalación, de esta manera, fueron requeridos los siguientes elementos:

Para el abastecimiento neumático:

- Conexión rápida macho para tubo de ¼" de acero
- Regulador de presión de 0 a 150 PSI
- Manómetro de 150 PSI
- Neplos de acero galvanizado
- Codos de 90° de acero galvanizado
- Tapón de llenado del reservorio
- Teflón

Para las conexiones de combustible:

- Codos de 90° de acero galvanizado
- Niplos de acero galvanizado
- Conexión universal de ¼ “
- Filtro de combustible
- T de acero galvanizado
- Manómetro de 100 PSI
- Cañería flexible para combustible
- Adaptador

Con los elementos básicos y tomando en cuenta la disposición del diagrama del comprobador, se procedió a realizar un montaje provisional para ubicar los componentes; solo se uso las conexiones para no dañar los elementos que conforman el banco de comprobación.



Figura N° 26: Conexiones de sistema neumático y de combustible.

Fuente: Investigación de campo

Una vez comprobado el espacio que requiere el comprobador se procedió a la construcción de la base del comprobador.

3.3.4.3 Construcción de la base del comprobador

Para la realización de la base se requirió la plancha metálica antes mencionada, esta se la maquinó para que adquiriera la forma requerida, y fue soldada usando el método de soldadura por arco; sus dimensiones fueron establecidas una vez ubicadas las partes principales, para que cumpla su objetivo, el cual es de proveer una base suficientemente resistente tanto para su transportación como para que contenga todos los elementos, además se construyó dos soportes adicionales para que el reservorio se apoye sobre los mismos y se eleve de la base.

De esta manera, la base del banco de comprobación adquirió las dimensiones de 6000 mm x 6000 mm x 200 mm, para que fuese lo suficientemente amplia para que cumpla los objetivos que fueron provistos.



Figura N° 27: Tol al frío para la base del banco.

Fuente: Investigación de campo

3.3.4.4 Ensamblado y pintura

Una vez concluida la construcción tanto de la base, el reservorio y las conexiones, se procedió a unir todas las partes del comprobador, además fue necesario verificar las conexiones de tal manera que se eviten las fugas puesto que el comprobador es de muy baja complejidad.

Para la prueba de fugas en el comprobador se lleno de presión neumática y se mantuvo durante una hora a 100 PSI, de esta manera si la presión disminuía durante el periodo de tiempo establecido anteriormente se debía verificar el lugar en el que probablemente existiese una fuga, sin embargo no sucedió, es decir el comprobador estaba libre de fugas debido a que no presento disminución de la presión.

Finalmente se procedió a pintar el banco de prueba, con los componentes instalados y cubriendo las partes que no deseábamos que fueran pintadas, obteniendo un resultado satisfactorio.



Figura N° 28: Comprobador de inyectores concluido (Frente)

Fuente: Investigación de campo



Figura N° 29: Comprobador de inyectores concluido (costado)

Fuente: Investigación de campo

3.4 Codificación de máquinas herramientas y materiales

Tabla N° 7: Codificación de Máquinas.

N°	MÁQUINA	CARACTERÍSTICAS	CÓDIGO
1	Soldadora Eléctrica	110 v – 220 v	M1
2	Cizalla	Manual	M2
3	Dobladora	Manual	M3
4	Taladro De Banco	110 v	M4
5	Compresor	120 v	M5

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

Tabla N° 8: Codificación de Herramientas.

N°	HERRAMIENTA	CÓDIGO
1	Calibrador Pie de Rey	H1
2	Escuadra	H2
3	Flexo metro	H3
4	Cortador de tol	H4
5	Lima	H5
6	Pistola Aerográfica	H6
7	Llave de Tubo	H7

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

Tabla N° 9: Codificación de materiales

N°	MATERIAL	CÓDIGO
1	Lija	M6
2	Teflón	M7
3	Pintura	M8
4	Electrodos	M9

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

Tabla N° 10: Especificaciones de construcción y montaje

ACT.	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTA	MÁQUINAS	MATERIAL
1	Medición de Reservoirio	1 – 2 – 3		
2	Trazado de Reservoirio	2		
3	Perforación de Tomas		4	
4	Sellado de Reservoirio y Montaje de Tomas		1	9
5	Medición de Base	1 – 2 – 3		
6	Trazado de Base	2		
7	Corte y Doblado de Base	4	2 – 3	

8	Aplicación de Soldadura en Base		1	9
9	Lijado	5		6
10	Unión de Conexiones	7		7
11	Verificación de Conexiones		5	
12	Pintura	6	7	8
13	Comprobador terminado			

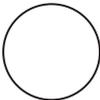
Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

3.5 Diagramas de proceso

En la siguiente tabla se describe la simbología que se va a utilizar para cada uno de los procesos de construcción de la maqueta.

Tabla N° 11: Simbología de los Diagramas de Proceso.

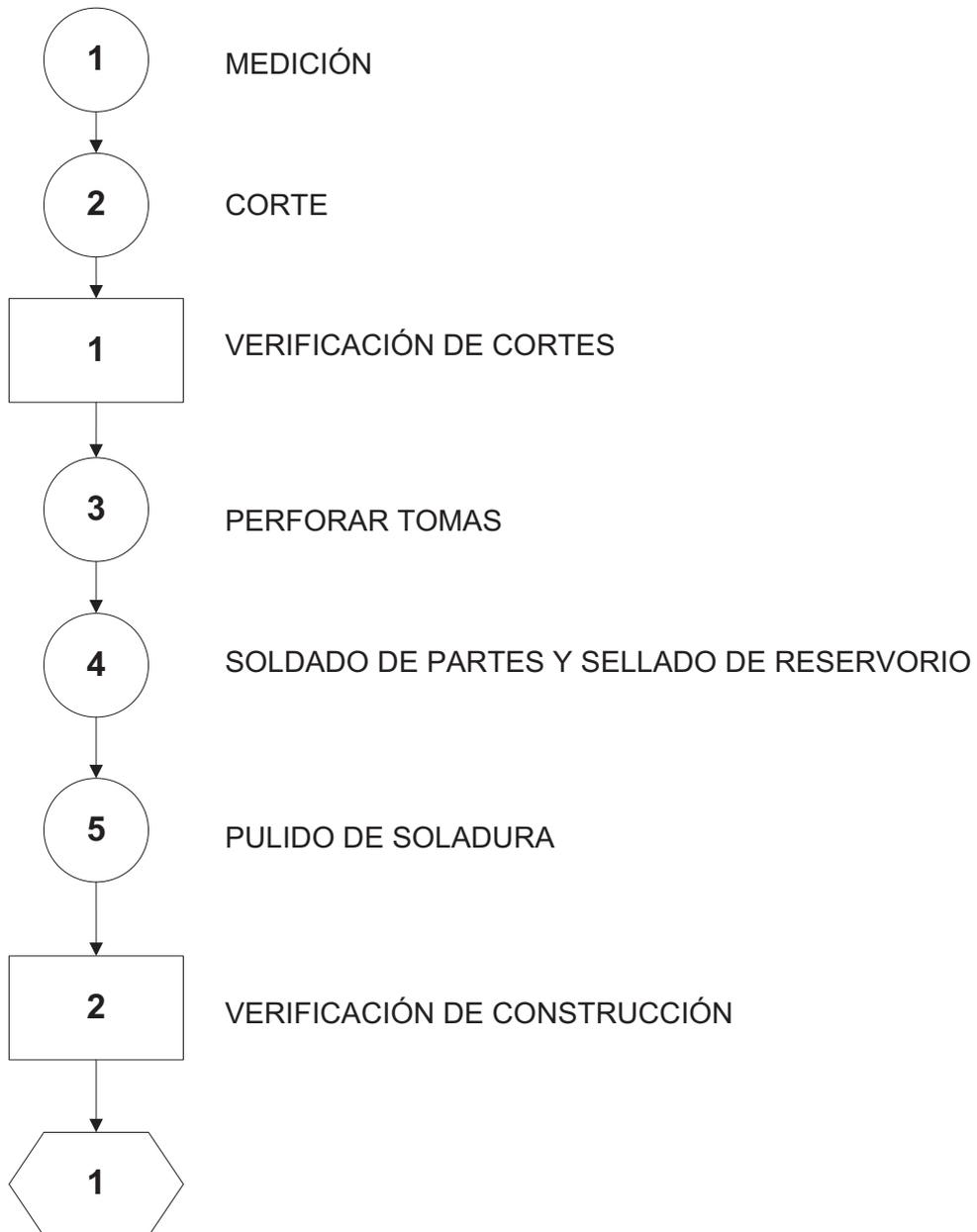
N°	SIMBOLOGÍA	SIGNIFICADO
1		Operación
2		Inspección o Comprobación
3		Ensamblaje
4		Conector

Fuente: Investigación de campo.

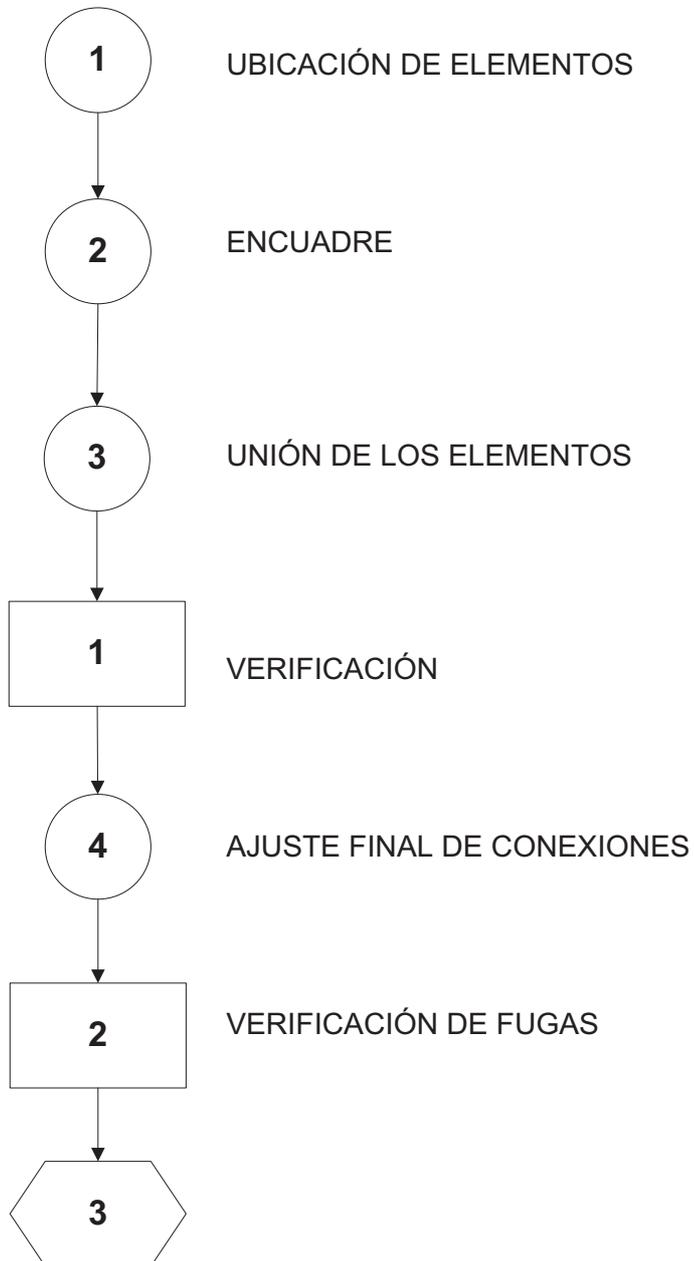
Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

RESERVORIO

Material: Tubo de Acero Galvanizado



CONEXIONES NEUMÁTICAS E HIDRÁULICAS



BASE DEL COMPROBADOR

Material: PLANCHA DE TOL AL FRIO

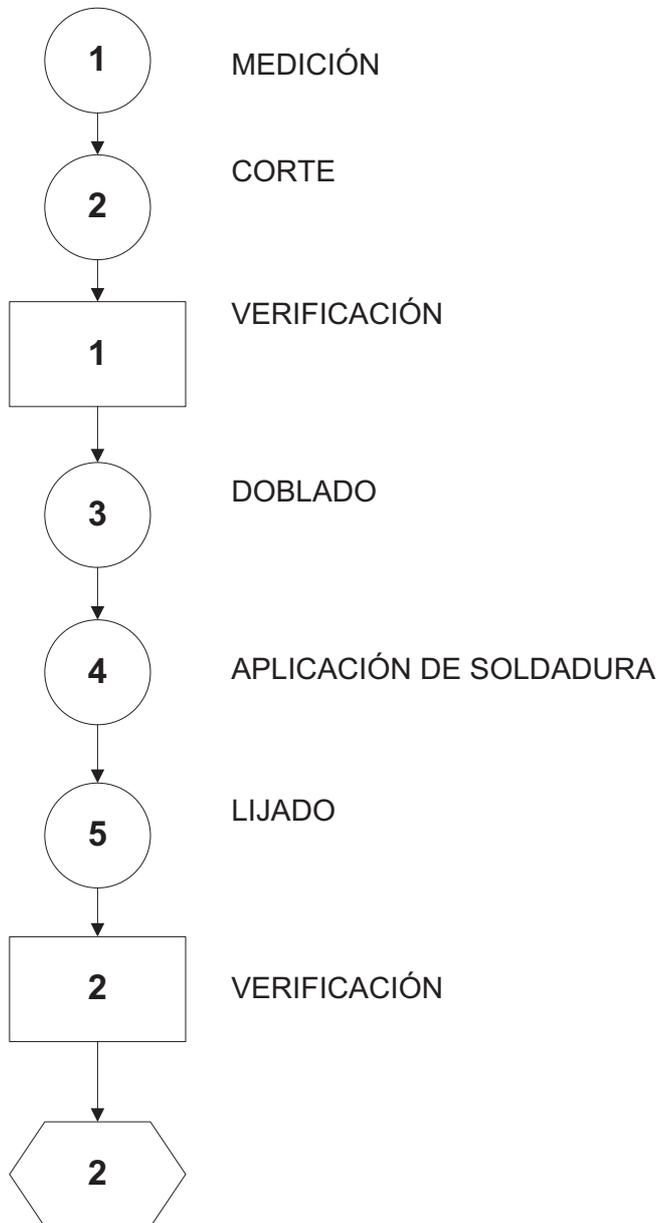
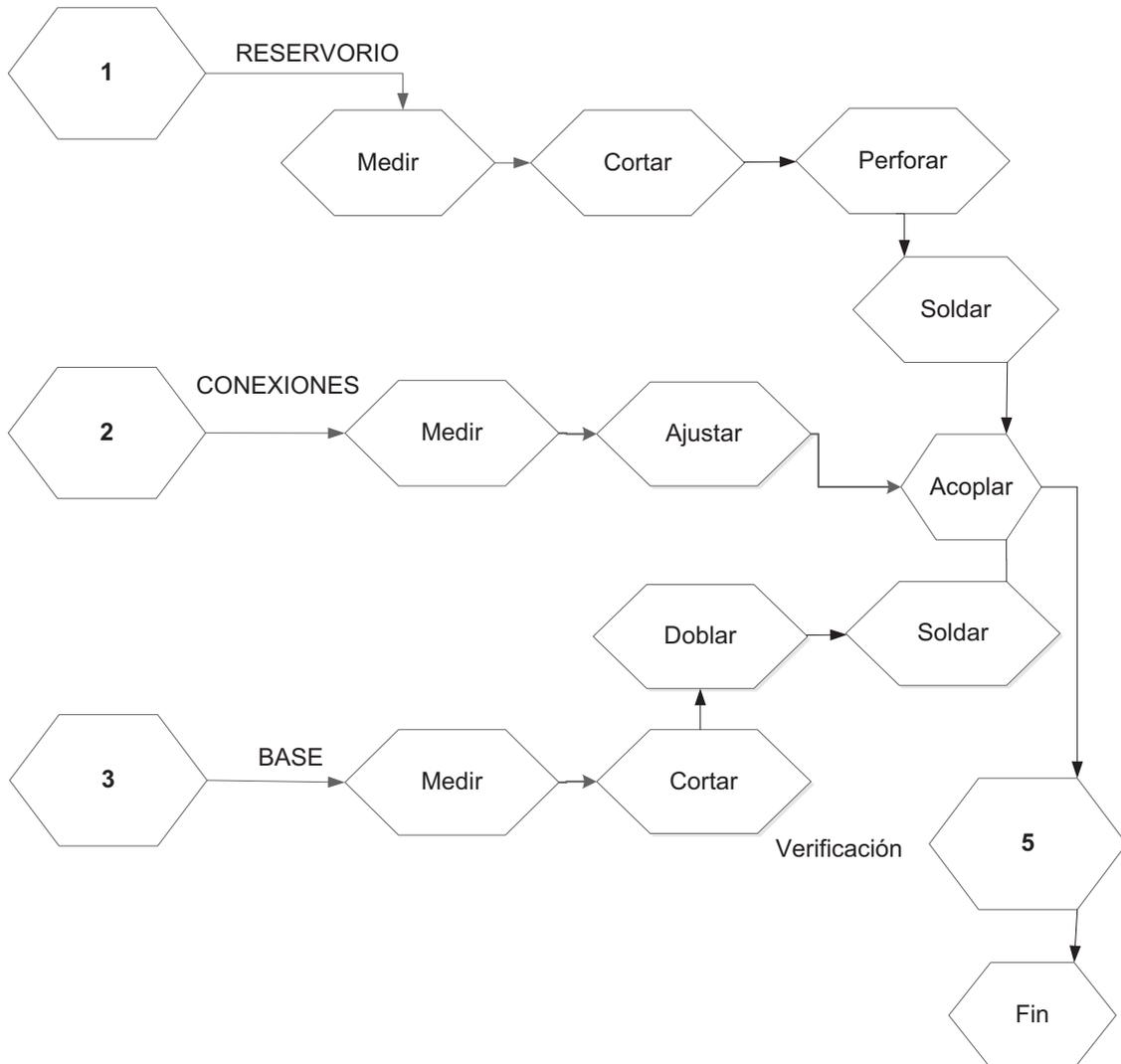


DIAGRAMA DE ENSAMBLAJE DEL CONJUNTO



3.6 Pruebas de operación y análisis de resultados

Las pruebas de funcionamiento del comprobador de inyectores han sido de tipo redundantes y progresivas, debido a que se ha comprobado más de una vez todos los sistemas en cada etapa de armado, se realizó verificaciones de cada uno de los sistemas durante su construcción, en las cuales se verificó que todos los procesos de maquinado se ejecutasen de forma satisfactoria; sin embargo y a manera de asegurar que el banco de comprobación cumpla los requerimientos

para su operación, se realizó una comprobación final del banco de pruebas terminado.

Para realizar la prueba operacional se cargo el banco de prueba de inyectores a fin de simular condiciones de operación reales, esto corresponde al llenado del reservorio con combustible y conectarlo con una toma de presión neumática que suministre aproximadamente entre 100 a 150 PSI; en las cuales se constató que tanto el reservorio de combustible, como las conexiones no presentaban fugas de ningún tipo, además se logro comprobar que la válvula reguladora de presión, los manómetros y la llave de corte funcionan de forma apropiada.

De esta manera queda comprobado que el equipo que se ha construido cumple satisfactoriamente todas las necesidades que debía satisfacer, por lo tanto es posible usarlo de forma segura y efectiva para la labor para la cual ha sido creado.



Figura N° 30: Comprobador de inyectores Probado

Fuente: Investigación de campo

3.7 Elaboración de manuales

Los manuales para el uso del comprobador de inyectores corresponden a tres manuales, que son: operación, mantenimiento y seguridad. En los cuales se incluye todo lo necesario para poder realizar la labor de inspección y mantenimiento de inyectores para el motor PT6 del laboratorio de motores del ITSA.

3.7.1 Descripción y codificación de los manuales

Manual de Seguridad (Código MSEG).- Este manual va dirigido en primera instancia a la protección del operario, mostrando los requerimientos que debe cumplir para utilizar el comprobador de forma apropiada, usando el equipo de protección personal adecuado para realizar la tarea de comprobación de inyectores de forma segura sin poner en riesgo su salud. Evitando así cualquier tipo de incidentes que puedan dañar al operario o a la maquinaria.

Manual de Operación (Código MOPE).- El contenido de este manual proporciona los pasos a seguir para operar el comprobador de inyectores, mostrando los rangos de operación seguros del mismo. Además se logrará además la eficiencia y eficacia en el uso de este equipo permitiendo realizar la labor encomendada de forma rápida y efectiva. Brindando así los procedimientos de operación para un correcto funcionamiento del banco de pruebas.

Manual de Mantenimiento (Código MMAN).- Este instructivo permitirá obtener un máximo de vida útil del comprobador de inyectores siempre que se sigan los pasos que se describirán en el contenido del mismo. Es menester además mencionar que todo el que use el equipo de comprobación deberá realizar el respectivo mantenimiento del mismo para mantenerlo en un estado óptimo de funcionamiento.

3.7.2 Manual de seguridad

	MANUAL DE SEGURIDAD		Página 1 de 3
	PLAN DE SEGURIDAD PARA LA OPERACIÓN DEL COMPROBADOR DE INYECTORES DEL MOTOR PT6		CÓDIGO: MSEG
	ELABORADO POR: ALEJANDRO DAVID PROAÑO CHILCAÑAR		REVISIÓN N°: 01
	APROBADO POR: SGOS. TEC. AV. LCDO. MOLINA EDISON	FECHA: 16 – 06 – 2011	FECHA: 16 – 06 – 2012

Descripción

El contenido de este manual está dirigido a los operarios del comprobador de inyectores, a fin de cautelar su salud; en el mismo se detallan las instrucciones para la el apropiado desarrollo en la utilización del equipo antes mencionado.

A continuación se menciona los procedimientos adecuados para el uso del comprobador.

Procedimiento

El primer paso para iniciar la manipulación del comprobador de inyectores, corresponde a la utilización del equipo de protección personal adecuado para realizar la tarea de mantenimiento referida.

Los equipos requeridos se citan a continuación:

- ▶ Visores translucidos: para evitar que en un caso de fuga de combustible, implique un contacto directo con los ojos del operario.
- ▶ Mascarilla: es menester el uso de este implemento para evitar la inhalación de vapores tóxicos, producidos por la pulverización de combustible en el equipo.
- ▶ Overol anti-inflamable: en caso de existir una salpicadura de combustible en el proceso de comprobación, para de esta manera evitar la propagación de una posible flama en el operario.
- ▶ Guantes de nitrilo: para evitar el contacto directo entre la piel del operario y el combustible que en este caso estará en el equipo de comprobación.
- ▶ Botas de seguridad: la utilización de estos implementos de seguridad se basan en la necesidad de evitar posibles pérdidas del equilibrio del operario, en caso de encontrarse realizando la comprobación en una superficie con contaminación de diferentes fluidos relacionados con las tareas de mantenimiento. Adicionalmente el uso de este equipo evitará la generación de energía estática y conducción de energía eléctrica en el operario a fin de evitar cualquier producción de chispa y prevenir daños en el operario en caso de la caída de alguna herramienta que intervenga en el procedimiento.

El segundo paso corresponde al lugar de trabajo en el cual se realizará la comprobación de inyectores, el cual debe cumplir las siguientes condiciones.

- ▶ Debe ser un lugar bien ventilado, a fin de evitar la concentración de vapores tóxicos que puedan ser inhalados, o que lleguen a iniciar un proceso de combustión del lugar de trabajo

- ▶ El lugar de trabajo debe tener suficiente iluminación para poder distinguir los distintos tipos de daños en la atomización del combustible, y poder apreciar con claridad las indicaciones de los manómetros del comprobador.
- ▶ Para realizar esta tarea se debe ubicar el área de trabajo en un lugar libre de fuentes de ignición, ambientes demasiado calurosos o con fuentes de llama visibles.
- ▶ Debido a que se manipulara combustible en la labor de mantenimiento, es necesario contar con los equipos de extinción de flama en el lugar de trabajo, por lo que se requiere por lo menos de la presencia de un extintor de capacidad suficiente para sofocar un incendio de tipo B, es decir un extintor de PQS o de CO₂
- ▶ Finalmente es necesario mencionar que en caso de derrame de combustible es necesario contar con los equipos de control de derrames, a fin de evitar la contaminación del área de trabajo

3.7.3 Manual de operación

 ITSA	MANUAL DE OPERACIÓN		Página 1 de 4
	PROCEDIMIENTO PARA LA OPERACIÓN DEL COMPROBADOR DE INYECTORES DEL MOTOR PT6		CÓDIGO: MOPE
	ELABORADO POR: ALEJANDRO DAVID PROAÑO CHILCAÑAR		REVISIÓN N°: 01
	APROBADO POR: SGOS. TEC. AV. LCDO. MOLINA EDISON	FECHA: 16 – 06 – 2011	FECHA: 16 – 06 – 2012

Descripción

Este instructivo determina los procedimientos a seguir para la operación del comprobador, el cual consta de las siguientes características.

- ▶ Capacidad del Reservoirio: 2300 cm³
- ▶ Presión de funcionamiento: 100 PSI MAX.
- ▶ Peso del Comprobador: 30 Lbs.

Este comprobador de inyectores consta de los siguientes ítems:

1. Base del comprobador.
2. Línea de abastecimiento de presión neumática.
3. Válvula reguladora de presión.
4. Tapón de llenado.
5. Reservoirio de combustible.
6. Filtro.

- 7. Manómetro.
- 8. Conexión a tierra.
- 9. Llave de corte de combustible.
- 10. Adaptador para inyector.

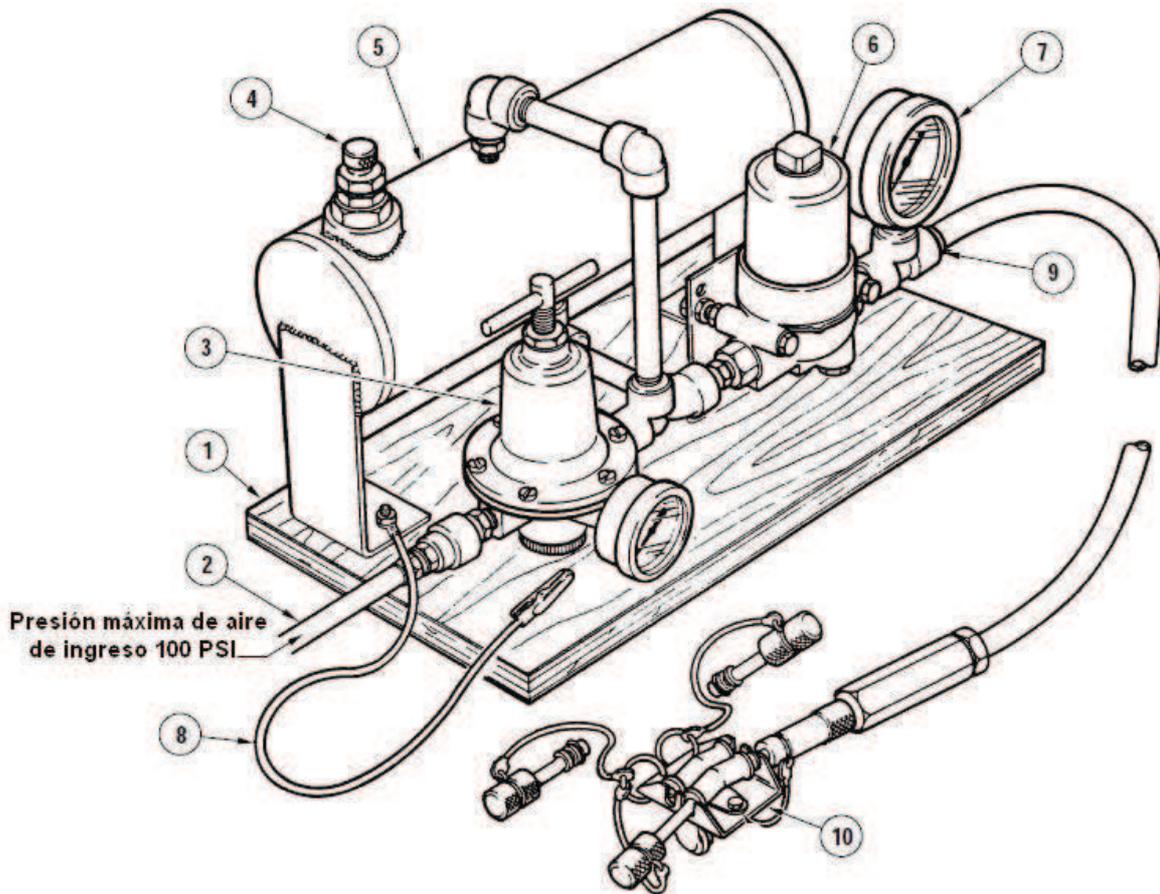


Figura N° 31: Descripción del comprobador de inyectores

Fuente: Pratt & Whitney – Manual de Mantenimiento

Procedimiento

a) Procedimiento antes de iniciar.

- 1) Cumpla las disposiciones del manual de seguridad para el uso del comprobador de inyectores.

- 2) Verifique de forma visual por discrepancias en las conexiones del comprobador de inyectores e integridad del mismo.
- 3) Conecte el cable de descarga a tierra para eliminar el riesgo de una descarga electrostática. (Figura N° 31 – Ítem 8)
- 4) Asegurarse de que el reservorio del comprobador de inyectores contenga suficiente combustible para realizar las labores requeridas, de lo contrario proceder a llenarlo con combustible JP1, removiendo el tapón del puerto de llenado ubicado en la parte superior del mismo, una vez llenado el reservorio tapar el puerto con fuerza suficiente para evitar fugas de presión.

b) Uso del comprobador

- 1) Inserte el adaptador (Figura N° 31 – Ítem 10) en los puertos de los inyectores, según se requiera.
- 2) Asegúrese que las conexiones del adaptador estén suficientemente apretadas a fin de evitar fugas.
- 3) Conecte la línea de abastecimiento de presión neumática al comprobador (Presión máxima: 100 PSI) (Figura N° 31 – Ítem 2).
- 4) Ajuste la presión neumática con la válvula reguladora de presión (Figura N° 31 – Ítem 3) lentamente hasta obtener un valor de 20 PSI en el manómetro (Figura N° 31 – Ítem 7).
- 5) Abra la llave de corte de combustible de salida del comprobador (Figura N° 31 – Ítem 9) en un solo movimiento, apuntando el atomizador hacia abajo.

- 6) Observe el haz de pulverización de combustible, el cual debe ser uniforme, libre de chispeo o goteo.
- 7) Ajuste nuevamente la presión de aire de ingreso con la válvula reguladora de presión (Figura N° 31 – Ítem 3), hasta obtener un valor de 60 PSI
- 8) Observe que el volumen de pulverización se incremente y sea distribuido de manera uniforme a partir del centro del orificio del atomizador. Si existe discontinuidad en el haz de atomización mayor del 20%, rechace el atomizador.
- 9) Reduzca la presión de entrada de aire a cero usando la válvula reguladora de presión (Figura N° 31 – Ítem 3).
- 10) Cuando el combustible deje de fluir a través del atomizador, cierre la llave de corte de combustible y desconecte el acople del inyector.
- 11) Desconecte el abastecimiento de aire del comprobador y de la toma.
- 12) Limpie y seque los residuos de combustible del comprobador de inyectores y de las superficies en las que haya caído por accidente

3.7.4 Manual de mantenimiento

 <p>ITSA</p>	MANUAL DE MANTENIMIENTO		Página 1 de 2
	PLAN DE MANTENIMIENTO DEL COMPROBADOR DE INYECTORES DEL MOTOR PT6		CÓDIGO: MMAN
	ELABORADO POR: ALEJANDRO DAVID PROAÑO CHILCAÑAR		REVISIÓN N°: 01
	APROBADO POR: SGOS. TEC. AV. LCDO. MOLINA EDISON	FECHA: 16 – 06 – 2011	FECHA: 16 – 06 – 2012

Descripción

El contenido expuesto en este manual tiene la finalidad de mantener condiciones óptimas de operación del comprobador de inyectores, siguiendo los pasos que se describen a continuación.

Procedimiento

Una vez terminada la labor de mantenimiento en la cual se ha requerido el uso del comprobador de inyectores, es menester realizar el mantenimiento del mismo, a fin de que esté disponible para un próximo uso. Para lo cual se debe seguir los siguientes pasos.

- 1) Inspeccione de forma visual buscando fugas de combustible o discrepancias en la estructura del comprobador, si existiera discrepancias remplace el componente que presente deterioro.
- 2) Vacíe la totalidad del combustible del banco de comprobación, y proceda a secar el mismo usando aire a baja presión.

- 3) Compruebe que las cañerías se encuentren libres de obstrucciones, revisando si existe disminución de presión entre los manómetros.
- 4) Revise que los manómetros se encuentren operando de forma apropiada.
- 5) Remplace el filtro de combustible una vez completadas las 300 operaciones de comprobación del banco.
- 6) Compruebe la integridad de la conexión a tierra revisando si esta se encuentra en buen estado.
- 7) Para el almacenamiento del banco de comprobación de inyectores se lo debe ubicar en un área libre de humedad y protegido de polvo u otros agentes externos.

3.8 Presupuesto

El presupuesto de la construcción de este proyecto se basó en proformas que se cotizaron para cada uno de los materiales y accesorios que se utilizaron llegando así a un monto total de SETECIENTOS CUARENTA Y OCHO dólares americanos.

3.8.1 Rubros

Para determinar el costo total de la construcción de este proyecto se tomó en cuenta los siguientes rubros:

- Costo primario (Material).
- Maquinaria, herramienta y equipo.
- Mano de obra.
- Costo secundario (Material de Oficina)

3.8.1.1 Detalle de costos

Comprende el costo detallado de los materiales y accesorios utilizados.

Tabla N° 12: Costo primario.

N.	MATERIAL	CANT.	P. UNITARIO	COSTO
1	Plancha de Tol al Frio	1	41.00	41.00 USD
2	Tubo de Acero Galvanizado	1	40.00	40.00 USD
3	Válvula Reguladora de Presión	1	20.00	20.00 USD
4	Electrodos 6011	8	3.00	24.00 USD
5	Filtro con Base	1	95.00	95.00 USD
6	Manómetro	1	3.30	3.30 USD
7	Manguera de Presión Neumática	1	12.00	12.00 USD

8	Juego de Conexiones Neumáticas	1	4.30	4.30 USD
9	Codo Acero Galvanizado	6	0.30	1.80 USD
10	Universal de ¼"	1	0.80	0.80 USD
11	T de Acero Galvanizado	1	0.40	0.40 USD
12	Neplo Acero Galvanizado	7	0.20	1.40 USD
13	Teflón	2	0.50	1.00 USD
TOTAL				245.00 USD

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

Tabla N° 13: Maquinaria, Herramienta y Equipos.

N°	MAQUINARIA	TIEMPO (h)	COSTO
4	Taladro de banco	1:00	5.00 USD
5	Suelda eléctrica	2:00	4.00 USD
6	Dobladora manual	2:00	10.00 USD
7	Cizalla manual	1:00	10.00 USD
8	Equipo de pintura	2:00	25.00 USD
TOTAL			93.00 USD

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

Tabla N° 14: Mano de obra.

N°	DETALLE	COSTO
1	Técnico Mecánico	60.00 USD
2	Pintor	40.00 USD
TOTAL		100.00 USD

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

Tabla N° 15: Costos secundarios.

N.	MATERIAL	COSTO
1	Pago Aranceles de Graduación.	120.00 USD.
2	Suministros de oficina.	30.00 USD.
3	Alimentación.	50.00 USD.
4	Transporte.	20.00 USD.
5	Copias e impresiones de trabajo.	50.00 USD.
6	Empastados, Anillados del proyecto.	30.00 USD.
7	Varios	10.00 USD.
TOTAL		310.00 USD

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

Tabla N° 16: Costos total del proyecto.

N°.	DESIGNACIÓN	COSTO
1	Costo Primario	245.00 USD
2	Maquinaria, Herramienta y Equipos	93.00 USD
3	Mano de obra.	100.00 USD
4	Costo Secundario	310.00 USD
TOTAL		748.00 USD

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Alejandro Proaño

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se resumen las observaciones finales, una vez que todo el trabajo ha sido terminado y se ha comprobado las características del mismo sin ninguna falla o desperfecto.

Analizados todos los procedimientos, procesos, problemas y beneficios del Comprobador de Inyectores para el Motor PT6 se emiten las siguientes conclusiones y recomendaciones.

4.1 Conclusiones

- Se recopiló toda la información necesaria para la elaboración de la maqueta, haciendo un estudio completo del diseño del Comprobador de Inyectores para el Motor PT6.
- Se construyó la maqueta basándose en un diseño inicial, el mismo que se fue mejorando a medida que avanzaban los trabajos para obtener los resultados deseados, y que son el demostrar de forma practica la labor de inspección y mantenimiento de inyectores del Motor PT6.
- La maqueta representa un comprobador de inyectores para el motor PT6 de manera totalmente fidedigna y funcional, es de fácil manejo y transporte.
- Se construyó el comprobador de inyectores siguiendo normas y procedimientos de seguridad y funcionamiento, por lo cual se elaboraron manuales que estarán a disposición en el laboratorio de motores.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar más trabajos de este tipo ya que permiten observar, de una manera apegada a la realidad, los diferentes componentes de un Comprobador de Inyectores.
- Se recomienda poner especial atención al momento de realizar el desmontaje, comprobación y montaje de los inyectores ya que el personal técnico que estudia en el ITSA trabajará en este tipo de labores de mantenimiento, pruebas de funcionamiento y operación y demás tareas que requieran el manejo de equipos de comprobación y herramientas especiales.
- Se recomienda seguir implementado material didáctico en las diferentes áreas del ITSA, ya que ayudan al Docente y al Estudiante a comprender mejor el funcionamiento de los sistemas, componentes, dispositivos, y operaciones que comprenden el mundo del mantenimiento aeronáutico.
- Se recomienda antes de usar el comprobador de inyectores revisar los manuales de seguridad y operación.

GLOSARIO

- MACH.-** Cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido
- ESHHP.-** Caballos de fuerza equivalentes en el eje (Equivalent Shaft Horsepower)
- SHP.-** Caballos de fuerza en el eje (Shaft Horsepower)
- RPM.-** Revoluciones por minuto
- GLP.-** Gas licuado de petróleo
- AVGAS.-** Combustible de aviación (Aviation Gasoline)
- Ng.-** Velocidad del generador de gases (Gas Generator Speed N1)
- FCU.-** Unidad de control de combustible (Fuel Control Unit).
- PLA.-** Posición de la palanca de potencia (Power Lever Angle)
- P0.-** Presión de bypass de combustible
- P1.-** Presión de entrega de la bomba de combustible
- P2.-** Presión de combustible medida
- P3.-** Presión de descarga del compresor (Compressor Discharge Pressure)
- N1.-** Revoluciones del compresor de baja presión.
- N2.-** Revoluciones del compresor de alta presión.
- Ralentí.-** Régimen mínimo de revoluciones por minuto
- SMAW.-** Soldadura manual con electrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding)

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- **PT6 PRATT & WHITNEY CANADA** – MM – 2009
- **INFRA**, “Manual de Conceptos Básicos en Soldadura y Corte” Tomo I.
- **Recopilación del Derecho Aeronáutico**, marzo 2008.
- **Microsoft® Encarta®** 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.
- **Física II: Un Enfoque Constructivista**. Héctor Núñez Trejo. 2007
- **Mecánica de Materiales** - Beer & Johnston (3^{ra} Ed. 2001) McGraw Hill

PÁGINAS WEB

- <http://www.google.com/images>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Principio de Pascal](http://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Pascal)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Combustible>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Aviation fuel](http://en.wikipedia.org/wiki/Aviation_fuel)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Jet fuel](http://en.wikipedia.org/wiki/Jet_fuel)
- <http://www.misrespuestas.com/que-es-el-acero-galvanizado.html>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Motor de reacci%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_reacci%C3%B3n)
- <http://www.pwc.ca/en/engines/pt6a>
- <http://www.unitedturbine.com/downloads.html>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Pratt %26 Whitney Canada PT6](http://en.wikipedia.org/wiki/Pratt_%26_Whitney_Canada_PT6)

A N E X O S

Anexo A
Anteproyecto Del Trabajo De Graduación



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
AERONÁUTICO

TEMA: Investigación de Factibilidad de la
Construcción de Material Didáctico para el
Estudio del Motor PT6

Realizado por: Alejandro David Proaño
Chilcañar

Carrera: Mecánica Aeronáutica Mención Motores

Octubre de 2010

1. El Problema.

1.1. Planteamiento del problema.

En el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA), ubicado en la ciudad de Latacunga, dentro de su oferta académica cuenta con carreras únicas en el país, como es la Carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores. Dentro de sus instalaciones el instituto cuenta con varios laboratorios y talleres. Uno de estos laboratorios es el laboratorio de motores que está ubicado en el Bloque 42.

Según experiencias propias al momento de realizar prácticas en el laboratorio de motores en el Bloque 42, y mediante diálogos sostenidos con instructores y personas relacionadas con el taller, se ha podido observar que existen varios elementos de instrucción como maquetas, bancos de prueba, soportes, entre otros. A pesar de encontrar todos estos elementos también se pueden implementar otros elementos de estudio acordes al avance tecnológico que serían de gran utilidad en el proceso enseñanza aprendizaje para los alumnos al momento de desarrollar nuevas destrezas, ya que podría existir deficiencia en la operación de equipos para la ejecución de labores de mantenimiento; labores tales como es la comprobación de inyectores, la cual constituye una tarea básica de mantenimiento que se la realiza de manera periódica en los programas de mantenimiento de motores, lo cual repercute de una manera muy grave al momento de desempeñarse dentro del campo laboral, ya que este tipo de conocimientos son parte primordial de una instrucción básica adquirida en el ITSA ya que con la implementación de nuevos equipos se lograría adquirir los conocimientos básicos y el desarrollo de destrezas practicas necesarias para desempeñar las labores de mantenimiento. Este problema debe ser solucionado porque recae en el prestigio y aceptación del ITSA, como formador de excelentes profesionales, al mismo tiempo que los graduados como Tecnólogos Aeronáuticos no lograrían posicionarse en el campo laboral.

1.2. Formulación del problema.

¿Cuál es la factibilidad de la construcción de material didáctico para mejorar el proceso enseñanza aprendizaje del motor PT6 para los alumnos de quinto y sexto nivel de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores del ITSA?

1.3. Justificación.

Dada la necesidad de establecer la factibilidad de la construcción de material didáctico para mejorar el proceso enseñanza aprendizaje del motor PT6 para los alumnos de quinto y sexto nivel de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores del ITSA, se lleva a cabo esta investigación, para buscar alternativas que sean factibles para incrementar el material de instrucción. Este material va a beneficiar a los estudiantes del ITSA, ya que por medio del mismo se mejorarán las destrezas, se logrará un incremento en el nivel profesional, además de mejorar la imagen institucional ya que el ITSA lograría proporcionar profesionales más preparados para la industria aeronáutica.

1.4. Objetivos.

Objetivo General.

- Investigar la factibilidad de la construcción de material didáctico para mejorar el proceso enseñanza aprendizaje del motor PT6 para los alumnos de quinto y sexto nivel de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores del ITSA, para crear un medio de apoyo en el proceso enseñanza aprendizaje.

Objetivos Específicos.

- Recolectar información sobre la factibilidad de la construcción de material didáctico para mejorar el proceso enseñanza aprendizaje del motor PT6 mediante entrevistas a los docentes y alumnos de quinto y sexto nivel de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores del ITSA.
- Analizar toda la información recolectada para formular las conclusiones y recomendaciones.
- Proponer un medio factible que sirva de apoyo para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje del motor PT6 para los alumnos.
- Investigar la información relacionada al banco de comprobación de inyectores para el motor PT6.

1.5. Alcance.

- **Espacial.**

Esta investigación se va a realizar en la ciudad de Quito y Latacunga a un grupo de alumnos de quinto, sexto nivel y docentes de la Carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores del ITSA.

- **Temporal.**

Durante el periodo académico del ITSA en el mes de Octubre del 2010.

- **De Contenido.**

Área: Laboratorio de Mecánica Aeronáutica.

Aspecto: Mantenimiento – Motores.

2. Marco Teórico.

2.1. Antecedentes.

El motor PT6 que se encuentran en las instalaciones del laboratorio de mantenimiento de motores “Bloque 42” en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, consta de la siguiente configuración general.

Notas generales del motor PT6.

Diseño inicial	1958
Primera producción del motor	1963
Motores entregados	27 900+
Horas acumuladas	211 692 000+
Aviones certificados para operación	59
Operadores	5301
Países en los que se usa	160

Referencias del motor PT6

Rangos de potencia	500 a 2000 SHP
Flujo de masa de aire máximo	10.22 a 11.21 lbs. /seg.
Rango de compresión del compresor	10:1 a 12:1
Consumo de combustible específico	.509 a .680 LB/ESHP/hr

El motor PT6 está dividido en 2 módulos principales: Generador de gases y Sección de potencia. El motor PT6 consta de los siguientes componentes generales:

Caja de accesorios.

La caja de accesorios es impulsada por el compresor, mueve a los accesorios del motor y del avión.

Compresor.

El compresor consta de 4 etapas axiales mas 1 etapa centrifuga, que proveen el flujo de masa de aire necesario a la presión requerida para mantener la combustión y enfriar los componentes de la sección caliente.

Cámara de combustión.

La cámara de combustión es de tipo anular, de flujo invertido (acorta el motor), provee un área para la combustión de la mezcla aire combustible.

Turbina del compresor.

La turbina del compresor es de una sola etapa (de rotación anti horaria), recupera la energía de los gases para impulsar al compresor.

Turbina de potencia.

La turbina de potencia consta de dos etapas de turbina (de rotación horaria) independiente de la turbina del compresor (turbina libre), extrae energía de los gases para mover a la hélice.

Caja de reducción.

La caja de reducción es una caja de dos etapas planetarias de reducción, integra un sistema de aseguramiento de torque de tipo hidromecánico, reduce la velocidad de la turbina de potencia a una velocidad adecuada para la operación de la hélice.

Sistema de control del motor.

El sistema de control del motor consta de una hélice de velocidad variable, consta de un sistema de empuje invertido de la hélice y una unidad de control de combustible de tipo hidroneumática.

Sistema de combustible.

El sistema de combustible provee al motor con combustible limpio a la presión y flujo requeridos para permitir el control de la potencia del motor.

Componentes.

- Calentador de combustible.
- Bomba de combustible.
- Unidad de control de combustible.
- Divisor de flujo.
- Inyectores de combustible (14).
- Válvulas de drenaje de combustible.

Descripción.

Combustible de los tanques de combustible de la aeronave es enviado hacia el calentador de combustible por medio de una o más bombas booster del avión. Desde el calentador de combustible, el combustible es dirigido hacia la bomba de combustible. La bomba de combustible envía el combustible hacia la unidad de control de combustible (FCU) la cual determina la cantidad de combustible requerida por el motor para producir la potencia requerida por la palanca de potencia y de acuerdo con las condiciones ambientales.

El combustible excesivo es devuelto hacia la entrada de la bomba de combustible para que el flujo de combustible que va hacia el motor atraviese el medidor de flujo de combustible para indicar el consumo de combustible en la cabina. Luego el combustible alcanza el divisor de flujo en el cual se direcciona el flujo hacia los múltiples de combustible primario y secundario para abastecer a todos los inyectores. Los inyectores de combustible atomizan el combustible en la cámara de combustión para mantener la combustión.

Atomizadores de combustible tipo Simplex.

Función.

Entregar y atomizar el combustible medido dentro de las cámaras de combustión.

Construcción.

- 14 adaptadores para inyectores de combustible, 7 primarios, 7 secundarios.
- 14 cobertores.
- 14 puntas inyectoras de combustible.
- 28 tubos de transferencia (múltiples).

Operación.

Al iniciar, el combustible fluye a través del múltiple primario y los siete inyectores de combustible primarios. La posición de los inyectores de combustible primarios es tal que el combustible es atomizado circunferencialmente en dirección de las bujías para facilitar la ignición.

Un incremento en N_g (N_1) causa que la presión de combustible se incremente y los inyectores de combustible secundarios atomizan combustible dentro de la cámara de combustión.

Durante la operación, todos los 14 inyectores de combustible reciben combustible desde el divisor de flujo y lo entregan hacia la cámara de combustión.

2.2. Fundamento teórico.

Aeronave.- Según la R-DAC - 001 Pág. 2.00 aeronave es toda máquina que pueda sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.

Accesorio.- Se denomina accesorio a los elementos o componentes que forman parte del equipamiento complementario de una máquina y que no se usa de manera continua sino cuando es requerido su servicio.

Atomizar.- Se denomina atomizar a la acción de dividir en partes sumamente pequeñas.

Bombas booster.- Termino usado comúnmente en para una bomba elevadora de presión de tipo eléctrica que forma parte del sistema de combustible del avión.

Bujía.- La bujía es el elemento que produce el encendido de la mezcla de combustible y aire en la (o las) cámaras de combustión, mediante una chispa, en un motor de combustión interna.

Caja de accesorios.- Una caja de accesorios provee de conversiones tanto de velocidad como de troque de una fuente de energía de rotación hacia otro dispositivo.

Cámara de combustión.- La cámara de combustión es el lugar donde se realiza la combustión del combustible con el comburente, generalmente aire, en el motor de combustión interna.

Comburente.- Se denomina comburente a la sustancia que participa en la combustión oxidando al combustible.

Combustible.- Combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando se quema.

Combustión.- La combustión o quema es la secuencia exotérmica de reacciones químicas entre un combustible y un oxidante acompañado por la producción de calor y la conversión de las especies químicas.

Componente.- Según la R-DAC-001 Pág. 18.00 es un conjunto, parte, artículo, pieza o elemento constitutivo de una aeronave según las especificaciones del fabricante y por extensión, de la estructura, motor, hélice o accesorio.

Componente Aeronáutico.- Todo elemento que conforma una aeronave.

Componente Clase “A”.- Refiérase a fuselaje, sistema de propulsión.

Componente Clase “B”.- Todos los componentes que en conjunto conforman componentes clase “A”.

Componente Clase “C”.- Todo lo que se refiere a Ferretería y Herramientas aeronáuticas.

Compresión.- Es el esfuerzo de compresión es la resultante de las presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección.

Compresor.- Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

Empuje.- El empuje es una fuerza de reacción descrita cuantitativamente por la tercera ley de Newton. Cuando un sistema expulsa o acelera masa en una dirección (acción), la masa acelerada causará una fuerza igual en sentido opuesto (reacción).

ESHP.- Siglas que corresponden a Equivalent Shaft Horsepower (caballos de fuerza equivalentes en el eje).

FCU.- Siglas correspondientes a Fuel Control Unit (unidad de control de combustible).

Hélice.- La hélice es un dispositivo formado por un conjunto de elementos denominados palas, montados de forma concéntrica alrededor de un eje, girando alrededor de éste en un mismo plano.

Ignición.- Ignición es un método para activar y controlar la combustión de un combustible en una cámara de combustión interna.

Inyector.- Un inyector es un dispositivo utilizado para bombear fluidos utilizando el efecto Venturi. Utiliza un fluido a alta presión que sale por una boquilla a alta velocidad y baja presión convirtiendo su energía potencial en energía cinética.

Motor de Combustión Interna.- Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina en sí misma, a diferencia de, por ejemplo, la máquina de vapor.

Motor Turbohélice.- El tipo de motor denominado turbohélice (en inglés: turboprop) tiene montada delante del reactor una hélice propulsada por una segunda turbina, denominada turbina libre, o por etapas adicionales de la turbina que mueve el compresor (tipo eje fijo).

Ng (N1).- Corresponde a la abreviatura usada para designar la velocidad del generador de gas.

SHP.- La sigla SHP representa a Shaft Horsepower (Caballos de fuerza en el eje).

Torque.- Corresponde al par motor el cual es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.

Turbina.- Una turbina es un mecanismo que transforma la energía cinética de los gases producto de la combustión en forma de energía mecánica.

Válvulas.- Una válvula es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

3. Plan De Investigación.

3.1. Modalidad básica de investigación.

Para el desarrollo de esta investigación se llegará solamente hasta el nivel exploratorio, ya que este trabajo está dirigido a tener un conocimiento general y aproximado de la realidad. Emplearé este tipo de investigación puesto que únicamente requiero explorar la factibilidad de la construcción de material didáctico para el estudio del motor PT6. Además usaré la modalidad no experimental porque se investigará en un tiempo determinado y no se manipulará ninguna variante.

3.2. Tipos de investigación.

Los tipos de investigación que usaré son:

INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL Y BIBLIOGRÁFICA: Puesto que se va realizar las consultas a partir de la revisión de diferentes fuentes bibliográficas o

documentales como son libros, manuales e internet; analizando las fuentes consultadas.

INVESTIGACIÓN DE CAMPO: Debido a que recopilaré la información en el lugar donde se suscitan los hechos, buscando alternativas factibles para el incremento del material didáctico de la institución.

3.3. Niveles de investigación.

NIVEL EXPLORATORIO: Porque se realizará revisión bibliográfica esto ayudará a explorar el fenómeno de investigación.

NIVEL DESCRIPTIVA: Porque se realiza una investigación de campo que permite al investigador describir lo que sucede con el fenómeno.

3.4. Universo, población y muestra.

UNIVERSO: El universo para esta investigación corresponderá a los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico y el personal docente del mismo.

POBLACIÓN: La población corresponde a los estudiantes de la carrera de Mecánica mención Motores de quinto y sexto nivel y docentes de la misma.

MUESTRA: Se realizara una muestra intencionada puesto que se identificara a las personas que sean las apropiadas para obtener la información requerida.

3.5. Plan de recolección de datos.

¿Para qué?

Esta investigación se la realizará para conocer la factibilidad de la construcción de material didáctico para el estudio del motor PT6.

¿De qué personas?

De los alumnos de quinto y sexto nivel y personal docente de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores del ITSA.

¿Sobre qué aspecto?

Sobre la factibilidad de la construcción de material didáctico para el estudio del motor PT6.

¿Quiénes?

El investigador Alejandro Proaño.

¿Cuándo?

En Octubre del 2010.

¿Dónde?

En la ciudad de Quito, y Latacunga en las instalaciones del ITSA y en los talleres de mantenimiento de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

¿Cuántas veces?

Una vez.

¿Qué técnicas de recolección?

La entrevista.

¿Con que instrumentos?

Cuestionario.

¿En qué situación?

Durante el periodo académico.

3.6 Procesamiento de la información.

Una vez que se recolecta la información se la procesa en la hoja electrónica de Excel que luego me permitirá realizar las tablas y graficas circulares.

3.7 Análisis y la interpretación.

Se realizará a través de la presentación de los resultados en base a tablas estadísticas y gráficas circulares.

3.8 Conclusiones y recomendaciones.

Luego de haber analizado e interpretado la información recolectada se procederá a determinar las respectivas conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

4. Ejecución Del Plan De Investigación.

4.1 Modalidad básica de investigación.

Exploratorio: puesto que la investigación se dirigió a tener un conocimiento general o aproximado de la realidad.

No experimental: debido a que no se manipuló ninguna de las variables.

4.2 Tipos de investigación.

DOCUMENTAL Y BIBLIOGRÁFICA: Porque se utilizó apoyo en bibliografía que me ayudó a explorar el fenómeno.

DE CAMPO: El investigador realizó la investigación en los talleres de mantenimiento.

4.3 Niveles de investigación.

EXPLORATORIO: Porque se hizo investigación bibliográfica la cual ayudó a explorar el fenómeno.

DESCRIPTIVO: Porque se hizo una investigación de campo que permitió al investigador hacer una descripción de lo que sucedió con el fenómeno.

4.4 Universo, población y muestra.

UNIVERSO: Estudiantes del ITSA = 540

POBLACIÓN: Estudiantes de mecánica-motores de quinto, sexto nivel del ITSA = 200

MUESTRA: Se selecciono a 1 docente que imparte la materia de PTMT en el ITSA, y a 29 alumnos en forma aleatoria.

4.5 Recolección de datos.

La entrevista se ejecutó en las instalaciones del ITSA en la ciudad de Latacunga los días miércoles 21 y jueves 22 de octubre de 2010, a los alumnos de quinto, sexto nivel de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores del ITSA y al docente seleccionado.

4.6 Procesamiento de la información.

Una vez recolectada la información se la procesó en la hoja electrónica de Excel que permitió realizar las tablas y gráficas circulares.

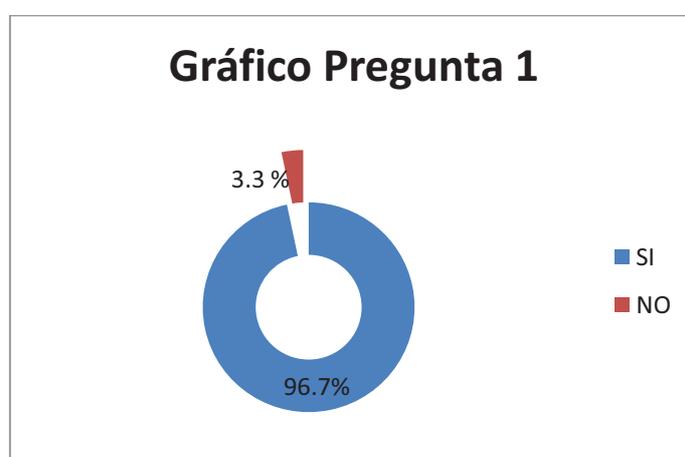
4.7 Análisis y la interpretación.

1. ¿Ha realizado prácticas en los distintos tipos de motores que se encuentran en el laboratorio de motores “Bloque 42” del ITSA?

Tabla 1

OPCIONES	FRECUENCIAS	PORCENTAJE
Si	29	96.7 %
No	1	3.3 %
TOTAL	30	100 %

Fuente: Estudiantes de 5°, 6° nivel y egresados de la carrera de mecánica aeronáutica del ITSA
Elaborado por: Alejandro Proaño



ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Con respecto a la primera pregunta los entrevistados responden que si el 96.7 %, mientras que el 3.3 % responde que no.

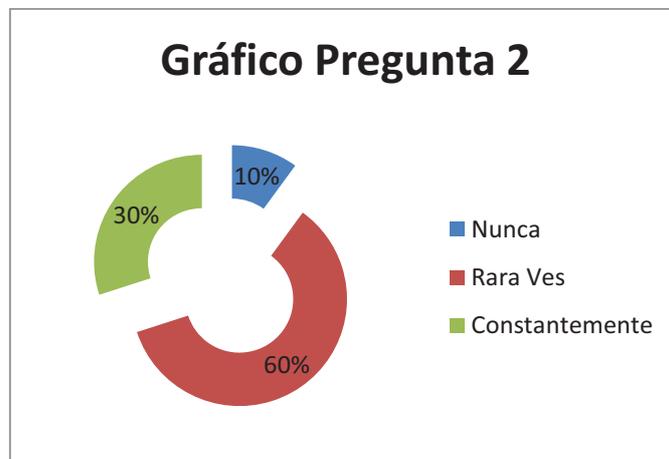
De lo que se puede deducir que casi la totalidad de estudiantes de 5°, 6° nivel de la carrera de mecánica aeronáutica del ITSA han realizado prácticas en los distintos tipos de motores que se encuentran en el laboratorio de motores “Bloque 42” del ITSA.

2. ¿Con que frecuencia un docente le proporciono algún tipo información sobre el funcionamiento de inyectores en motores JET?

Tabla 2

OPCIONES	FRECUENCIAS	PORCENTAJE
Nunca	3	10 %
Rara Ves	18	60 %
Constantemente	9	30 %
TOTAL	30	100 %

Fuente: Estudiantes de 5°, 6° nivel y egresados de la carrera de mecánica aeronáutica del ITSA
Elaborado por: Alejandro Proaño



ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Con respecto segunda pregunta el 30 % de los entrevistados responde que se le supo proporcionar de forma constante información sobre el funcionamiento de inyectores en motores JET, mientras que el 60 % de los entrevistados considera que rara vez se le dio algún tipo de información sobre el funcionamiento de inyectores, y solo el 10 % de los entrevistados responde que nunca recibió ningún tipo de información sobre los inyectores.

Esto quiere decir que los encuestados están en un nivel intermedio en el conocimiento del funcionamiento de inyectores en los motores JET.

3. ¿Conoce físicamente los inyectores del motor PT6?

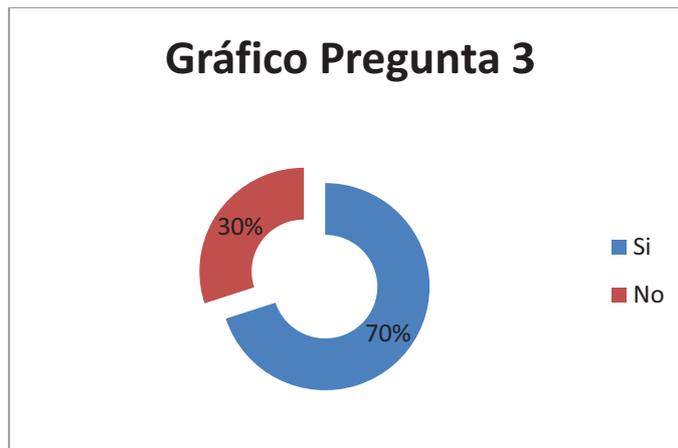
Tabla 3

OPCIONES FRECUENCIAS PORCENTAJE

OPCIONES	FRECUENCIAS	PORCENTAJE
Si	21	70 %
No	9	30 %
TOTAL	30	100%

Fuente: Estudiantes de 5°, 6° nivel y egresados de la carrera de mecánica aeronáutica del ITSA

Elaborado por: Alejandro Proaño



ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

En la tercera pregunta que busca conocer si los entrevistados conocen físicamente los inyectores del motor PT6, los entrevistados respondieron que el 30 % de ellos no los conoce, mientras que el 70 % de los entrevistados si conoce físicamente los inyectores del motor PT6.

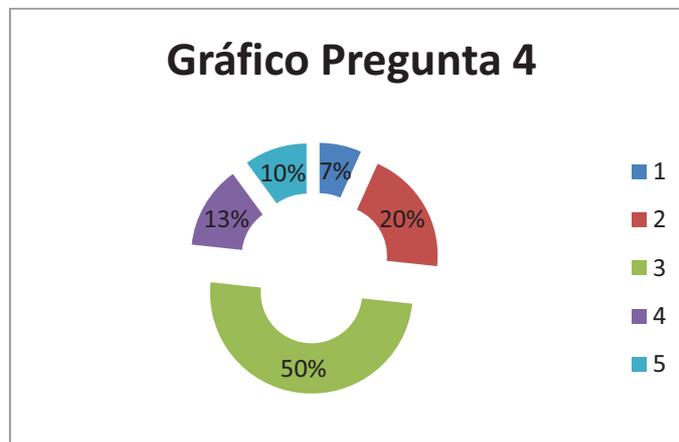
Esto quiere decir que la mayoría de los estudiantes de mecánica conocen físicamente a los inyectores del motor PT6 que se encuentra en las instalaciones del instituto, sin embargo es muy importante que todos tengan la oportunidad de conocer físicamente un inyector de motor JET.

4. En la escala del 1 al 5, indique que tan rápido Ud. localiza los inyectores en el motor PT6; siendo 1 el más rápido y 5 el más lento.

Tabla 4
OPCIONES FRECUENCIA PORCENTAJE

OPCIONES	FRECUENCIA	PORCENTAJE
1	2	7%
2	6	20%
3	15	50%
4	4	13%
5	3	10%
TOTAL	30	100%

Fuente: Estudiantes de 5°, 6° nivel y egresados de la carrera de mecánica aeronáutica del ITSA
Elaborado por: Alejandro Proaño



ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

En la pregunta 4 que busca analizar la rapidez con la que los entrevistados localizan los inyectores en el motor PT6, se obtuvo que el 7 % los localiza en forma rápida, el 20 % los encuentra de forma medianamente rápida, el 50 % que representa a la mayoría los ubica en forma medianamente rápida, el 13 % los ubica en forma medianamente lenta, y el 10 % los encuentra de forma lenta.

Concluyo así que los estudiantes de 5°, 6° nivel y egresados de la carrera de mecánica aeronáutica del ITSA tienen un nivel intermedio en su gran mayoría con respecto a la rapidez, sin embargo para este tipo de tareas se debería tener la mayoría un nivel de rapidez más elevado ya que la tarea es sencilla.

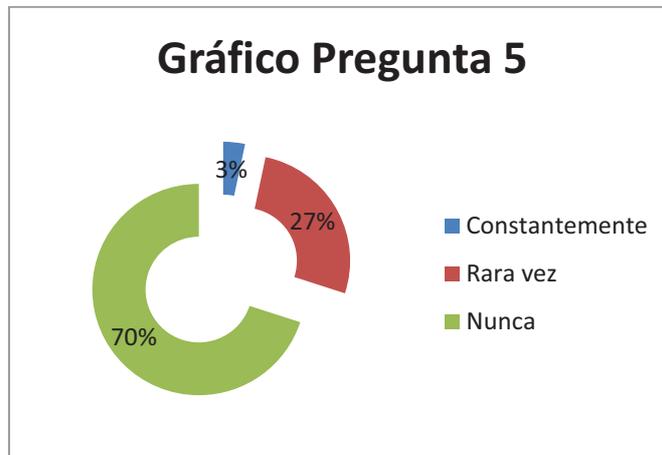
5. ¿Recibió conocimientos básicos sobre el funcionamiento de comprobadores de inyectores en motores JET?

Tabla 5

OPCIONES	FRECUENCIAS	PORCENTAJE
Constantemente	1	3 %
Rara vez	8	27 %
Nunca	21	70 %
TOTAL	30	100%

Fuente: Estudiantes de 5°, 6° nivel y egresados de la carrera de mecánica aeronáutica del ITSA

Elaborado por: Alejandro Proaño



ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Para la quinta pregunta los entrevistados responden de la siguiente manera, el 3 % de los encuestados responde que recibió en forma constante conocimiento sobre comprobadores de inyectores, mientras que el 27 % dijo que rara vez recibió conocimientos acerca de comprobadores de inyectores, y un alarmante 70 % dijo que nunca había recibido conocimientos básicos sobre comprobadores de inyectores.

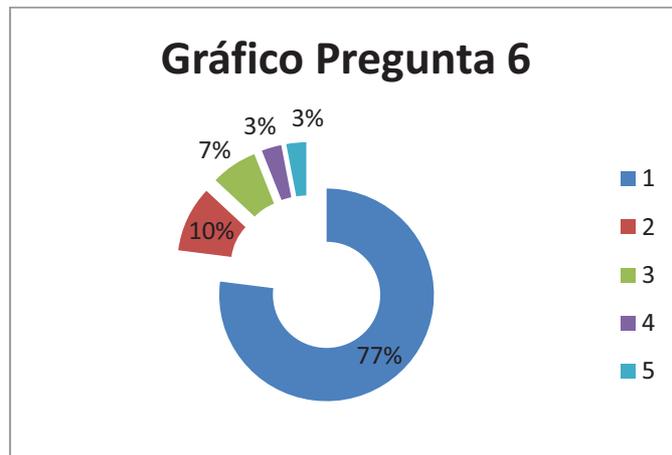
Estas respuestas ponen en evidencia que la mayoría de los entrevistados no podrían desempeñar labores de comprobación de inyectores debido a su falta de conocimientos en este ámbito, considerando la importancia que tiene este tipo de adiestramiento básico en la industria aeronáutica para un mecánico motorista.

6. En la escala del 1 al 5, señale, siendo 1 el más importante y 5 el menos importante, si le parece necesaria la implementación del equipo de comprobación de inyectores para el motor PT6 para realizar prácticas de comprobación funcionales de los inyectores.

Tabla 6
OPCIONES FRECUENCIA PORCENTAJE

OPCIONES	FRECUENCIA	PORCENTAJE
1	23	77 %
2	3	10 %
3	2	7 %
4	1	3 %
5	1	3 %
TOTAL	30	100%

Fuente: Estudiantes de 5°, 6° nivel y egresados de la carrera de mecánica aeronáutica del ITSA
Elaborado por: Alejandro Proaño



ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Para la pregunta 6 se obtuvo que el 77% de los entrevistados consideran muy importante la implementación de un comprobador de inyectores, mientras que el 10% opina que es algo importante, el 7% que dicen que es medianamente importante, el 3% dijo que es apenas importante, y el 3% restante dijo que no considera importante.

Con esto concluyo que para la mayoría de las personas entrevistadas es sumamente importante implementar este proyecto para el adiestramiento práctico con equipos de comprobación de inyectores.

4.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- He podido notar que la mayor parte de los estudiantes de 5°, 6° nivel de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores del ITSA tienen un conocimiento básico en lo que corresponde a la práctica de tareas de mantenimiento, el mismo que puede ser mejorado.
- He concluido que varios de los estudiantes de 5°, 6° nivel de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores del ITSA no conocen la mayoría de los equipos y el material didáctico existente en el laboratorio de motores “Bloque 42”.
- He concluido que los estudiantes de 5°, 6° nivel de la carrera de Mecánica Aeronáutica mención Motores del ITSA no tienen los conocimientos sobre el uso de equipos y herramientas especiales.
- La gran mayoría de los entrevistados consideran que el proyecto va es sumamente necesario para que los estudiantes tengan las facilidades en las prácticas y puedan obtener conocimientos y destrezas renovadas mediante el uso del equipo de comprobación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de un equipo de comprobación de inyectores para el motor PT6 para adquirir el adiestramiento práctico en este tipo de tareas de mantenimiento.
- Se recomienda el incremento de labores prácticas en las materias específicas propias de la especialidad del estudiante de mecánica del ITSA.
- Se recomienda la capacitación en el uso de equipos y herramientas especiales para que estos puedan ser usados adecuadamente en los laboratorios del ITSA.
- Se recomienda la difusión de la existencia y el uso del material didáctico y equipos existentes dentro de los laboratorios del ITSA.

Denuncia del tema.

Implementación de un comprobador de inyectores para el motor PT6 para el laboratorio de motores del ITSA

5. Marco administrativo.

5.1 Recursos:

- **Humanos:** El investigador Alejandro Proaño.
- **Materiales:** Tubería metálica, acoples metálicos, regulador de presión, manómetros, adaptadores para los inyectores, cámara fotográfica.
- **Técnicos:** Computadora, manual de comprobación de inyectores (Ala 11).
- **Económicos:**

Gasto	Directo	Indirecto
Comprobador	500	
Impresiones	50	
Soporte	50	
Alimentación		100
Transporte		50

Total	600	150
--------------	-----	-----

Presupuesto		750
--------------------	--	-----

5.2 Factibilidad:

- **Factibilidad técnica:** El tema puede ser implementado por el investigador apoyado en la asesoría técnica del personal de la base aérea de Quito y el asesoramiento técnico de los docentes del ITSA.
- **Factibilidad operacional:** El tema puede ser implementado por su funcionalidad en el ámbito del gran desarrollo en la destreza práctica que van a obtener los alumnos del ITSA.
- **Factibilidad económica:** El tema puede ser realizado debido a que su costo no es muy elevado.

6. CRONOGRAMA

N°	ACTIVIDADES	TIEMPO (SEMANAS)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Diseño proyecto	■	■										
2	Observaciones		■										
3	Aplicación de las Encuestas			■									
4	Sistematización de la información			■									
5	Redacción de Anteproyecto			■	■								
6	Presentación de Anteproyecto de Investigación				■								
7	Desarrollo de la investigación					■	■	■	■				
8	Presentación primer Borrador									■			
9	Observaciones									■			
10	Presentación segundo Borrador										■		
11	Observaciones										■		
12	Redacción de informe final											■	
13	Defensa del trabajo de investigación												■

BIBLIOGRAFÍA

1. DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL. *Recopilación De Derecho Aeronáutico* [documento escrito]. Actualización No. 153. [Quito, Ecuador]: Dirección General De Aviación Civil, mayo 2009 [citado septiembre 17, 2010]
2. PRATT & WHITNEY CANADA. *PT6A-60/61/64/65/66/67 Training Manual* [write document]. Pratt & Whitney Canada, Corp. [Quebec, Canada]1990, 2000 [citado septiembre 20, 2010]
3. ACCESORIO.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Accesorio>
4. ATOMIZAR.
<http://www.definicion.org/atomizar>
5. BUJÍAS.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Buj%C3%ADas>
6. CÁMARA DE COMBUSTIÓN.
http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1mara_de_combusti%C3%B3n
7. COMBURENTE.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Comburente>
8. COMBUSTIBLE.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Combustible>
9. COMBUSTIÓN.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Combustion>
10. COMPRESIÓN.
http://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo_de_compresi%C3%B3n
11. COMPRESOR.
http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_de_gas
12. EMPUJE
<http://es.wikipedia.org/wiki/Empuje>
13. HÉLICE.
[http://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9lice_\(dispositivo\)](http://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9lice_(dispositivo))
14. IGNICIÓN.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Ignici%C3%B3n>
15. PT6 ENGINE.
<http://www.pwc.ca/en/engines/pt6a>
16. INYECTOR DE COMBUSTIBLE.
<http://www.pt6.info/fuel-nozzles.html>
17. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.
http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna
18. MOTOR TURBOHÉLICE.
http://es.wikipedia.org/wiki/Turboh%C3%A9lice#cite_note-0
19. MOTOR TURBORREACTOR.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Turborreactor>
20. VÁLVULA.
<http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula>

ANEXOS

Cuestionario para la entrevista.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

El investigador Alejandro Proaño alumno egresado del ITSA con el objetivo de conocer el nivel existente de conocimiento y manejo de equipos de comprobación de inyectores de los alumnos de quinto, sexto nivel y egresados de la carrera de mecánica aeronáutica mención motores, realiza la siguiente entrevista que ayudará a mejorar el conocimiento y la aceptación de los futuros profesionales en el campo laboral.

Preguntas

1. **¿Ha realizado prácticas en los distintos tipos de motores que se encuentran en el laboratorio de motores “Bloque 42” del ITSA?**

- a) Si
b) No

2. **¿Con que frecuencia un docente le proporciona algún tipo información sobre el funcionamiento de inyectores en motores JET?**

- a) Nunca
b) Rara vez
c) Constantemente

3. **¿Conoce físicamente los inyectores del motor PT6?**

- a) Si
b) No

4. **En la escala del 1 al 5, indique que tan rápido Ud. localiza los inyectores en el motor PT6; siendo 1 el más rápido y 5 el más lento.**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. ¿Recibió conocimientos básicos sobre el funcionamiento de comprobadores de inyectores en motores JET?

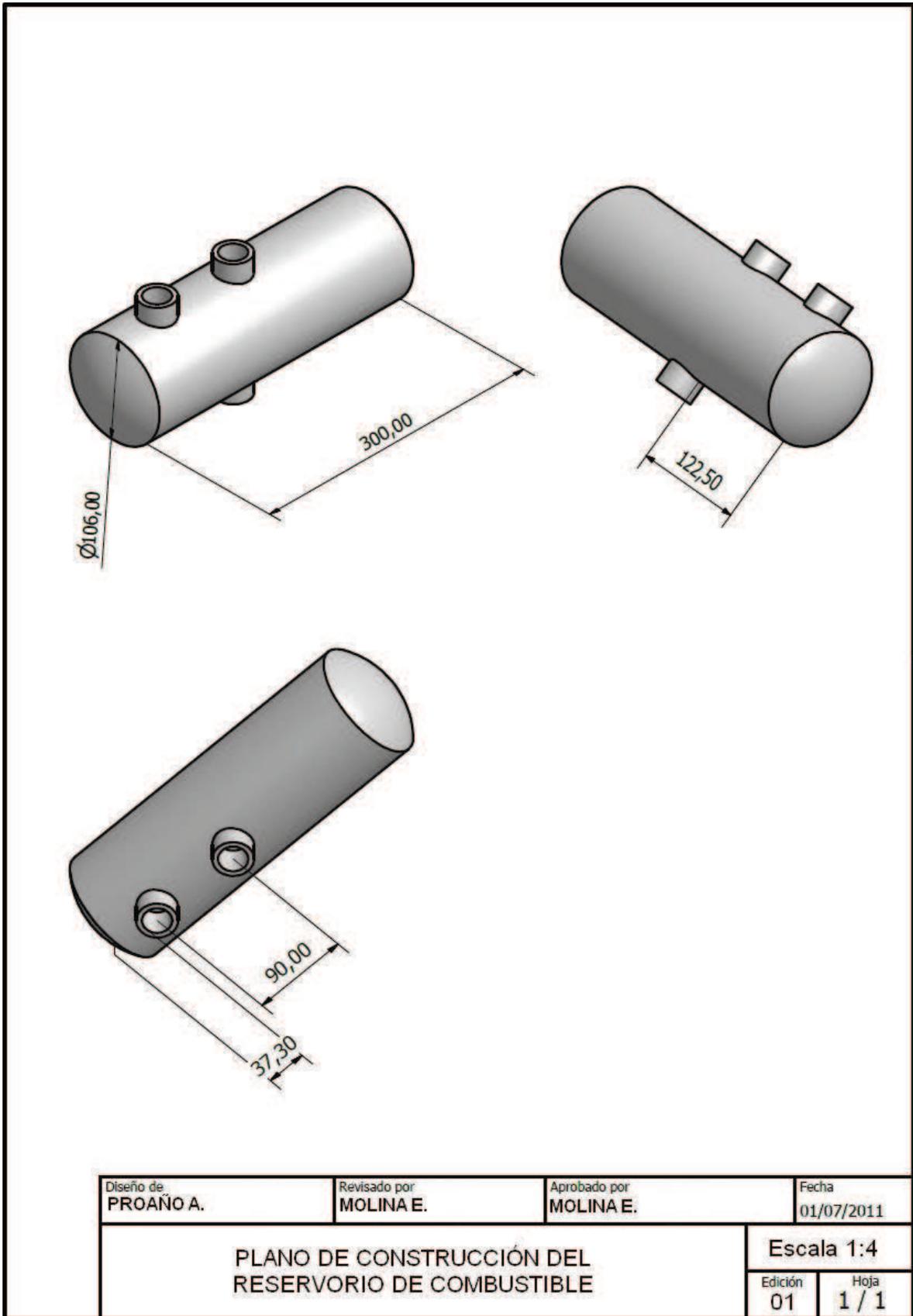
- a) Constantemente
- b) Rara vez
- c) Nunca

6. En la escala del 1 al 5, señale, siendo 1 el más importante y 5 el menos importante, si le parece necesaria la implementación del equipo de comprobación de inyectores para el motor PT6 para realizar prácticas de comprobación funcionales de los inyectores.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Anexo B

Planos De Construcción Del Reservorio De Combustible



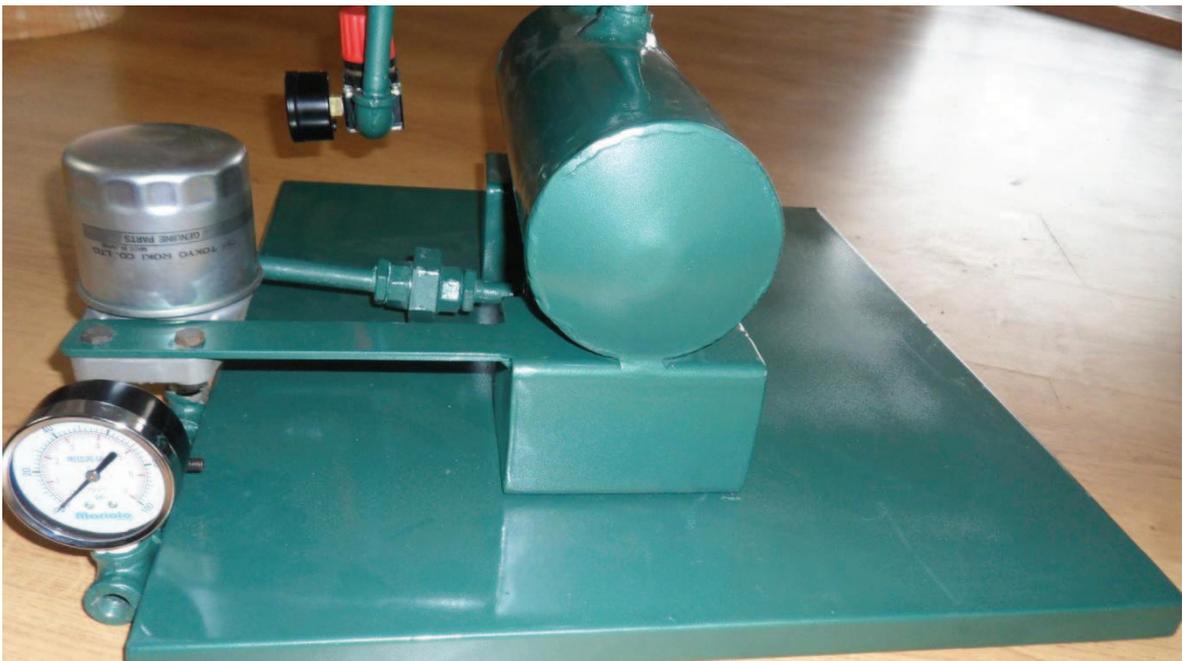
Anexo C

Fotografías De Construcción Del Comprobador De Inyectores









Anexo E

Manual De Mantenimiento Del Motor PT6 ATA 73 – 10 – 05

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - DESCRIPTION AND OPERATION

1. Description and Operation (Ref. Fig. 1)

A. Fuel Manifold

The dual fuel manifold delivers metered fuel from the flow divider (PT6A-21) or starting flow control (PT6A-27 and PT6A-28), as applicable, to the primary and secondary fuel nozzles. The manifold consists of 14 adapter assemblies (Pre-SB1372 - seven primary, six secondary and a secondary inlet adapter; for Post-SB1372 engines - ten primary, three secondary and a secondary inlet adapter). The adapters are interconnected by pairs of fuel transfer tubes and are each secured to their respective bosses on the gas generator case by same two bolts. Locking plates, secured by the same two bolts, maintain the transfer tubes in position. The adapters and transfer tubes are sealed with gaskets and preformed packings, respectively.

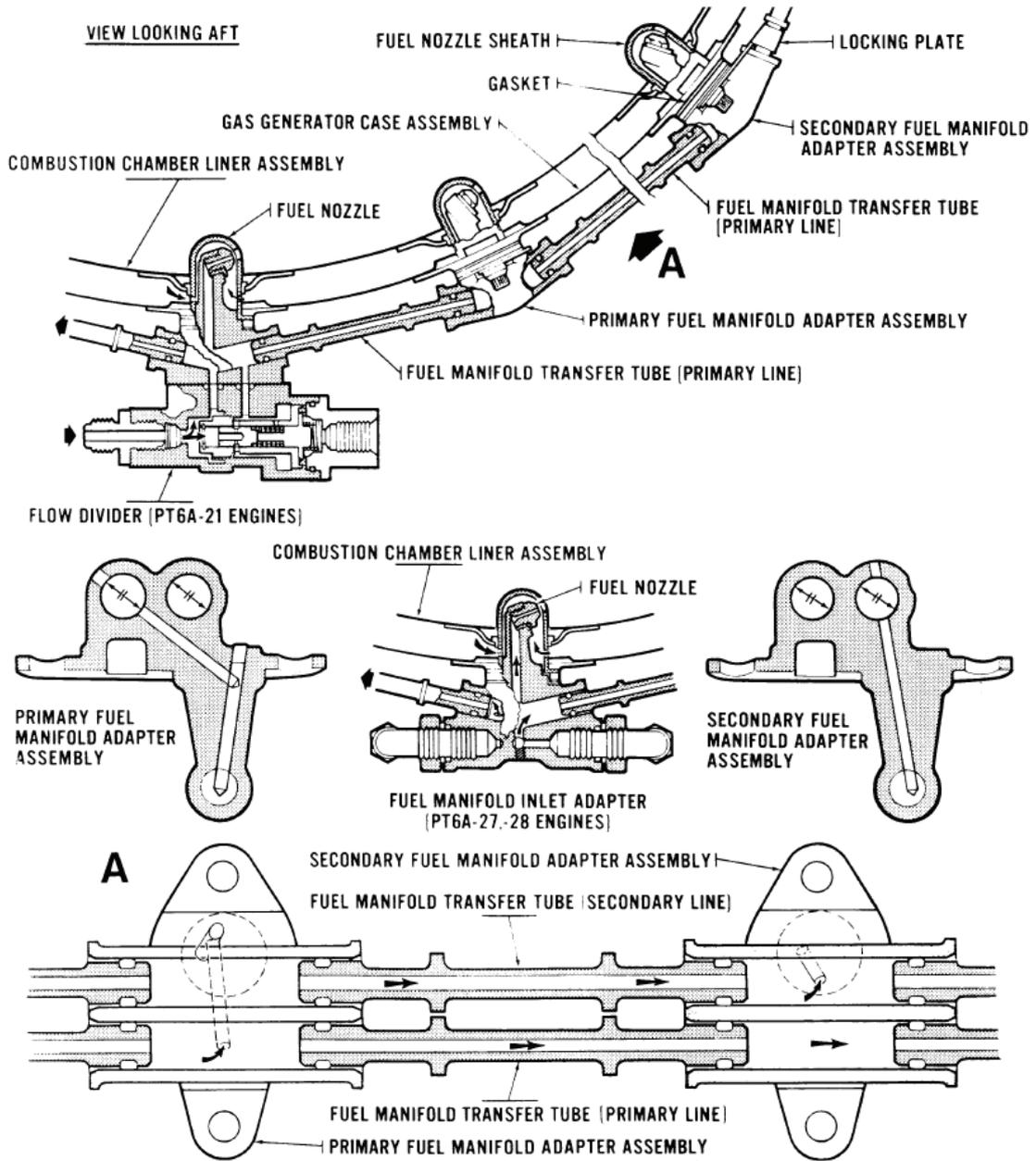
B. Fuel Manifold Adapter Assemblies

Each fuel manifold adapter assembly incorporates a simplex, single orifice fuel nozzle, with swirl-type tip, and a sheath. The swirl-type tips provide a fine atomized fuel spray in the annular combustion chamber liner. The sheath fits over the fuel nozzle and internal section of the manifold adapter. Each fuel nozzle assembly, which incorporates a fine strainer adjacent to the tip, is threaded into the internal section of the adapter. An internal passageway connects the nozzle to its respective primary or secondary bore in the adapter body. The sheath and nozzles extend through the gas generator case and combustion chamber liner, and are positioned so that they produce a tangential spray from one nozzle to the next in the liner. Holes in the sheath allow cooling air, from the space between the gas generator case and liner, to pass within the sheath and out through the nozzle aperture; this air, in addition to cooling the tip of the nozzle, also assists in fuel atomization.

The combustion chamber liner is located and supported within the gas generator case by the fuel nozzle sheaths. The sheaths act as spigots and pass through suspension brackets welded to the outer wall of the liner.

73-10-05

PRATT & WHITNEY CANADA
 MAINTENANCE MANUAL
 MANUAL PART NO. 3013242



C7954

Fuel Manifold Assembly - Cross-Section
 Figure 1

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

1. General

- A. Maintenance personnel should make reference to the INTRODUCTION section and Chapter 70-00-00, STANDARD PRACTICES of this manual to familiarize themselves with general procedures.
- B. Install suitable protective caps/covers over all disconnected tubes/lines and component openings.
- C. Lockwire shall comply with specification AMS 5687, heat and corrosion resistant steel wire MS9226-03, 0.025 inch diameter, and will not be called out in instructions.

2. Consumable Materials

The consumable materials listed below are used in the following procedures.

<u>Item No.</u>	<u>Name</u>
PWC01-001	Fuel, Engine
PWC03-001	Oil, Engine
PWC05-007	Fluid, Check
PWC05-027	Ink, Marking
PWC05-046	Marker, Ink
PWC05-061	Cloth, Abrasive Coated Crocus
PWC05-145	(See PWC05-019)
PWC09-003	Compound, Sealing
PWC11-013	Compound, Carbon Removing
PWC11-027	Solvent, Petroleum
PWC11-031	Cleaner, Engine
PWC11-049	Remover, Rust

3. Special Tools

The special tools listed below are used in the following procedures.

<u>Tool No.</u>	<u>Name</u>
PWC30405	Fixture, Leak test
PWC30416	Puller, Fuel Nozzle Sheath
PWC30506	Rig, Fuel Manifold Adapters - Flow Test
PWC30530	Plug, Blanking
PWC32366	Pusher, Fuel Transfer Tubes
PWC32811	Fixture, Flow Test

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

4. Fixtures, Equipment and Supplier Tools

The fixtures, equipment and supplier tools listed below are used in the following procedures.

<u>Name</u>	<u>Remarks</u>
Pressure Tester	P/N 2311F
Flushing Fixture	
Stainless Steel Container, Perforated	
Ultrasonic Cleaner	
Blanking Cap	
Blanking Plate	

5. Removal/Installation

A. Procedure Before Removal

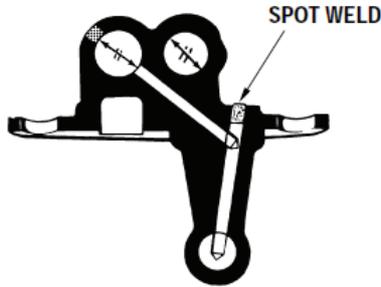
- (1) To ease accessibility to the transfer tubes and manifold adapters adjacent to the glow plugs or spark igniters, disconnect the ignition leads (Ref. 74-20-00/74-20-01). Release the ignition lead loop clamps from the support brackets at the center fireseal lower attachment brackets and move the leads clear. Install blanking caps on the glow plugs or spark igniters and lead connectors.
- (2) Disconnect both lines from the fuel inlet adapter (PT6A-27/-28) or flow divider (PT6A-21) and install blanking caps.
- (3) If the engine is not separated at Flange C and it is intended to remove all manifold adapters, make sure glow plugs or spark igniters remain installed; otherwise, alignment problems with the combustion chamber outer liner might be encountered during reinstallation.

B. Removal of Fuel Manifold Adapters

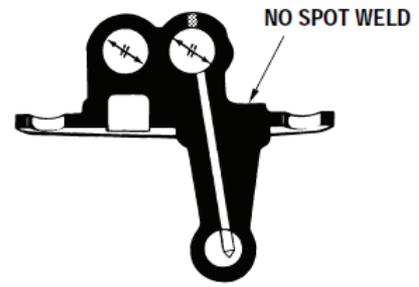
NOTE: The following procedure itemizes a removal sequence commencing with the No. 8 fuel manifold inlet adapter, and which is best achieved by consideration of the Nos. 7, 8 and 9 adapters as a group. The procedural sequence may be modified by the operator as convenient for adapters at other locations.

- (1) Using a suitable dye marker (PWC05-027) or (PWC05-046), number the position of each manifold adapter to identify its original location for reinstallation (Ref. Fig. 201) and to aid detecting hot section damage.
- (2) Remove bolts securing transfer tube locking plate (6, Fig. 202) and inlet manifold adapter (2) to gas generator case. Remove locking plate (6).
- (3) Remove bolts securing locking plates (6) to the primary and secondary manifold adapters (5) adjacent to inlet manifold adapter (2). Remove locking plates (6).
- (4) Support all three adapters and slide interconnecting fuel transfer tubes (1) into the bores of the adapters (5). Using pusher (PWC32366), move fuel transfer tubes, in a clockwise direction, away from inlet manifold adapter bores.

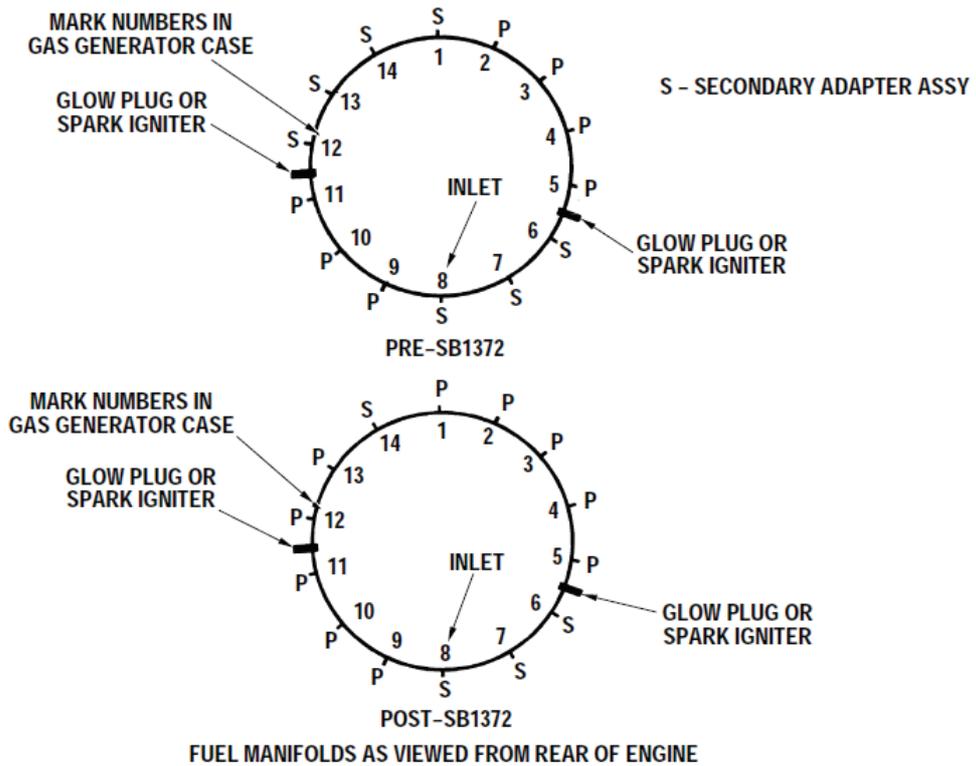
PRATT & WHITNEY CANADA
 MAINTENANCE MANUAL
 MANUAL PART NO. 3013242



PRIMARY FUEL MANIFOLD
 ADAPTER ASSEMBLY



SECONDARY FUEL MANIFOLD
 ADAPTER ASSEMBLY



FUEL MANIFOLDS AS VIEWED FROM REAR OF ENGINE

C7919C

Identification and Location of Fuel Manifold Adapters
 Figure 201

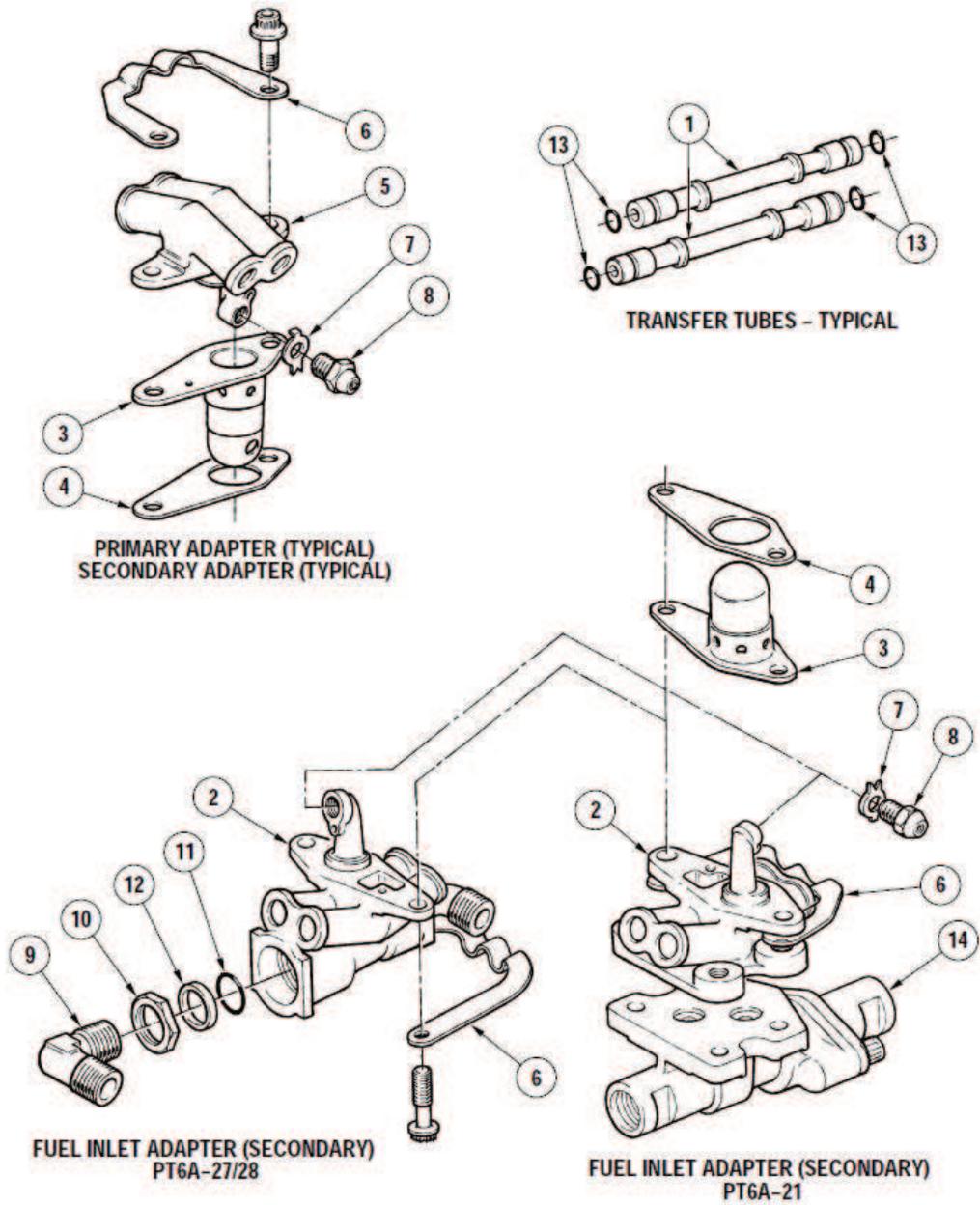
P&WC Proprietary Information. Subject to the restrictions on the title page.

73-10-05

FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

Page 203
 Nov 21/2008

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242



C7918A

Removal/Installation of Fuel Manifold Adapters and Nozzle Assemblies
 Figure 202

P&WC Proprietary Information. Subject to the restrictions on the title page.

73-10-05

FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

Page 204
 Nov 21/2008

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

Key to Figure 202

1. Fuel Transfer Tube
2. Fuel Manifold Inlet Adapter
3. Sheath
4. Gasket
5. Fuel Manifold Adapter
6. Lockplate
7. Keywasher
8. Fuel Nozzle
9. Elbow
10. Locknut
11. Preformed Packing
12. Back-up ring
13. Preformed Packing
14. Flow Divider and Dump or Purge Valve

- (5) Remove the inlet manifold adapter (2) (with attached flow divider and dump valve (14) where fitted). Remove the fuel transfer tubes (1) from the adjoining secondary adapters (5). Remove and discard preformed packings (13) from transfer tubes.

NOTE: Do not remove the flow divider and dump or purge valve (where fitted) from the inlet manifold adapter except for cleaning (Ref. Cleaning/Painting). Inspection and testing procedures outlined in following text can be accomplished with parts remaining attached as an assembly.

- (6) Remove the gasket (4) from the sheath (3) on the inlet manifold adapter (2).
- (7) Remove the remaining manifold adapters (5) progressively from the gas generator case by removing bolts and locking plates (6). As each adapter is removed, withdraw interconnecting fuel transfer tubes (1). Remove and discard preformed packings (13). Remove metal gaskets (4) from sheaths (3) on the adapters.

CAUTION: DO NOT PRY THE SHEATHS OFF WITH A SCREWDRIVER.

- (8) Remove the sheaths (3) from the manifold adapters using puller (PWC30416) if sheath is tight fitting on adapter boss.

CAUTION: EXTREME CARE MUST BE EXERCISED WHEN HANDLING THE FUEL NOZZLE ASSEMBLIES SINCE EVEN FINGERPRINTS ON THE ORIFICE MAY PRODUCE POOR SPRAY PATTERN. CLEAN, LINT-FREE COTTON GLOVES OR SURGICAL GLOVES SHOULD BE WORN AT ALL TIMES WHEN HANDLING THESE PARTS.

CAUTION: MAKE SURE WRENCH SOCKET IS CORRECTLY ENGAGED ON NOZZLE DURING INSTALLATION. FUEL NOZZLE OUTLET MAY BE DAMAGED IF WRENCH SLIPS.

- (9) Straighten the lugs on the keywashers (7) and remove the nozzle assemblies (8) from the adapters (2) and (5). Discard the keywashers.

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

- (10) Note the relative angle of each elbow to the inlet manifold adapter (2) (starting control installation only) and remove the elbows (9) and locknuts (10). Discard preformed packings (11) and back-up rings (12).
- (11) To prevent exposure to dust and dirt, place the manifold components in clean, covered containers or polyethylene bags until required for use.
- (12) Send rejected assemblies for repair or overhaul in original packaging to prevent parts contacting each other during shipment.

C. Installation of Fuel Manifold Adapters

CAUTION: EXTREME CARE MUST BE EXERCISED WHEN HANDLING THE FUEL NOZZLE ASSEMBLIES SINCE EVEN FINGERPRINTS ON THE ORIFICE MAY PRODUCE POOR SPRAY PATTERN. CLEAN, LINT-FREE COTTON GLOVES OR SURGICAL GLOVES SHOULD BE WORN AT ALL TIMES WHEN HANDLING THESE PARTS.

CAUTION: MAKE SURE WRENCH SOCKET IS CORRECTLY ENGAGED ON NOZZLE DURING INSTALLATION. FUEL NOZZLE OUTLET MAY BE DAMAGED IF WRENCH SLIPS.

- (1) With a 10X magnifying glass verify that each manifold adapter assembly carries the correct detail fuel nozzle assembly tip part number (Ref. Illustrated Parts Catalog).
- (2) Install the elbows (9) on the inlet adapter (starting control installation only) (Ref. 70-00-00, REMOVAL/INSTALLATION) in the same positions as noted on removal (Ref. Subpara. B.(10)).
- (3) Install new nozzle assemblies (8, Fig. 202) in adapters (2 and 5) using new keywashers (7) at each location. Tighten nozzle assemblies 45 to 50 lb. in. DO NOT lock keywashers until testing is completed. Use of fuel (PWC01-001) as a lubricant while tightening is permitted.
- (4) Leak test each nozzle and adapter assembly (Ref. Adjustment/Test). Repair or replace nozzles that leak (Ref. Repair).
- (5) Function test each nozzle and adapter assembly (Ref. Adjustment/Test).

CAUTION: DO NOT USE SHARP EDGED TOOLS TO BEND OR SET KEYWASHER TABS. TAB DETACHMENT MAY OCCUR WITH SUBSEQUENT DAMAGE TO THE NOZZLE TIP.

- (6) On completion of satisfactory tests, lock each keywasher on respective nozzle assembly. Do not exceed specified torque to align flat on tip with keywasher.
- (7) Install the manifold adapters and fuel transfer tubes as follows:

NOTE: Primary fuel manifold adapters are identified by a single weld blob on the larger mounting flange. Other weld blobs appearing on the knuckle section of the adapters should be ignored

- (a) Assemble sheaths (3) on all adapters (2 and 5). Make sure each locating pin engages hole in each sheath.

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

- (b) With nozzle adapter and sheath pressed together by hand, check clearance between adapter and sheath flanges. Maximum gap allowed is 0.003 inch (Ref. Fig. 203). Larger gap suggests either or both parts are distorted. Send parts to P&WC (Ref. INTRODUCTION, Customer Support) for repair.
- (c) Carefully check gap between fuel nozzle tip and side of hole in sheath; clearance of 0.020 inch is required (Ref. Fig. 203). If clearance is less at any point, either or both parts are distorted. Send parts to P&WC (Ref. INTRODUCTION, Customer Support) for repair.
- (d) Lubricate and install preformed packings (13, Fig. 202) on all fuel transfer tubes (1) using a thin layer of engine oil (PWC03-001). Position fuel transfer tubes into ports on one side of manifold adapters (2 and 5). Fully insert fuel transfer tubes in their respective ports until the bottom of manifold adapter is reached.

CAUTION: TO AVOID POSSIBLE FAILURE OF THE STAINLESS STEEL GASKETS, IT IS ADVISABLE TO SLIDE THE GASKET OVER THE SHEATH, CAREFULLY ALIGN THE HOLES AND INSERT BOTH BOLTS. THE WHOLE ASSEMBLY CAN THEN BE MATED WITH THE PADS ON THE GAS GENERATOR CASE, THUS AVOIDING ANY ATTEMPT TO LEVER THE GASKETS INTO ALIGNMENT WITH THE BOLTS.

- (e) Position the Pre-SB1276/Post-SB1276 gasket (4) over the sheath (3) on the inlet manifold adapter (2) and align the bolt holes. The sheath flange must be flat.

NOTE: 1. The gasket may be put on either side. For consistency, all gaskets should be installed with the flat side against the gas generator.

NOTE: 2. Post-SB1167: For engines with the conversion coated gas generator case only, lightly coat both faces of the gasket (4) with corrosion-preventive compound (PWC09-003).

- (f) Position the gaskets (4) over the sheaths (3) on the primary and secondary manifold adapters (5) and align on the bolt holes.
- (g) Install remaining manifold adapters (5) and sheaths (3) on the gas generator case, at previously marked locations, starting on each side of inlet manifold adapter (2). As each adapter and sheath is positioned, using pusher (PWC32366), insert the fuel transfer tubes (1) to interconnect with the adjacent adapter at each location.

NOTE: In order to easily detect hot section damage, replacement nozzle should be installed at original locations from which unserviceable item was removed. Nozzles should be reinstalled at original locations if not cleaned after flow test (Ref. Fig. 201).

- (h) Install locking plate (6) and bolts to the gas generator case. Torque bolts fingertight.

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

- (8) When all remaining manifold adapters (5) are positioned, remove bolts from inlet manifold adapter (2). Assemble the locking plate (6) and reinstall the bolts.

CAUTION: MAKE SURE ALL 14 MANIFOLD ADAPTER LOCKING PLATES ARE CORRECTLY INSTALLED.

CAUTION: PRIOR TO TIGHTENING BOLTS OR LOCKNUTS, CHECK SEATING OF METAL GASKET RELATIVE TO SHEATH AND BOSS. TIGHTENING SHOULD BE DONE EVENLY ON EACH ADAPTER TO PROVIDE FULL SEATING POTENTIAL OF METAL GASKET.

- (9) Tighten all adapter mounting bolts, in a sequence, 15 to 20 lb.in. Retighten 32 to 36 lb. in. in the same sequence. Secure bolts with lockwire.

NOTE: After torquing, a 0.001 in. gap is allowed between the adapter and sheath flanges (Ref. Fig. 203).

- (10) Remove the blanking caps from the fuel delivery lines and connect the lines to the elbows. Tighten the coupling nuts 90 to 100 lb.in. and fasten with lockwire.
- (11) Remove the blanking caps from the spark igniters and from harness leads and connect the leads to the igniters. Tighten the connections fingertight, plus 45 degrees and fasten with lockwire. Secure the ignition lead loop clamps to the support brackets at the center fireseal lower mounts and tighten the nuts 32 to 36 lb.in.
- (12) Check function of fuel manifold installation (Ref. Adjustment/Test).

6. Cleaning/Painting

WARNING: CARBON REMOVING COMPOUND IS TOXIC AND CAUSTIC, AND MUST BE HANDLED WITH EXTREME CARE. AVOID ALL DIRECT CONTACT WITH SKIN OR CLOTHING. PREVENT CONTACT WITH EYES AND AVOID INHALATION OF THE VAPORS. COMPOUNDS CAN BE FATAL IF SWALLOWED. IF CONTACT WITH EYES OR SKIN IS MADE, WASH AFFECTED AREAS THOROUGHLY FOR 15 MINUTES WITH WATER AND RINSE WITH SATURATED BORIC ACID SOLUTION. IF ACCIDENTALLY SWALLOWED, GET MEDICAL ATTENTION IMMEDIATELY. CONSULT WITH PHYSICIAN AS RAPIDLY AS POSSIBLE FOR ALL CONTACT CASES.

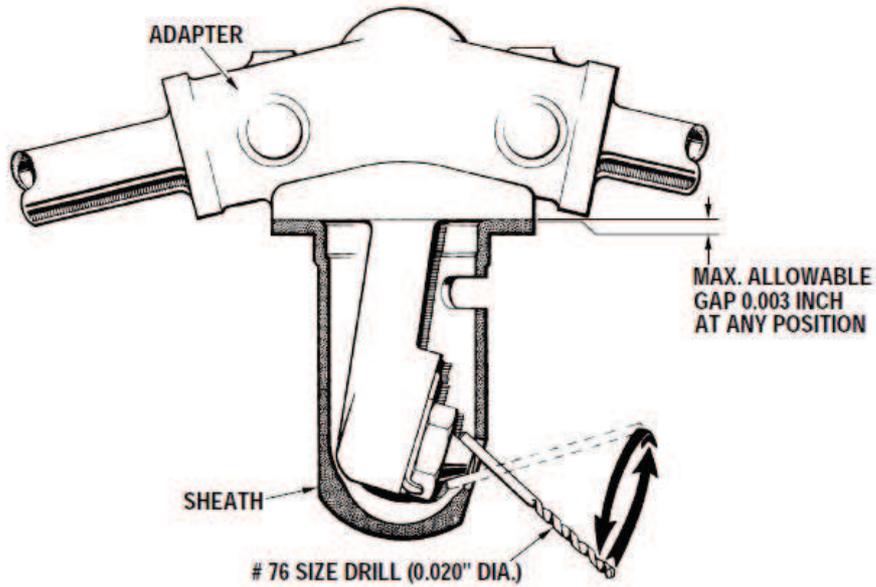
CAUTION: ONLY USE RECOMMENDED ALKALINE CLEANING SOLUTION WITH A PH GREATER THAN 7. SOLUTIONS WITH A PH VALUE LOWER THAN 7 (ACIDIC) MAY CAUSE FUEL NOZZLE DAMAGE.

CAUTION: OBSERVE ALL FIRE AND SAFETY PRECAUTIONS WHEN FUELS OR SIMILAR COMBUSTIBLES ARE USED.

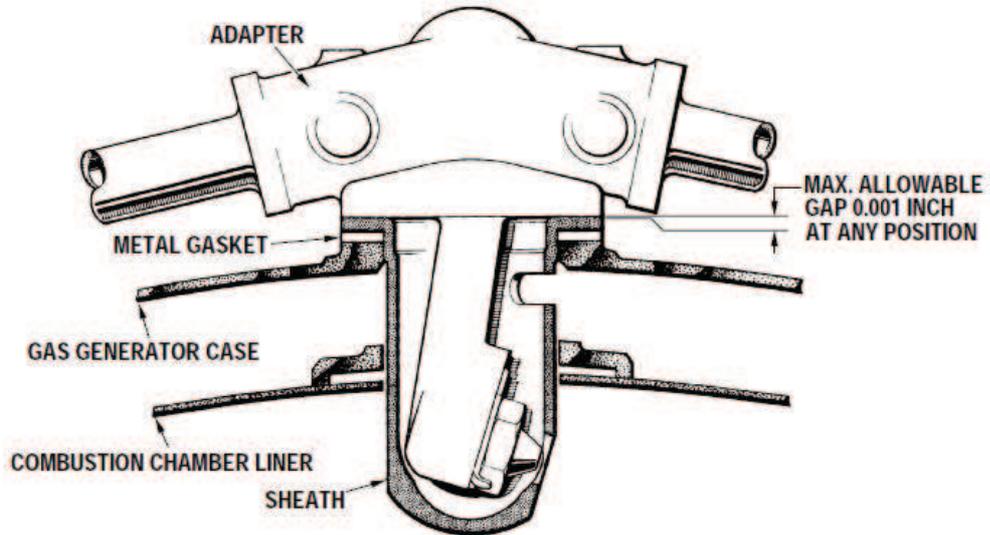
A. Cleaning of Fuel Manifold Adapter Assemblies

- (1) Remove fuel flow divider from inlet adapter (Ref. 73-10-04, Removal/Installation).
- (2) Remove fuel manifold sheaths from adapter assemblies.

PRATT & WHITNEY CANADA
 MAINTENANCE MANUAL
 MANUAL PART NO. 3013242



SECTION THROUGH FUEL MANIFOLD ADAPTER AND SHEATH HAND HELD



SECTION THROUGH FUEL MANIFOLD ADAPTER AND SHEATH
 INSTALLED ON GAS GENERATOR CASE

C41914

Fuel Manifold Installation - Clearance Checks
 Figure 203

P&WC Proprietary Information. Subject to the restrictions on the title page.

73-10-05

FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

Page 209
 Nov 21/2008

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

CAUTION: MAKE SURE ADAPTERS ARE SEPARATED FROM EACH OTHER TO PREVENT DAMAGE DURING CLEANING.

- (3) Place as many manifold adapter assemblies as possible in a perforated stainless steel container constructed to prevent contact between parts.

NOTE: Wires may be used to suspend parts in cleaning solution to prevent contact during cleaning.

- (4) Prepare caustic solution by diluting 2 to 3 pounds of carbon removing compound (PWC11-013) or (PWC11-049) in one (1) U.S. gallon of water (3.8 liters) and heat to approximately 90°C (200°F). Pour caustic solution/cleaner into a tank of ultrasonic cleaner.

NOTE: 2 to 3 lb. carbon removing compound (PWC11-013) or (PWC11-049) per (US) gallon produces 24 to 36 % solution.

- (5) Suspend the perforated stainless steel container containing manifold adapter assemblies in the cleaner tank solution. Make sure that all manifold adapters are completely immersed.
- (6) Cover tank and activate ultrasonic cleaner for approximately one hour.
- (7) After cleaning, immediately wash assemblies thoroughly in very hot water.

CAUTION: FLUSHING MUST BE DONE IMMEDIATELY FOLLOWING CLEANING PROCESS TO AVOID DAMAGE TO ASSEMBLIES BY RESIDUAL CLEANING SOLUTION.

- (8) Rinse parts again in warm water at 82°C (180°F) for 2 to 3 minutes.

- (9) For PT6A-21 Engines:

- (a) Install blanking plate (Ref. Fig. 204) and preformed packings on mounting face of fuel inlet manifold adapter.
- (b) Install blanking tube assemblies (18, Fig. 210) at three locations on fuel inlet manifold adapter.
- (c) Connect tube assembly (9, Fig. 210) at fourth location and flow fixture (PWC32811) to fuel inlet.
- (d) Flow clean with hot water at normal tap pressure, 30 psig max through fuel inlet manifold adapter for a minimum of one minute.
- (e) Remove blanking plate (Ref. Fig. 204), tube assembly, three blanking tube assemblies (18, Fig. 210) and preformed packings. Discard preformed packings.

- (10) For PT6A-27/28 Engines:

- (a) Install applicable blanking caps at five locations on fuel inlet manifold adapter (Ref. Fig. 202).

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

- (b) Connect tube assembly (9, Fig. 210) at sixth location and flow fixture (PWC32811) to fuel inlet.
- (c) Flow clean with hot water at normal tap pressure, 30 psig max through fuel inlet manifold adapter for a minimum of one minute.
- (d) Remove blanking caps (Ref. Fig. 202) from five locations and tube assembly.
- (11) Immediately dry assemblies thoroughly using clean, filtered compressed air or nitrogen.
- (12) Do leak and functional test (Ref. Para. 9.B. and C.).

NOTE: Before commencing the tests as described, allow fuel to flow through the nozzle and manifold adapter assembly for at least one minute at 30 psig.

B. Cleaning of Fuel Nozzles (Removed from Fuel Manifold Adapters)

CAUTION: EXTREME CARE MUST BE USED WHEN THE FUEL NOZZLE ASSEMBLIES ARE HANDLED SINCE EVEN FINGERPRINTS ON THE ORIFICE MAY PRODUCE POOR SPRAY PATTERN. CLEAN, LINT-FREE COTTON GLOVES OR SURGICAL GLOVES SHOULD BE WORN AT ALL TIMES WHEN THESE PARTS ARE HANDLED.

- (1) Place fuel nozzles in perforated steel container, and clean using same procedures as that for fuel manifold adapter assemblies (Ref. Subpara. A.).

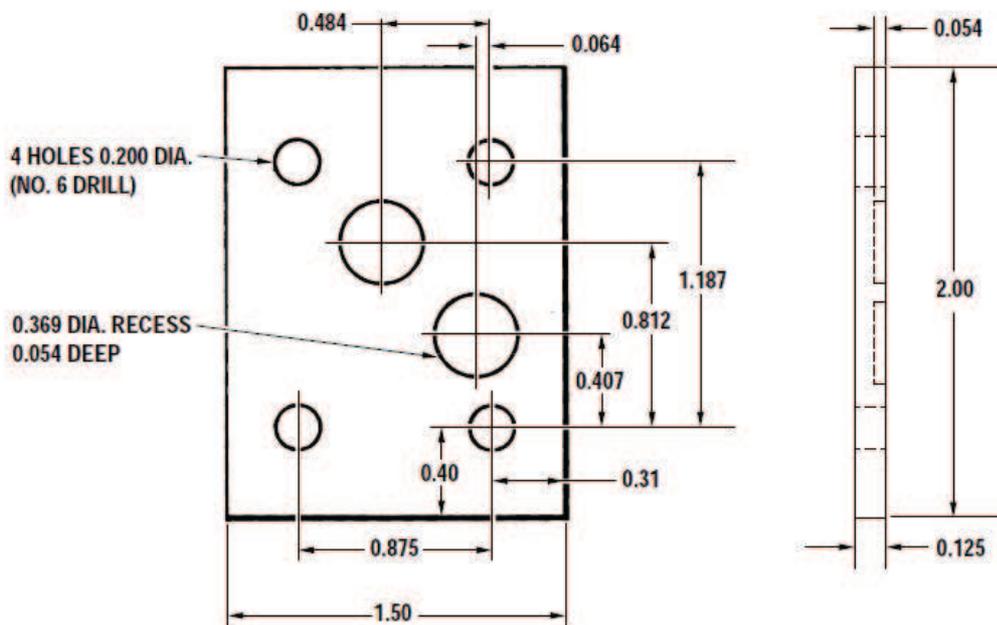
CAUTION: FLUSHING MUST BE DONE IMMEDIATELY AFTER THE CLEANING PROCESS TO AVOID DAMAGE TO THE NOZZLES BY RESIDUAL CARBON REMOVER SOLUTION.

- (2) Install nozzles in flushing fixture (Ref. Fig. 205).

NOTE: Use suitable blanking plugs if all 14 positions are not filled.

- (3) Connect the hot water supply to the flushing fixture and flow clean, very hot water through the nozzles for one minute at normal tap water pressure up to 30 psig.
- (4) Disconnect the flushing fixture from the hot water supply, connect to a supply of clean filtered compressed air or nitrogen and dry thoroughly. Disconnect the flushing fixture from the air supply.
- (5) Connect the flushing fixture to the fuel manifold adapter assembly test rig and flow fuel through the nozzles for one minute at 30 psig.
- (6) Remove the nozzles from the flushing fixture and store in a clean container until required for reinstallation and test in the adapter assemblies.

PRATT & WHITNEY CANADA
 MAINTENANCE MANUAL
 MANUAL PART NO. 3013242



MATERIAL: MILD STEEL OR ALUMINUM SHEET 0.125 THICK (MIN.)

LOCAL MANUFACTURE

C3790C

Inlet Adapter Blanking Plate
 Figure 204

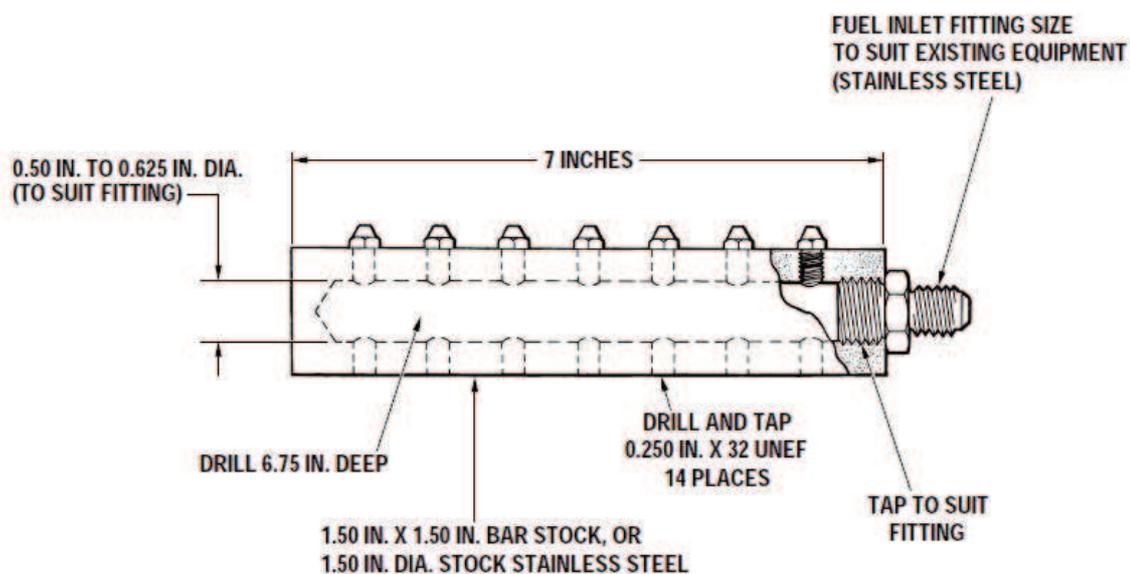
P&WC Proprietary Information. Subject to the restrictions on the title page.

73-10-05

FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

Page 212
 Nov 21/2008

MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242



LOCAL MANUFACTURE

C3812A

Fuel Nozzle Flushing Fixture
Figure 205

P&WC Proprietary Information. Subject to the restrictions on the title page.

73-10-05

FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

Page 213
Nov 21/2008

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

C. Cleaning Fuel Manifold Adapter (Nozzles Removed) and Adapter Sheaths

CAUTION: EXTREME CARE MUST BE USED WHEN THE FUEL NOZZLE ASSEMBLIES ARE HANDLED SINCE EVEN FINGERPRINTS ON THE ORIFICE MAY PRODUCE POOR SPRAY PATTERN. CLEAN, LINT-FREE COTTON GLOVES OR SURGICAL GLOVES SHOULD BE WORN AT ALL TIMES WHEN THESE PARTS ARE HANDLED.

- (1) Place the fuel manifold adapters and sheaths in the perforated stainless steel container, and proceed as described in Subpara. A., steps (4) through (7). Reduce cleaning time to 30 minutes.

CAUTION: FLUSH WASHING MUST BE DONE IMMEDIATELY AFTER THE CLEANING PROCESS.

- (2) Pressure wash parts thoroughly to remove residual compound under very hot, running water for at least one minute. Make sure that adequate water flow is maintained through the internal bores of the adapters. Remove any remaining loose carbon build-up on the sheaths by scrubbing with a non-metallic bristle brush.
- (3) Immediately dry parts thoroughly using clean, filter compressed air.
- (4) Install the fuel nozzles in the manifold adapters (Ref. Removal/Installation) and test (Ref. Adjustment/Test).

7. Inspection/Check

CAUTION: USE EXTREME CARE WHEN HANDLING FUEL NOZZLE ASSEMBLIES SINCE EVEN FINGERPRINTS ON THE ORIFICE MAY PRODUCE POOR SPRAY PATTERN. CLEAN, LINT FREE GLOVES SHOULD BE WORN AT ALL TIMES WHEN HANDLING PARTS.

A. Fuel Nozzle Assembly

- (1) Check the nozzle assembly for burrs and similar defects. Threads and hexagon may be lightly stoned to remove nicks and burrs.

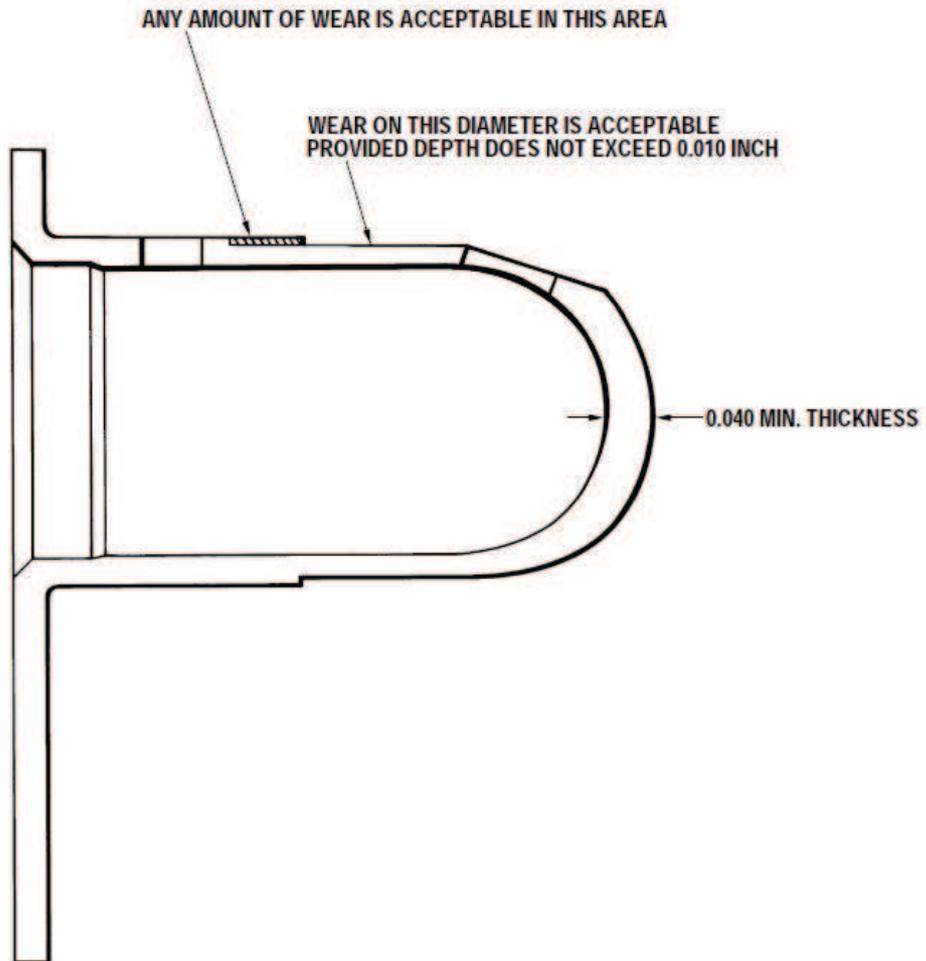
B. Nozzle Sheath (Ref. Fig. 206)

- (1) Erosion, any loss of coating is acceptable provided any loose coating is removed by light buffing and 0.040 inch minimum dome thickness is retained .
- (2) Fretting wear, maximum permissible depth is 0.010 inch; deburr raised material.

C. Manifold Adapter

- (1) Check the locating pin for security in the adapter and for burrs and similar defects. Check threads for damage.

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242



C8403

Nozzle Sheath Wear Limits
Figure 206

P&WC Proprietary Information. Subject to the restrictions on the title page.

73-10-05

FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

Page 215
Nov 21/2008

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

8. Approved Repairs

CAUTION: REPAIRS ARE NOT PERMITTED ON NOZZLE ORIFICE FACE.

A. Procedure

CAUTION: DAMAGE MAY OCCUR TO THE ADAPTER SEALING FACE IF USING TOO COARSE A GRIT OF ABRASIVE CLOTH OR APPLICATION OF UNEQUAL PRESSURE ON ADAPTER FACE DURING LAPPING. THIS PROCEDURE IS ONLY RECOMMENDED FOR ADAPTERS THAT ARE FOUND TO BE LEAKING AFTER INSTALLATION OF A NOZZLE TIP.

CAUTION: IF LEAKAGE CANNOT BE STOPPED BY LAPPING OF THE ADAPTER SEALING FACE, DO NOT OVERTORQUE NOZZLE TIP TO ACHIEVE CORRECT SEALING. RETURN DEFECTIVE NOZZLE ASSEMBLY TO AN AUTHORIZED OVERHAUL SHOP FOR REPAIR.

- (1) Repair of adapters, sheaths and nozzle assemblies is limited to local blending of minor defects such as scores, nicks, scratches and gouges on exterior surfaces.
- (2) Clean up minor defects by blending with a fine stone or file and/or by polishing with crocus cloth (PWC05-061). Thread damage on adapters may be repaired with a suitable Swiss file, thread chaser or appropriate die.
- (3) Remove all sharp edges and high spots. Lap adapter sealing surfaces (Ref. Fig. 207) against a flat base (± 0.0002 inch flatness). Use compound (PWC05-145) or an abrasive cloth (PWC05-061) lubricated with a drop of fuel.
- (4) Clean all parts after repair by pressure washing in petroleum solvent (PWC11-027) or (PWC11-031).

9. Adjustment/Test

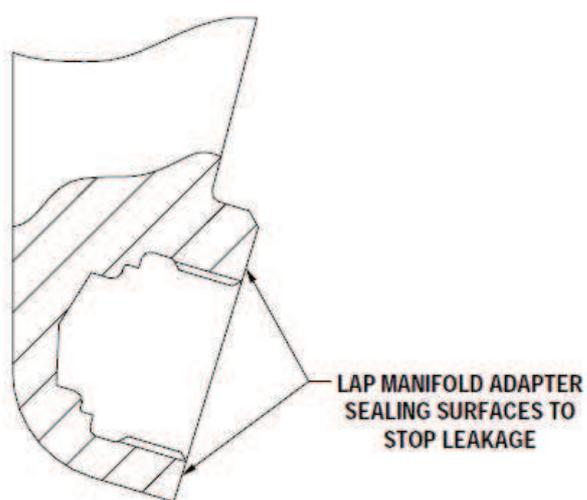
CAUTION: OBSERVE FIRE SAFETY PRECAUTIONS AT ALL TIMES WHEN PROCEDURES INVOLVE THE USE OF FUELS OR SIMILAR COMBUSTIBLES.

CAUTION: DAMAGE TO THE HOT SECTION MAY BE CAUSED BY DEFECTIVE FUEL NOZZLES. REGULAR NOZZLE INSPECTION AND CLEANING IS RECOMMENDED TO EXTEND HOT SECTION LIFE.

A. General

- (1) Definitions of terms used in the text to describe specified test conditions for nozzles (Ref. Fig. 208):
 - (a) "Streakiness" is defined as variation in spray quantity between different parts of spray cone and appearing as lighter or darker streaks in spray.
 - 1 A total of 20% of fuel spray may show light streaks.
 - 2 Caused by carbon deposit at nozzle face.
 - 3 Brush nozzle surface during flow test.

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242



C67072

Manifold Adapter Sealing Surfaces
Figure 207

P&WC Proprietary Information. Subject to the restrictions on the title page.

73-10-05
FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

Page 217
Nov 21/2008

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

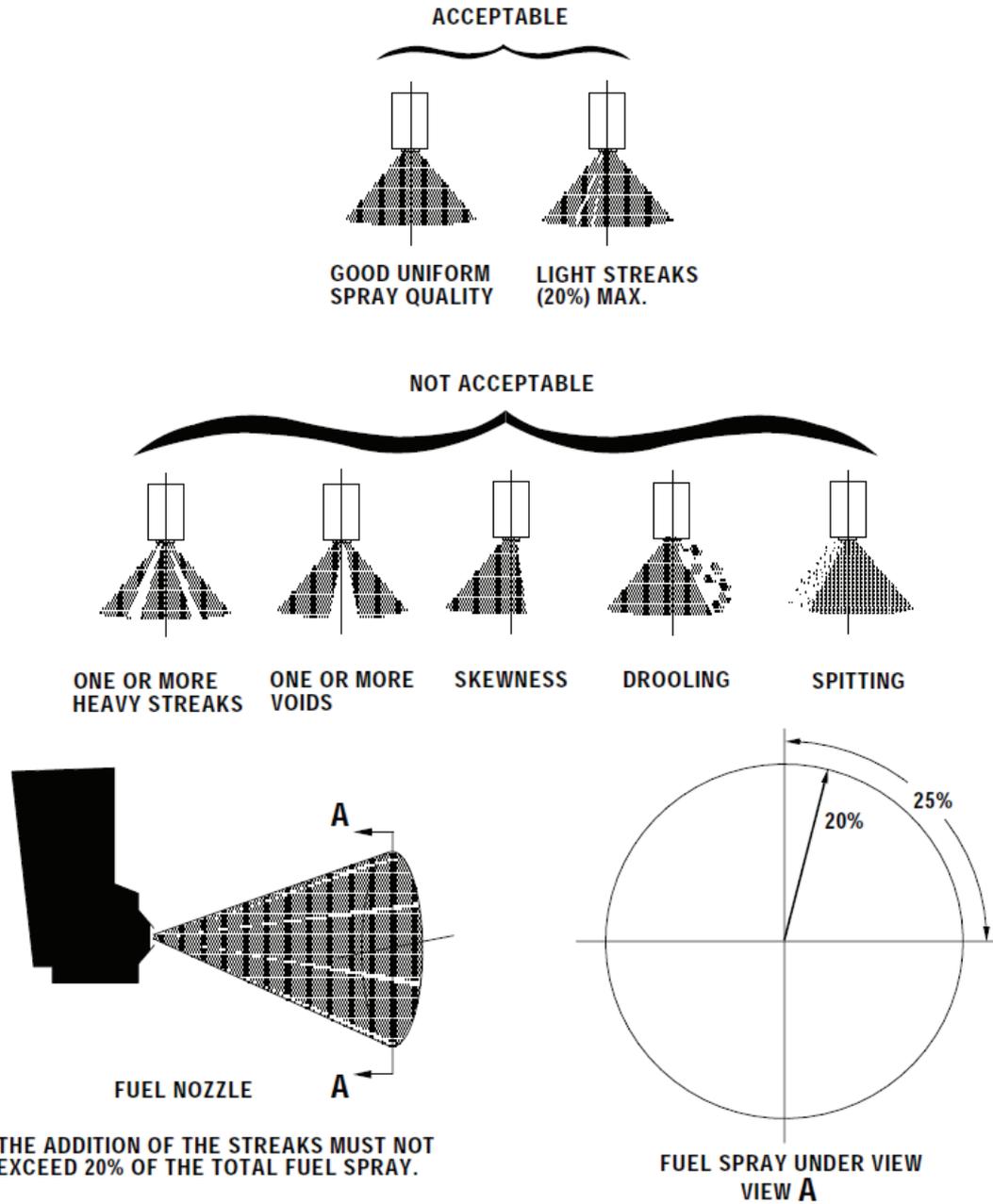
- (b) "Spitting" is a condition which exists when large drops of unatomized fuel occur intermittently and usually on outside of spray cone.
 - 1 No spitting allowed.
 - 2 Caused by carbon deposit at nozzle face.
 - 3 Brush nozzle during flow test.
- (c) "Drooling" is a condition which occurs when large drops of unatomized fuel form on nozzle face.
 - 1 No drooling allowed.
 - 2 Caused by carbon deposit at nozzle orifice or by partial obstruction of fuel nozzle distributor.
 - 3 Brush nozzle surface during flow test and ultrasonically clean.
- (d) "Void" area of fuel spray showing discontinuity in fuel flow (air gap).
 - 1 No void allowed.
 - 2 Caused by obstruction on internal fuel passage.
 - 3 Ultrasonically clean.
- (e) "Skewness" describes a spray condition that is not centered.
 - 1 No skewness allowed.
 - 2 Caused by damage to nozzle orifice.
 - 3 Not repairable at field level.

B. Leakage Test of Fuel Manifold Adapters (Ref. Fig. 209)

CAUTION: USE EXTREME CARE WHEN HANDLING FUEL NOZZLE ASSEMBLIES SINCE EVEN FINGERPRINTS ON THE ORIFICE MAY PRODUCE POOR SPRAY PATTERN. CLEAN, LINT FREE COTTON GLOVES OR SURGICAL GLOVES SHOULD BE WORN AT ALL TIMES WHEN HANDLING PARTS.

- (1) Loosen screws (8, 6 and 4) of test fixture (2) and remove pivot block (7).
- (2) Insert plugs of pivot block (7) into ports in the nozzle assembly. Make sure the preformed packings are not pinched during nozzle installation.
- (3) With plugs fully inserted into adapter ports, hold parts firmly and tighten pivot screw (8).
- (4) Blank off nozzle orifice:
 - (a) Turn setscrew (4) until it just makes contact with rear of adapter behind nozzle.

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242



C67153A

Fuel Nozzle Spray Conditions
 Figure 208

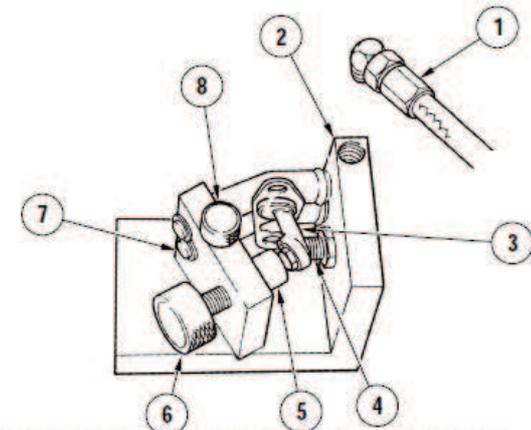
P&WC Proprietary Information. Subject to the restrictions on the title page.

73-10-05

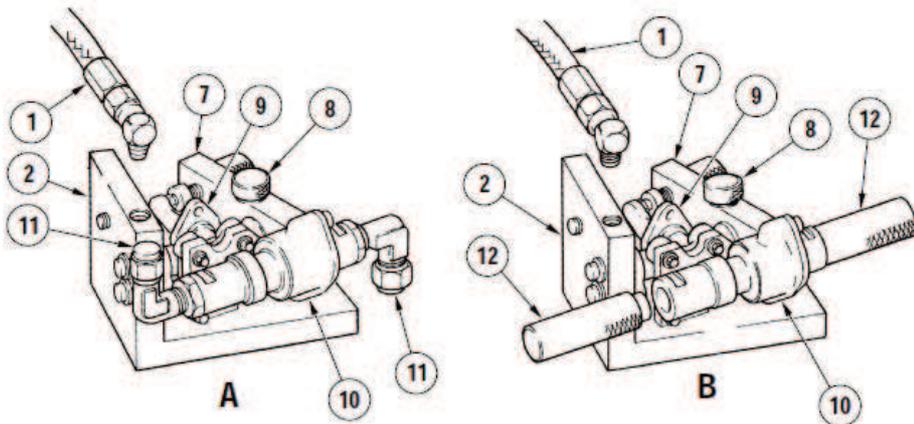
FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

Page 219
 Nov 21/2008

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242



PRIMARY AND SECONDARY MANIFOLD ADAPTERS



**INLET MANIFOLD ADAPTER WITH
 FLOW DIVIDER AND DUMP / PURGE VALVE**

C1881

Manifold Adapter and Nozzle Assembly Leakage Test
 Figure 209

P&WC Proprietary Information. Subject to the restrictions on the title page.

73-10-05
FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

Page 220
 Nov 21/2008

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

Key to Figure 209

1. Hose Assembly
 2. Test Fixture (PWC30405)
 3. Primary or Secondary Manifold Adapter and Nozzle Assembly
 4. Setscrew (Part of Fixture)
 5. Plastic Pad (Part of Fixture)
 6. Torque Screw (Part of Fixture)
 7. Pivot Block (Part of Fixture)
 8. Pivot Screw (Part of Fixture)
 9. Inlet Manifold Adapter and Nozzle Assembly
 10. Flow Divider and Dump Valve
 11. Blanking Cap
 12. Plug
- (b) Turn torque screw (6) until plastic pad (5) seats on nozzle face.
- (c) Tighten setscrew (4) and screw (6), simultaneously, to make sure that plastic pad (5) closes nozzle orifice without distortion of adapter.
- (d) Tighten locknut on setscrew (4).
- (5) When inlet manifold adapter and nozzle assembly (9) with attached flow divider (10) are to be tested, do the following additional steps:
- (a) Blank off elbow on flow divider (10) with caps (11). Tighten caps 40 to 45 lb.in. (Ref. View A).
 - (b) If elbows are not installed, blank off ports in flow divider (10) with plugs (12, PWC30530) (Ref. View B).
- (6) Check for external leaks between nozzle and adapter using one of the following methods:
- (a) Method A: Connect hose assembly (1) to a supply of clean, dry compressed air or nitrogen and apply 200 psig to test fixture (2). Check for leaks using leak check fluid (PWC05-007) or by immersing in solvent (PWC11-027) or (PWC11-031). No leaks are permitted.
 - (b) Method B: Fill hose assembly (1) with fuel (PWC01-001). Apply 500 psig of compressed air or nitrogen to hose to pressurize the fuel. Hold hose assembly vertical and check fuel nozzle for leakage of fuel. No leaks are permitted.
- (7) Reduce pressure to fixture (2) to zero, disconnect hose assembly (1), and remove adapter assembly from fixture.

NOTE: If one or more unacceptable nozzle (s) is/are found, it is highly recommended that the hot section be inspected for damage by a direct visual inspection or borescope inspection.

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

C. Functional Test of Fuel Manifold Adapters (Ref. Figs. 208 and 210)

CAUTION: USE EXTREME CARE WHEN HANDLING FUEL NOZZLE ASSEMBLIES SINCE EVEN FINGERPRINTS ON THE ORIFICE MAY PRODUCE POOR SPRAY PATTERN. CLEAN, LINT FREE GLOVES SHOULD BE WORN AT ALL TIMES WHEN HANDLING PARTS.

NOTE: Although cleaning is recommended, nozzles can be reinstalled without cleaning provided that function test is within limits.

(1) Partially fill reservoir (5, Fig. 210) of test rig (1) with clean fuel (PWC01-001).

CAUTION: CONNECT GROUND CABLE ON TEST RIG TO ELIMINATE DANGER OF ELECTROSTATIC DISCHARGE.

CAUTION: AVOID BREATHING FUEL VAPOUR DURING FUNCTIONAL TEST. MAKE SURE OF ADEQUATE VENTILATION DURING TEST OR USE AN EXPLOSION PROOF VENTILATION HOOD.

(2) Functionally test the primary and secondary nozzle assemblies (13):

(a) Insert one blanking tube assembly (18) and connecting tube assembly (9) of fixture (10) into ports of the manifold adapter (11 and 12) as shown. The two remaining blanking tube assemblies (18) are not required.

NOTE: Primary adapters are identified by a black stripe, weld spot or the letter P on the adapter.

(b) Place manifold adapters (11 and 12) in fixture (10). Make sure the collars of tube assemblies (18 and 9) are located on the inside of fixture flanges with the tubes in the appropriate slots. Fasten adapter to fixture with screws and nuts.

(c) Connect hose assembly (8) to the tube assembly (9) and tighten coupling nuts securely to prevent leaks.

(d) Connect air supply line (2) with 100 psig maximum to pressure regulator (3) on test rig (1).

(e) Slowly adjust pressure regulator (3) to 20 psig. With the nozzle pointing downward, observe the spray pattern at the nozzle. An open spray must be observed, free from spitting or drooling.

(f) Adjust pressure regulator (3) to increase pressure to 60 psig as indicated on gage (7). Volume of spray should increase and be spread evenly about the center axis of nozzle orifice. If streakiness of more than 20% is evident, reject nozzle (Ref. Fig. 208).

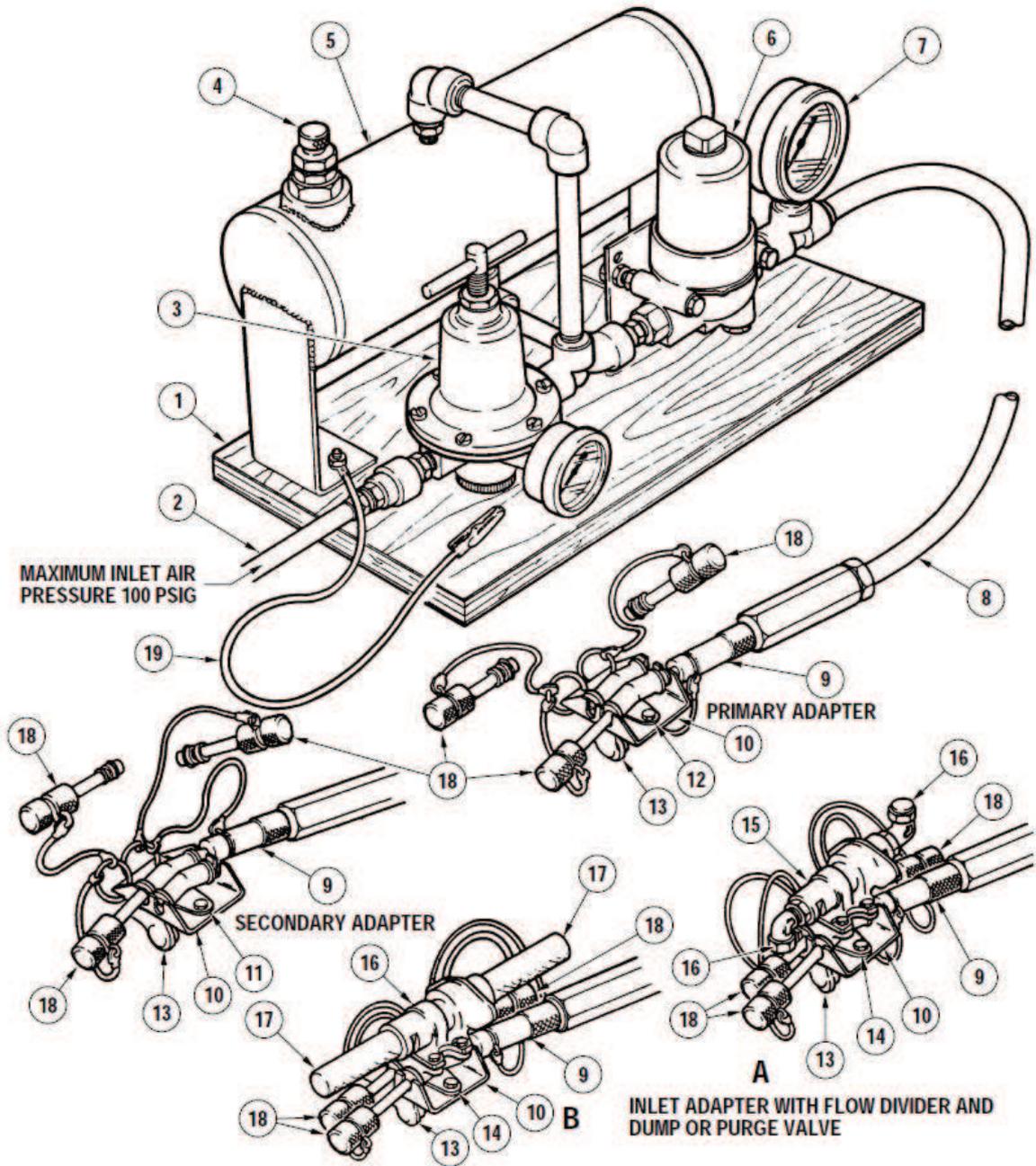
NOTE: Spitting, drooling and streakiness may be caused by external carbon deposits around nozzle orifice. Remove deposits by lightly brushing nozzle face with cotton swab or non-metallic bristle brush while fuel is flowing through orifice.

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

- (g) Return nozzles to an authorized accessories overhaul shop if satisfactory spray cannot be achieved after repeated cleaning.
 - (h) Reduce pressure to zero, as indicated on gage (7), by adjusting pressure regulator (3). When fuel flow from nozzle stops, disconnect and blank off hose assembly (8) from connecting tube assembly (10).
 - (i) Disconnect air supply line (2) from pressure regulator (3) on test rig (1).
 - (j) Remove manifold adapters (11 and 12) and nozzle assemblies (13) from flow fixture (11). Withdraw connecting tube assembly (10) and blanking tube assembly (19) from ports in adapter.
- (3) Place manifold adapters (11 and 12) and nozzle assemblies (13) in a clean, dust-proof container until ready for installation on engine.
- (4) Function test inlet manifold adapter (14) and nozzle assembly (13) :
- (a) Blank off elbow connection on flow divider (15) with caps (16). Tighten caps 40 to 45 lb. in. (Ref. View A). Alternatively, if elbow connections are not installed, use plugs (17) to blank off ports (Ref. View B).
 - (b) Insert connecting tube assembly (9) of fixture (10) into port of inlet adapter (14) at same location as that used on secondary adapter (12).
 - (c) Insert three blanking tube assemblies (19) into remaining ports of adapter (14).
 - (d) Install adapter (14) in fixture (10) and test following Steps (2)(a) through (j).
 - (e) Remove plugs (17) or blanking caps (16) from flow divider (15). Place inlet manifold adapter and nozzle assembly with attached flow divider in a clean, dust proof container until required for installation.
- (5) If one or more nozzles are found unacceptable during the test, examine the hot section for evidence of heat damage by direct visual or borescope inspection.

NOTE: Return unserviceable nozzles to an authorized accessories overhaul shop for repair.

PRATT & WHITNEY CANADA
 MAINTENANCE MANUAL
 MANUAL PART NO. 3013242



C1882I

Manifold Adapter and Nozzle Assembly Functional Test
 Figure 210

P&WC Proprietary Information. Subject to the restrictions on the title page.

73-10-05

FUEL MANIFOLD AND NOZZLES - MAINTENANCE PRACTICES

Page 224
 Nov 21/2008

PRATT & WHITNEY CANADA
MAINTENANCE MANUAL
MANUAL PART NO. 3013242

Key to Figure 210

1. Test Rig (PWC30506)
2. Air Supply Line
3. Pressure Regulator (0 to 250 psig)
4. Relief Valve (150 psig)
5. Reservoir
6. Filter (10 micron nominal)
7. Pressure Gage (0 to 100 psig)
8. Hose Assembly
9. Connecting Tube Assembly
10. Nozzle Flow Fixture (PWC32811)
11. Primary Manifold Adapter
12. Secondary Manifold Adapter
13. Nozzle Assembly
14. Inlet Manifold Adapter
15. Flow Divider
16. Blanking Cap
17. Plug
18. Blanking Tube Assembly
19. Electrostatic Ground Cable

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

NOMBRE: Alejandro David Proaño Chilcañar

NACIONALIDAD: Ecuatoriana

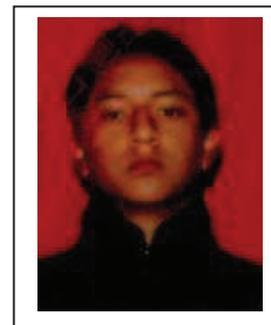
FECHA DE NACIMIENTO: 5 de Febrero de 1990

CÉDULA DE CIUDADANÍA: 1719636407

TELÉFONOS: 084024729

CORREO ELECTRÓNICO: alejoprc@hotmail.com

DIRECCIÓN: José Fernández E 13-94 y Fernando Ortega (Quito)



ESTUDIOS REALIZADOS

[2001] [Educación Primaria] [Escuela "Rep. Del Paraguay"] [Quito]

[2007] [Título de Bachiller Técnico en Mecánica Aeronáutica Mención Motores]
[Col. Tec. Aeronáutico "Coronel Maya"] [Quito]

EXPERIENCIA PROFESIONAL O PRÁCTICAS PRE PROFESIONALES

[Julio-Septiembre 2006] [ÍCARO] [Base Mantto Quito] [Avión Focker F-28, Boeing 737-200]

[Marzo-Abril 2009] [FAE] [Base Aérea Cotopaxi] [Avión Mirage F1]

[Septiembre-Octubre 2009] [FAE] [Ala N° 11] [Avión Boeing 727-200]

[Marzo-Abril 2010] [FAE] [Ala N° 11] [Avión Boeing 727-200]

[Septiembre-Octubre 2010] [TAME] [Base Mantto Quito] [Avión Embraer 170, Embraer 190, Airbus A 319, Airbus A 320]

CURSOS Y SEMINARIOS

[2006] [On Job Training] [Push Back and Towing] [ÍCARO] [Base Mantto Quito]

[2007] [Alemán] [Goethe Centrum Institute] [Curso Alemán Basico]

[2009] [Ingles] [Suficiencia en el idioma] [Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico]

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE RESPONSABILIZA
EL AUTOR**

ALEJANDRO DAVID PROAÑO CHILCAÑAR

DIRECTOR DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

Ing. HERBERT ATENCIO

Latacunga, Agosto 26 de 2011

CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, Alejandro David Proaño Chilcañar, Egresado de la carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Motores, en el año 2011, con Cédula de Ciudadanía N° 1719636407, autor del Trabajo de Graduación IMPLEMENTACIÓN DE UN COMPROBADOR DE INYECTORES PARA EL MOTOR PT6 PARA EL LABORATORIO DE MOTORES DEL ITSA, cedo mis derechos de propiedad intelectual a favor del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

Para constancia firmo la presente cesión de propiedad intelectual.

ALEJANDRO DAVID PROAÑO CHILCAÑAR

Latacunga, Agosto 26 de 2011