



**Remoción del Engranaje Cónico del Mecanismo de Acople de Arranque del Motor
Rolls Royce Dart 534-2, de acuerdo con el Manual de Overhaul, capítulo 72; para la
Carrera de Mecánica Aeronáutica perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas
- ESPE.**

Lucano Garcia, Angelo Julian

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología de Mecánica Aeronáutica Mención Motores

Monografía, Previo a la Obtención del Título de Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica

Mención Motores

Tlgo. Zurita Caisaguano, Jonathan Raphael

Latacunga, 31 de agosto de 2021



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía **“Remoción del Engranaje Cónico del Mecanismo de Acople de Arranque del Motor Rolls Royce Dart 534-2, de acuerdo con el Manual de Overhaul, capítulo 72; para la Carrera de Mécanica Aeronáutica perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.”** Fue realizado por el señor **Lucano Garcia, Angelo Julian** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 31 de agosto de 2021

Firma:

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Jonathan Zurita', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Tlgo. Jonathan Rafael, Zurita Caisaguano

C.C.: 0503068660

REPORTE DE VERIFICACION**Urkund Analysis Result**

Analysed Document: TESIS ANGELO LUCANO.pdf (D112032426)
Submitted: 9/3/2021 4:08:00 PM
Submitted By: jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Significance: 6 %

Sources included in the report:

Boris Vivanco Tesis completa actual.pdf (D80990961)
Tesis para urkund.docx (D78418092)
Tesis Boris Vivanco Finalizado.pdf (D80154184)
Tesis Marcelo Dillon 17-11-2018.pdf (D44139092)
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17686/PFC%20Jose%20Lopez%20Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instances where selected sources appear:

14

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jonathan Zurita", written over a horizontal line.

Tlgo. Jonathan Rafael, Zurita Caisaguano

C.C.: 0503068660



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Lucano Garcia, Angelo Julian**, con número de ciudadanía N° 1721401352 declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía **“Remoción del Engranaje Cónico del Mecanismo de Acople de Arranque del Motor Rolls Royce Dart 534-2, de acuerdo con el Manual de Overhaul, capítulo 72; para la Carrera de Mecánica Aeronáutica perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 31 de agosto del 2021

Firma:



Lucano Garcia, Angelo Julian

C.C.: 1721401352



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Lucano Garcia, Angelo Julian** con cedula de ciudadanía N° 1721401352 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Remoción del Engranaje Cónico del Mecanismo de Acople de Arranque del Motor Rolls Royce Dart 534-2, de acuerdo con el Manual de Overhaul, capitulo 72; para la Carrera de Mécanica Aeronáutica perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 31 de agosto del 2021

Firma:



Lucano Garcia Angelo Julian

C.C.: 1721401352

DEDICATORIA

A mi madre Yesenia Garcia; quien ha sabido nutrir mi cuerpo, alma y mente con tanto amor y dulzura que, junto con su protección me han permitido lograr grandes hazañas, depositando su confianza en mi, y formando así un fuerte equipo en armonía. Mamá eres la razón por la que hoy tengo la motivación y capacidad de defender quien soy frente a todos, y estar orgulloso de aquello, porque, soy parte de ti y gracias a ti puedo luchar sin temor por alcanzar mis expectativas, sabiendo que no puedo caer porque tu eres mis alas; las que siempre me levantan y me llevaran a volar muy alto y muy lejos, hasta llegar a ser el mejor en todo lo que hago, lo que me gustaría hacer y lo que me propongo a ser. Llenándome el alma con esa sensación de ser el mejor para tus ojos. Mamita, hemos trabajado hombro a hombro por 23 años, ahora este triunfo es nuestro.

Lucano Garcia, Angelo Julian

AGRADECIMIENTO

El presente proyecto no habría sido posible sin la colaboración y dedicación de mi gran equipo de personas hábiles y atentas; principalmente agradezco a mis abuelitos Víctor, Glenda y Cecilia por tanta sabiduría, amor y tiempo invertido en mi, y por la paz y el admirable ejemplo que me dan al verlos siempre tan entregados a la familia. A mis mentores, entre ellos; Pedro Flores, el personal docente de la carrera de mecánica aeronáutica, y a mi tutor Jonathan Zurita, se les agradece y considera especialmente por tener la paciencia, tiempo y dedicación para motivarme, inspirarme, disciplinarme e impulsarme en mis primeros pasos para convertirme en un mecánico astuto, creativo, pulcro y eficiente. Gracias a mis amigos con quienes formamos una familia apoyándonos y cuidando el uno del otro en todas las circunstancias mientras nos encontrábamos lejos de nuestros hogares, persiguiendo sueños en común, construyendo en el proceso los mas gratos recuerdos y fuertes lazos. Muchas gracias Anita Belén y Dome por sus atenciones y siempre cálida acogida, y a toda mi familia por estar pendientes de que nada me falte y estar siempre listos para echarme una mano cuando mas lo necesito.

Finalmente, un agradecimiento muy especial a mi padre Víctor Lucano y a mi hermano Emilio Lucano; mi equipo titular para toda clase de aventuras, deportes, trabajo, diversión, paseo, comida, viajes, etc. Con ustedes siempre se aprende algo nuevo y logramos ver que no hay una sola manera de hacer las cosas, encontrando soluciones donde los demás ven problemas, sin ustedes la experiencia de este proyecto no habría sido igual de buena. Muchas gracias, este es uno mas de nuestros inventos.

Lucano Garcia, Angelo Julian

Tabla de contenido

Carátula	1
Certificación	2
Reporte de verificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras	13
Resumen.....	16
Abstract	17
Planteamiento del problema de investigación.....	18
Antecedentes.....	18
Planteamiento del problema	19
Justificación e importancia	20
Objetivos	21
<i>Objetivo general</i>	<i>21</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>21</i>
Alcance.....	22
Marco teórico	23
Motores a reacción.....	23

Ciclo de combustión de Brayton	23
Motores a reacción autónomos	25
<i>Motor cohete de propulsión química</i>	25
<i>Motor cohete de propulsión nuclear</i>	26
<i>Motor cohete de propulsión eléctrica</i>	27
Motores a reacción no autónomos.....	28
<i>Motores a reacción sin sistema de compresión</i>	28
<i>Motores a reacción con sistema de compresión</i>	30
Motor Rolls Royce dart	39
Primeras pruebas del Dart.....	44
Aeronaves impulsadas exclusivamente por Rolls-Royce Dart.....	46
Principios de funcionamiento de un Rolls-Royce Dart	49
Descripción de un motor Rolls-Royce Dart	52
<i>Disposición de los ejes</i>	52
<i>Reductor</i>	53
<i>Carter de la toma de aire</i>	54
<i>Sección del compresor</i>	55
<i>Sección de combustión</i>	57
<i>Sección de la turbina</i>	59
<i>Tobera de escape</i>	60
Sistemas del motor Rolls-Royce Dart	61
<i>Sistema de aceite</i>	61
<i>Sistema de medición de par</i>	63
<i>Sistema de sellado y enfriamiento por aire</i>	65
<i>Termopares y arneses</i>	65
<i>Sistema de combustible del motor y controles</i>	67

	10
<i>Sistema de agua/metanol del motor</i>	68
<i>Sistema de controles del motor</i>	70
<i>Sistema de arranque</i>	71
<i>Interruptor de torque bajo</i>	73
<i>Sistema de control de la hélice</i>	73
Sistema de arranque del motor Rolls-Royce Dart	75
<i>Objetivos</i>	75
<i>Mando del sistema de arranque eléctrico</i>	76
<i>Indicaciones en la cabina</i>	78
<i>Funcionamiento y tipos de mecanismo</i>	78
<i>Manejo del motor</i>	79
Descripción de partes y funciones del sistema de arranque	84
Desarrollo del tema	101
Preliminares	101
Consideraciones generales	102
Elaboración del soporte para los componentes del motor	102
Limpieza de los componentes	112
Remoción del engranaje cónico del tren arranque	115
Limpieza de los componentes removidos	122
Montaje de motor eléctrico para accionar el tren de arranque	124
Análisis económico del proyecto	129
Costos primarios	129
Costos secundarios	133
Costo total del proyecto	134
Conclusiones y recomendaciones	135

	11
Conclusiones.....	135
Recomendaciones.....	135
Bibliografía.....	137
Anexos.....	139

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Secuencia de puesta en marcha de un motor rolls-royce dart.</i>	80
Tabla 2 <i>Secuencia de parada del motor.</i>	83
Tabla 3 <i>Secuencia de soplado.</i>	83
Tabla 4 <i>Esquema de entrenamiento del sistema de arranque del viscount.</i>	84
Tabla 5 <i>Costos primarios del proyecto.</i>	130
Tabla 6 <i>Costos secundarios del proyecto.</i>	133
Tabla 7 <i>Costos totales del proyecto.</i>	134

Índice de figuras

Figura 1 <i>Ciclo de Otto y ciclo de Brayton</i>	25
Figura 2 <i>Propulsión química en un cohete</i>	26
Figura 3 <i>Propulsión termonuclear en un cohete</i>	27
Figura 4 <i>Propulsión electromagnética en un cohete</i>	28
Figura 5 <i>Estatorreactor</i>	29
Figura 6 <i>Pulsorreactor</i>	30
Figura 7 <i>Motor turbojet</i>	31
Figura 8 <i>Turbina ligada</i>	33
Figura 9 <i>Turbina libre</i>	34
Figura 10 <i>Turbofan low bypass</i>	35
Figura 11 <i>Turbofan high bypass</i>	36
Figura 12 <i>Motor propfan</i>	37
Figura 13 <i>Post combustión</i>	38
Figura 14 <i>Configuración interna del Dart</i>	39
Figura 15 <i>Río Dart</i>	40
Figura 16 <i>Gloster meteor trent</i>	43
Figura 17 <i>Avro lancaster ng465</i>	46
Figura 18 <i>Vickers viscount</i>	49
Figura 19 <i>Diagrama de flujo de gas</i>	51
Figura 20 <i>Diagrama del tren principal</i>	53
Figura 21 <i>Vista interior de la caja de reducción</i>	54
Figura 22 <i>Cárter de la toma de aire</i>	55
Figura 23 <i>Sección del compresor</i>	56
Figura 24 <i>Diagrama de estabilización de flama y flujo de aire</i>	58

Figura 25 <i>Caja de toberas y turbinas.</i>	60
Figura 26 <i>Unidad de descarga.</i>	61
Figura 27 <i>Diagrama de circulación de aceite.</i>	63
Figura 28 <i>Componentes del sistema medidor de par.</i>	65
Figura 29 <i>Arnés de termo-pares.</i>	67
Figura 30 <i>Diagrama del sistema de combustible del motor.</i>	68
Figura 31 <i>Sistema de agua/metanol.</i>	69
Figura 32 <i>Caja de controles del motor.</i>	71
Figura 33 <i>Motor de arranque y conjunto propulsor embrague.</i>	73
Figura 34 <i>Sistema hidráulico simplificado de la hélice de dos topes del dart.</i>	74
Figura 35 <i>Paneles de arranque y reencendido del motor.</i>	77
Figura 36 <i>Medición de componentes.</i>	103
Figura 37 <i>Diseño de la estructura en 3d.</i>	104
Figura 38 <i>Perfil I de 2 pulgadas.</i>	105
Figura 39 <i>Corte de perfiles.</i>	106
Figura 40 <i>Perforación en taladro de banco.</i>	107
Figura 41 <i>Corte del marco rectangular.</i>	108
Figura 42 <i>Soldadura.</i>	109
Figura 43 <i>Montaje de las ruedas en el marco rectangular.</i>	110
Figura 44 <i>Montaje de perfiles diagonales.</i>	111
Figura 45 <i>Montaje del conjunto de la hélice y soporte sobre los rieles.</i>	112
Figura 46 <i>Pistola de aire para remover FOD.</i>	113
Figura 47 <i>Agua jabonosa.</i>	114
Figura 48 <i>Limpieza de la caja de engranajes de reducción.</i>	115
Figura 49 <i>Cavidad del eje de acople y transmisión de la caja cónica.</i>	116

Figura 50 <i>Desmontaje del panel posterior.</i>	117
Figura 51 <i>Extracción del panel posterior.</i>	118
Figura 52 <i>Cañerías de transferencia de aceite.</i>	118
Figura 53 <i>Cubierta con rodamiento de rodillos.</i>	119
Figura 54 <i>Extracción de circlip de la cubierta.</i>	120
Figura 55 <i>Engranaje cónico del sistema de arranque.</i>	121
Figura 56 <i>Conjunto del engranaje cónico del sistema de arranque.</i>	122
Figura 57 <i>Keroseno.</i>	123
Figura 58 <i>Limpieza del engranaje cónico del sistema de arranque.</i>	123
Figura 59 <i>Secado de los componentes.</i>	124
Figura 60 <i>Montaje del panel posterior.</i>	125
Figura 61 <i>Montaje de los engranajes de reducción.</i>	126
Figura 62 <i>Eje de transmisión del motor de arranque.</i>	127
Figura 63 <i>Centrado de los ejes.</i>	127
Figura 64 <i>Circuito eléctrico del motor de 110v dc.</i>	128
Figura 65 <i>Maqueta didáctica del sistema de arranque.</i>	129

Resumen

Cuando pensamos en aviones, generalmente imaginamos una aeronave comercial, y creemos que las turbinas se encuentran bajo las alas; pero, no sabemos con exactitud que hacen o porque suenan tan fuerte; lo cierto es que son motores a reacción o aerorreactores que por dentro contienen turbinas, entre otros componentes que, en conjunto se encargan de transformar la energía química de la atmosfera y del combustible en energía mecánica, capaz de mover pequeñas masas de aire a gran velocidad o, grandes masas de aire a una velocidad intermedia, en el caso de los que emplean hélices, dando como resultado grandes magnitudes de empuje. En el presente proyecto, trabajaremos en la sección de admisión y reducción del motor turbohélice Rolls Royce Dart 534-2; para esto lo estudiaremos, detallando técnicamente su historia, características, funciones, usos y componentes; con la finalidad de analizar como es que una maquina de gran tamaño y peso puede arrancar con el toque de un botón, y mantenerse encendidas para hacer que otra maquina con dimensiones aun mas grandes se mantenga en el aire mientras transporta personas, animales y/u objetos de la manera mas segura y eficiente. Además, analizaremos toda la información técnica para aprender las practicas ejecutadas en aviación que logran mantener a estas maquinas en operación optima y constante.

Palabras clave:

- **REMOCIÓN DE ENGRANAJE**
- **ACCIONAMIENTO DE ENGRANAJES DE REDUCCION**
- **TURBOHELICE**
- **MOTOR DE ARRANQUE**
- **CABALLOS DE FUERZA DEL MOTOR ELÉCTRICO**

Abstract

When we think of airplanes, we generally imagine a commercial aircraft, and we believe that the turbines are under the wings; But, we don't know exactly what they do or why they sound so loud; The truth is that they are jet engines or air-jets that contain turbines inside, among other components, that together are responsible for transforming the chemical energy of the atmosphere and fuel into mechanical energy, capable of moving small masses of air at high speed, or large masses of air at an intermediate speed in the case of those that use propellers, resulting in large magnitudes of thrust.

In this project, we will work on the intake and reduction section of the Rolls Royce Dart 534-2 turboprop engine; For this we will study it, technically detailing its history, characteristics, functions, uses and components; In order to analyze how a large and heavy machine can start with the touch of a button, and stay on, to make another machine with even larger dimensions stay in the air while transporting people, animals and/or objects in the safest and most efficient way. In addition, we will analyze all the technical information to learn the practices carried out in aviation that manage to keep these machines in optimal and constant operation.

Key words:

- **GEAR REMOVAL**
- **REDUCTION GEAR DRIVE**
- **TURBOPROP**
- **STARTER MOTOR**
- **ELECTRIC MOTOR HORSE POWER**

Capítulo I

1. Planteamiento del problema de investigación

1.1. Antecedentes

El crecimiento de la aviación en el Ecuador ha sido progresivo, aunque lento, se ha logrado obtener aeronaves modernas, con tecnología avanzada y principalmente con el objetivo de brindar mayor trabajo a menor costo, mas, al país no llega lo último en tecnología que existe ya que el Ecuador no se encuentra apto para recibirla; uno de sus causantes es el hecho de que en el país no existe una industria aeronáutica como tal que pueda producir aeronaves o sus componentes.

El Ecuador cuenta con una determinada cantidad de aerolíneas con itinerarios regulares y no regulares, centros de instrucción y centros de mantenimiento que logran sustentarse entre sí, sin embargo por la falta de la industria aeronáutica no hay centros de mantenimiento aprobados para realizar ciertas tareas como un mantenimiento completo del motor o de alguno de sus componentes internos, por lo cual estos deben realizarse en el país de fabricación, causando pérdidas de dinero y tiempo a las empresas por falta de instalaciones, herramientas, equipos y personal capacitado.

La Unidad de Gestión de Tecnologías - ESPE es un centro de instrucción aprobado por la Dirección General de Aviación Civil, provisto de motores para instrucción Rolls Royce Dart, uno de los cuales será tomado para remover el engranaje cónico del mecanismo de acople de arranque, empleando los equipos adecuados y el respectivo manual técnico de overhaul, alimentando el conocimiento general del estudiante.

1.2. Planteamiento del Problema

El Ecuador es un país que ha sido reconocido y nombrado alrededor de todo el mundo en las últimas dos décadas, principalmente por su potencial turístico, gracias a la gran biodiversidad y atracciones naturales; esto ha provocado un elevado tráfico de turistas hacia el país que por consecuencia generó la necesidad de mejorar la infraestructura aeroportuaria logrando de esta manera la construcción de aeropuertos como son el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre en la capital, Quito; provisto de la pista de aterrizaje más larga de Sudamérica, el Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo, en Guayaquil; nombrado en 2011 como el mejor del mundo en la categoría respectiva de 2 a 5 millones de pasajeros, y el aeropuerto Seymour; en la Isla Baltra; nombrado el primer aeropuerto ecológico del mundo, esto solo por nombrar los principales proyectos e intenciones de crecer en el campo de la aviación.

El evidente crecimiento de la aviación en el Ecuador gracias a estos proyectos también ha sido beneficioso para la generación de plazas de empleo y por lo tanto generando interés en las personas por prepararse para estar apto para tener una profesión dentro del campo de aviación.

El país cuenta con pocas instituciones en las cuales prepararse para una profesión en aviación civil, siendo desde el 13 de enero del 2014 la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE quien integra al Instituto Superior Aeronáutico-ITSA para crear la Unidad de Gestión de Tecnologías-UGT y así poder brindar a la comunidad la oportunidad de estudiar carreras técnicas relacionadas a la aviación, convirtiéndose actualmente en un Centro de Instrucción de Aviación Civil Aprobado-CIAC, probablemente el único en el Ecuador.

El Centro de Instrucción cuenta con aviones escuela, maquetas didácticas, equipo para prácticas de mantenimiento, herramientas y motores de aviación; sin embargo no es suficiente para el aprendizaje del estudiante ya que por el uso y las practicas que se realizan en las diferentes asignaturas estas herramientas de aprendizaje se deterioran y dejan de servir a su propósito, además la falta y deterioro de herramientas especiales impiden al estudiante conocer un motor de aviación internamente y muchos de sus componentes y funciones, materiales, configuraciones, entre otras características que son conocimiento fundamental para la formación de un Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica.

Lo cual ocasiona que los estudiantes no puedan adquirir todos los conocimientos prácticos y desarrollar los conocimientos teóricos impartidos por los instructores previamente certificados, y a su vez el centro de Instrucción podría perder su categoría y los estudiantes perderían los beneficios que ofrece un Centro de Instrucción de Aviación Civil Aprobado-CIAC.

1.3. Justificación e importancia

Al realizar la correcta remoción del engranaje cónico del mecanismo de acople de arranque se lograra evidenciar el buen estado en el que se encuentra este componente y por lo tanto los componentes adyacentes a este, comprobando que la universidad contara con material de instrucción en buen estado y apto para el aprendizaje de estudiantes de una universidad de renombre como lo es la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, pongo a consideración dicha inspección, porque al dejar la caja de reducción del motor con sus engranajes expuestos, los mayores beneficiados serán los estudiantes y docentes de la institución, ya que ampliaran sus conocimientos y desarrollaran destrezas para

ofrecer profesionales respetables al país y poner el nombre de la universidad en alto.

Como un adicional se proveerá a la universidad de la caja de reducción del Motor Rolls Royce Dart con accionamiento del eje principal mediante un motor eléctrico adaptado para que los estudiantes y docentes gocen de este material de instrucción para aprender y enseñar los diferentes componentes que posee una caja de reducción de un motor a reacción y así puedan manipular, armar, desarmar e inspeccionar ciertos componentes para conocer sus funciones, configuraciones, materiales de construcción, entre otras prácticas de mantenimiento que complementan la teoría aprendida.

El presente proyecto es importante debido a la participación de estudiantes y docentes a quienes será de gran utilidad posteriormente, para formar profesionales con los conocimientos suficientes para reconocer un motor de aviación, sus partes, componentes y sus funciones.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Remover el engranaje cónico del mecanismo de acople de arranque del motor Rolls Royce Dart 534-2, de acuerdo con el manual de Overhaul, capítulo 72; para la carrera de Mecánica Aeronáutica perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Obtener documentación técnica necesaria de los manuales del fabricante para ejecutar dicha tarea.

- Seccionar la caja de reducción permitiendo una visualización didáctica de sus componentes internos para que los estudiantes puedan observar y manipular este mecanismo y obtener un aprendizaje completo.
- Accionar el eje principal de la caja de reducción mediante la adaptación de un motor eléctrico en el mecanismo de arranque.

1.5. Alcance

La intención de este proyecto tecnológico es determinar el estado del engranaje cónico del mecanismo de acople de arranque para comprobar que el estado de la caja de reducción es apto para ser usado como material de instrucción, accionando el eje principal mediante un motor eléctrico en el proceso adicionalmente para la carrera de Mecánica Aeronáutica perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE en su calidad de Centro de Instrucción de Aviación Civil-CIAC.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Motores a Reacción

El Diccionario de Términos Técnicos para uso Aeroespacial define un motor a reacción como:

Un motor que genera empuje a partir de su reacción a una sustancia expulsada de él; específicamente, aquel motor que expulsa un chorro de gases creados por la quema de combustible dentro del motor. Un motor a reacción opera de acuerdo a la Tercera ley del Movimiento de Newton, es decir, para cada fuerza hay una reacción igual y opuesta. Ambos motores cohete y turbina son motores a reacción. (Woodfill, 2001)

Según el Handbook para Técnicos de mantenimiento en aviación – Planta Motriz Volumen 1 (2018), define al motor a reacción como:

Una forma de motor de calor que produce empuje calentando una masa de aire dentro del motor y expulsándola a través de una tobera con forma específica. La cantidad de empuje está determinada por la cantidad de masa de aire y la cantidad de su aceleración. (FAA, Aviation Maintenance Technician Handbook-Powerplant Volume 1, 2018)

2.2. Ciclo de combustión de Brayton

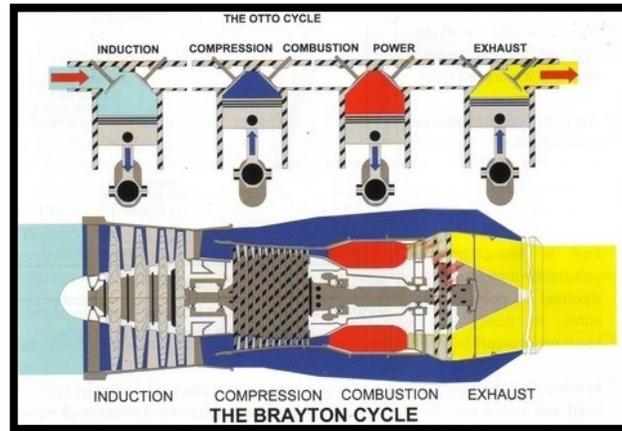
Ciclo de Brayton es el nombre dado al ciclo termodinámico de un motor turbina para producir empuje. Este es un ciclo de eventos de volumen variable y presión constante y comúnmente es llamado el ciclo de presión constante. Un termino mas reciente es “ciclo de combustión continua”. Los cuatro eventos continuos y

constantes son: Admisión, Compresión, Expansión (incluye potencia), y escape.
(FAA, Aviation Maintenance Technician Handbook – General , 2018)

En el ciclo de admisión el motor direcciona la masa aire de la atmósfera a través de la toma de aire hacia la sección de compresión, disminuyendo el volumen y acelerando el fluido o aumentando su presión según el tipo de tobera; la masa de aire pasa a través del compresor aumentando significativamente su presión y temperatura y es enviado hacia la cámara de combustión en donde toda la energía de la masa de aire a alta presión y temperatura se mezcla con partículas de combustible, formando una mezcla de gases altamente explosiva, la cual es inflamada con el calor proporcionado por dos antorchas dentro de la cámara y así se provoca el ultimo ciclo direccionando los gases a alta presión, temperatura y velocidad hacia la tobera de escape la cual puede acelerar o desacelerar estos gases según su forma; este direccionamiento de los gases de escape hacia la atmosfera nos da una fuerza igual y opuesta que es el empuje que mantiene a una aeronave con sustentación.

Figura 1

Ciclo de Otto y ciclo de Brayton.



Nota. En el ciclo de Otto es necesario cuatro acciones que ocurren en cuatro momentos diferentes para producir trabajo, mientras que en el ciclo de Brayton estas cuatro acciones ocurren al mismo tiempo solo que en diferentes secciones del motor.

2.3. Motores a reacción Autónomos

Se denominan autónomos ya que no necesitan un elemento exterior al motor para que este genere empuje, también son conocidos como motores cohete.

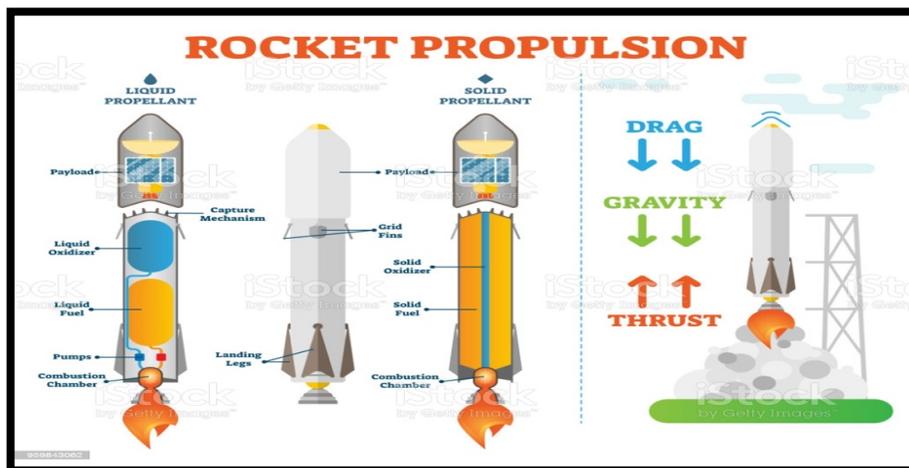
Tenemos tres tipos de motores cohete según el combustible que emplean:

2.3.1. Motor Cohete de Propulsión Química

Ya que se emplean en el espacio estos llevan dentro dos depósitos separados uno para el comburente y otro para el oxidante, estos se mezclan en la cámara de combustión y su reacción resulta en la expulsión de gases a gran velocidad. Existen dos tipos de propulsión química según el tipo de sustancias que se emplean; la propulsión sólida, emplea poliuretano como combustible plástico y perclorato de amonio como oxidante, mientras que, la propulsión líquida se da mediante el empleo de Hidrogeno líquido y Oxigeno líquido.

Figura 2

Propulsión química en un cohete.



Nota. Distribución del sistema de Propulsión Química tanto líquida como sólida dentro de un cohete.

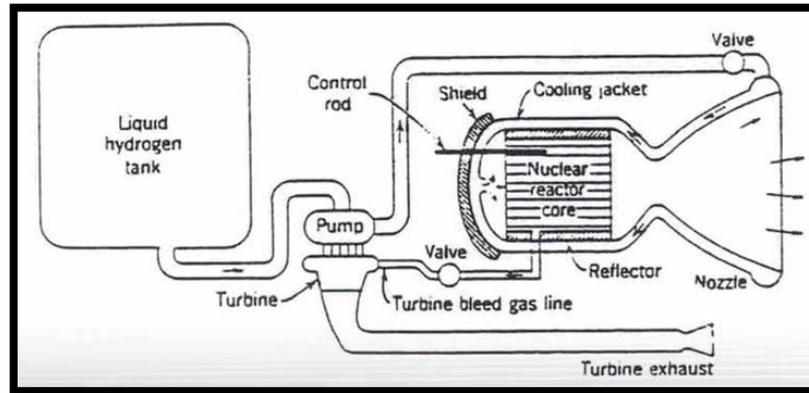
2.3.2. Motor Cohete de Propulsión Nuclear

Consiste en convertir la energía producida por la reacción nuclear en energía cinética de un propulsor: El calor obtenido de una reacción de fisión nuclear se transmite por medio de fragmentos de fisión al propulsor hasta alcanzar el equilibrio térmico; el propulsor caliente impulsa el cohete al salir expandido por una boquilla.

En cuanto al propulsor, puede ser hidrógeno líquido, el cual, al absorber calor, ayuda a enfriar el reactor nuclear. El impulso producido por el propulsor es de aproximadamente 106 Newton. La ventaja principal que ofrece este modelo de propulsión es que ofrece energía para mucho tiempo y es reutilizable si se añade combustible. (Wikipedia, Cohete térmico nuclear - Nuclear thermal rocket, 2021)

Figura 3

Propulsión termonuclear en un cohete.



Nota. Descripción esquemática de las partes de un Sistema de Propulsión Termonuclear empleado para impulsar cohetes.

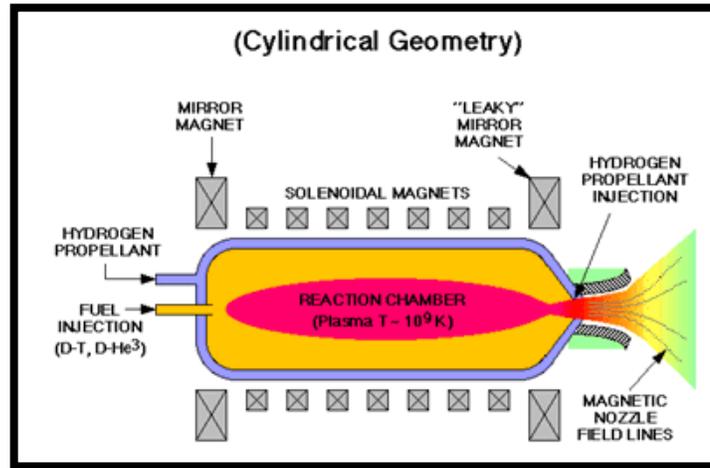
2.3.3. Motor Cohete de Propulsión Eléctrica

Esta configuración de motor consiste en calentar el propulsante usando diferentes métodos eléctricos de generar calor, como:

- **Electro térmico.** - emplea resistencias para calentar un comburente gaseoso antes de ser inyectado en la tobera de escape.
- **Electromagnético.** - se utiliza un campo magnético para acelerar moléculas de plasma ionizado.
- **Electrostático.** - emplea campos electrostáticos para acelerar y expulsar partículas cargadas eléctricamente y con altas velocidades.

Figura 4

Propulsión electromagnética en un cohete.



Nota. Configuración de un motor cohete propulsado electromagnéticamente.

2.4. Motores a Reacción No Autónomos

Se denominan no autónomos debido a que estos no pueden generar empuje sin un elemento externo al motor, en este caso el aire de la atmosfera. Tenemos dos maneras en las que un motor puede generar empuje dentro de la atmosfera: una manera es acelerando grandes masas de aire y la otra es acelerar pequeñas masas de aire a velocidades muy elevadas incluso llegando a romper la barrera del sonido de ser necesario. Ya que este tipo de motores tienen mas aplicaciones que los autónomos tenemos una variedad de motores según su configuración y las velocidades que alcanzan; por lo tanto, agruparemos a los motores en aquellos sin compresor y aquellos que si poseen compresor:

2.4.1. Motores a Reacción sin Sistema de Compresión

Consisten en toberas que debido a su forma específica logran acelerar la masa de aire que pasa a través de esta, en su interior poseen pocos elementos fijos

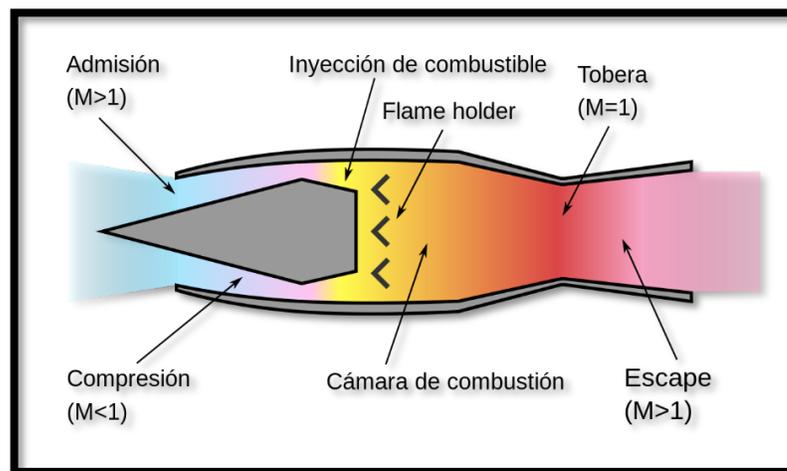
o móviles que ayudan a mantener al motor produciendo empuje. Comúnmente este tipo de maquinas son experimentales por lo tanto las dos que destacan son:

- **Estatorreactor**

Un estatorreactor, a veces denominado tubo de estufa volador o athodyd (conducto termodinámico aerodinámico), es una forma de motor a reacción con aire que utiliza el movimiento hacia adelante del motor para comprimir el aire entrante sin un compresor axial o un compresor centrífugo. Debido a que los estatorreactores no pueden producir empuje a velocidad cero, no pueden mover un avión desde parado. Un vehículo propulsado por Ramjet, por lo tanto, requiere un despegue asistido como un cohete asistido para acelerarlo a una velocidad en la que comienza a producir empuje. Los Ramjets funcionan de manera más eficiente a velocidades supersónicas alrededor de Mach 3 (2.300 mph; 3.700 km / h). Este tipo de motor puede funcionar hasta velocidades de Mach 6 (4.600 mph; 7.400 km / h). (Wikipedia, Ramjet - Ramjet, 2021)

Figura 5

Estatorreactor.



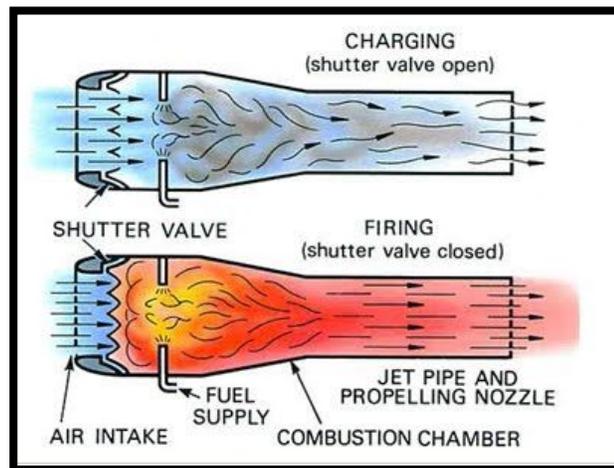
Nota. Podemos observar que este tipo de motor a reacción no posee partes móviles.

- **Pulsorreactor**

Es bien conocido que los motores pulso-reactores son muy simples con ninguna o muy pocas partes móviles. Cuando se inyecta una mezcla de aire combustible en la cámara de combustión esta es inicialmente encendida por una chispa y la presión desarrollada expulsa los gases por la tobera. Debido a la inercia de dichos gases se produce una depresión en la cámara de combustión la que origina que los productos de la combustión se evacuen, que las válvulas se abran e ingrese una nueva carga de mezcla a través de ellas. Esta nueva carga es encendida por los gases calientes que todavía se encuentran en la cámara y el proceso se vuelva a repetir. (Scala, Heidenreich, Martiarena, & di Bernardi, s.f.)

Figura 6

Pulsorreactor.



Nota. El único componente móvil que posee este tipo de aerorreactor suelen ser las válvulas de bloqueo y en algunos casos una bomba de combustible.

2.4.2. Motores a reacción con sistema de Compresión

Estos aerorreactores son mas complejos ya que llevan numerosas piezas y partes móviles que trabajan en sincronía para encender, apagar y mantener el motor

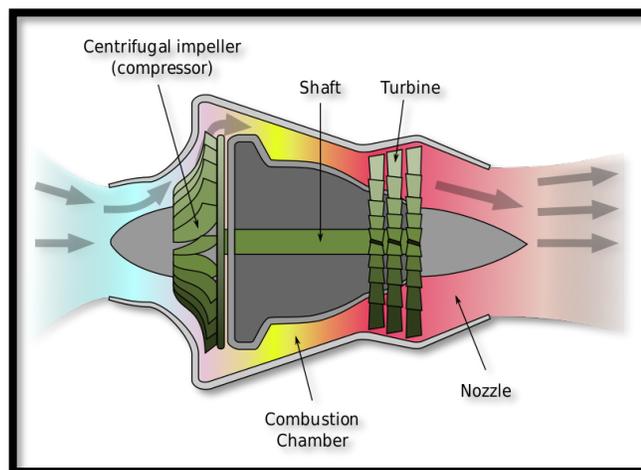
funcionando bajo cualquier circunstancia de vuelo, altura, velocidad, temperatura, presión, etc. En este grupo tenemos una subdivisión extensa de los motores que se usan en la actualidad, estos difieren el uno del otro en configuración, tamaño, consumo de combustible, pero cada uno busca ser lo mas eficiente y generar mayor empuje a menor consumo de combustible:

- **Motor Turbojet**

Es un motor con propulsión a chorro que incorpora un compresor impulsado por una turbina de aire para introducir y comprimir el aire para la ignición de combustible (o para el calentamiento por un reactor nuclear), siendo usados los gases de la combustión (o el aire calentado) para rotar la turbina y para crear un chorro generador de empuje. (FAA, Aviation Maintenance Technician Handbook- Powerplant Volume 1, 2018)

Figura 7

Motor turbojet.



Nota. Motor Turbina mas básico, en este caso posee un compresor centrifugo y un solo carrete o spool (conjunto de compresor, eje principal y turbina).

- **Motor Turbohélice**

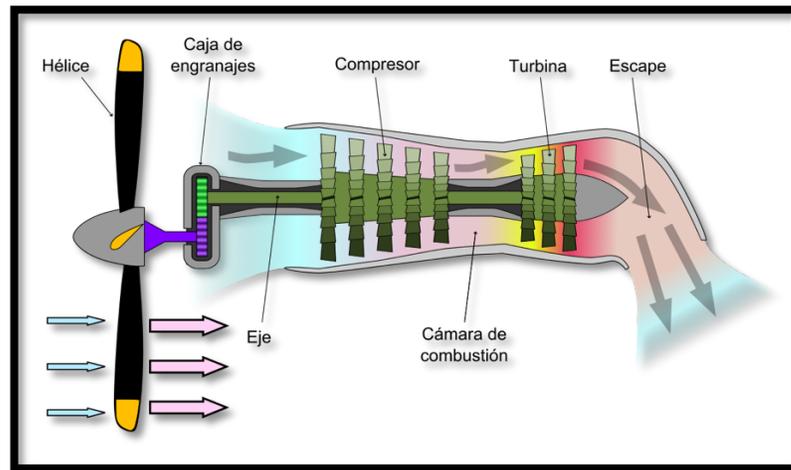
Un turbohélice es un tipo de motor de turbina de gas que mueve una hélice. El sistema de generación de gas es similar al de un turboreactor, la diferencia es que los gases de escape apenas contienen energía para producir un empuje significativo. En su lugar, se utilizan para mover la turbina que está conectada al eje potencia. Aproximadamente un 90 % del empuje es producido por la hélice y el 10 % restante por los gases de escape. (Garcia Hernandez, 2017)

Encontramos dos configuraciones en este tipo de motor:

a) Turbohélice de Turbina Ligada

En un motor de un solo eje, la hélice es impulsada por el mismo eje que impulsa al compresor (spool). Ya que la hélice necesita rotar a RPM mas bajas que la turbina, una caja de reducción reduce la velocidad rotacional del eje del motor para acomodarla a la hélice a través del eje de impulso de la hélice. (Comercial Aviation Safety Team)

El resto de su configuración es como la de un turboreactor cualquiera, posee entrada de aire, sección de compresión la cual puede ser axial o centrifuga pero por lo general en un turbohélice se usa el compresor axial ya que este permite una alta relación de compresión con menos piezas móviles y permite hacer el motor mas ligero y compacto, tiene cámara de combustión, sección de turbina y la sección de escape donde los gases no representan una velocidad significativa para aportar empuje para el motor.

Figura 8*Turbina ligada.*

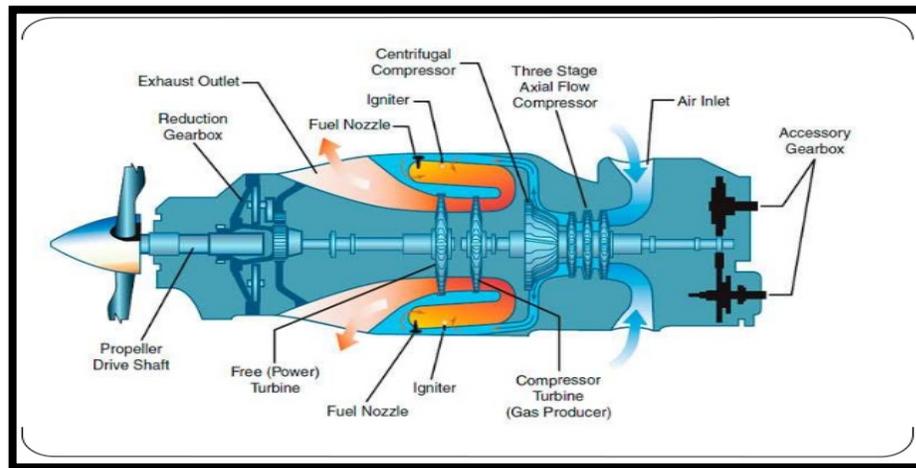
Nota. En este caso podemos observar un compresor axial y se sigue manteniendo un solo spool y un solo mecanismo desde la hélice hasta la turbina.

b) Turbohélice de Turbina Libre

En un motor de turbina libre, la hélice es impulsada por una turbina dedicada a eso. Una turbina diferente impulsa al compresor; esta turbina y su compresor trabajan a velocidades aproximadamente constantes sin importa el paso de la hélice o su velocidad. Ya que la hélice necesita rotar a menores RPM que la turbina, una caja de reducción convierte las RPM de la turbina a un nivel apropiado para la hélice.

(Comercial Aviation Safety Team)

Una característica destacable de este tipo de motor es que generalmente son de flujo inverso; debido a que posee dos turbinas separadas una solo para la hélice y otra solo para el compresor, este tipo de motor tiene su toma de aire en la parte posterior del motor y la tobera de escape se encuentra detrás de la hélice, de esta manera el motor es mas compacto y mas eficiente al no tener el eje principal ligado.

Figura 9*Turbina libre.*

Nota. Apreciamos el flujo invertido en este motor, tenemos tres etapas de compresor axial y una etapa centrifuga y dos turbinas separadas que accionan sistemas diferentes; una turbina acciona el compresor y la otra la hélice.

- **Motor Turbofan**

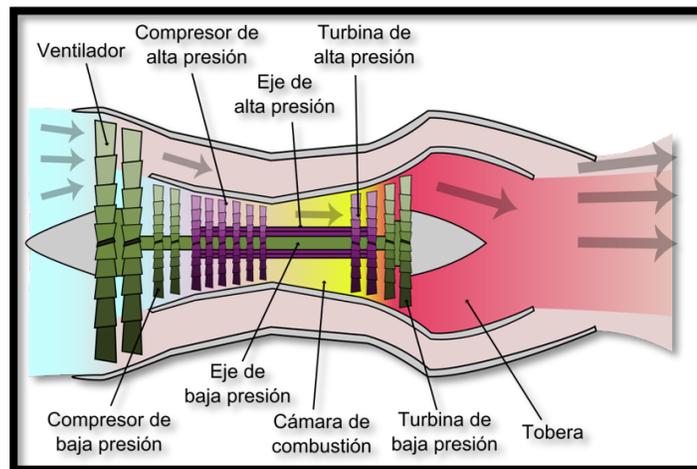
Es un aerorreactor tal como el Turborreactor, solo que, en su primera etapa del compresor, o sea, justo detrás de la entrada de aire, se encuentra un disco de compresor significativamente mas grande que el resto de la sección, llamado "FAN"; este permite el ingreso de una mayor cantidad de masa de aire al motor. Existen algunos motores que poseen un eje y una turbina (de baja presión), exclusivamente para mover el Fan; es decir que estos motores poseen 3 ejes concéntricos lo cual hace mas eficiente el empleo de la combustión para el movimiento de los ejes principales y sus componentes; en el resto de motores el Fan se mueve junto con la sección compresora.

Lo interesante del funcionamiento de este Aerorreactor es lo que sucede con la gran masa de aire succionada por el FAN. Según está descrito en Skybrary:

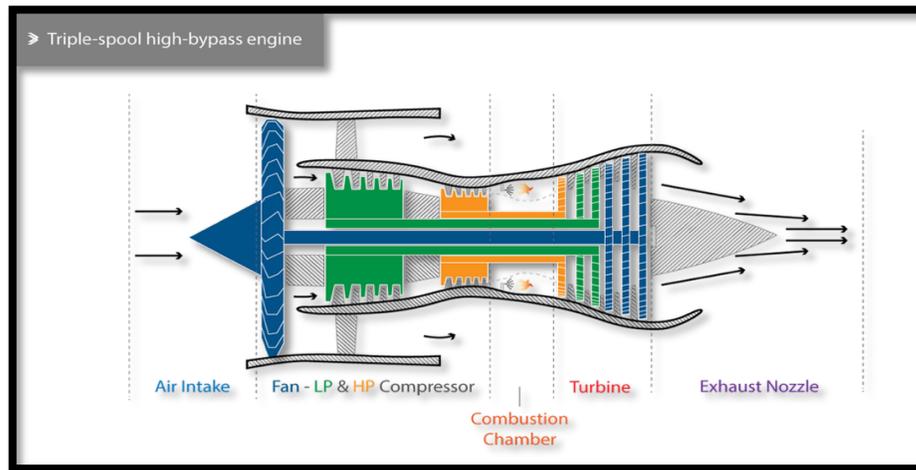
Un motor Turbofan, a veces llamado Fanjet o motor Bypass, es una variante de un motor turbina el cual produce empuje usando una combinación del aire efluente del núcleo y del aire de bypass el cual ha sido acelerado por un ventilador con ducto impulsado por un núcleo a chorro. La proporción de masa de aire de bypass versus la masa de aire que va a través del núcleo es llamada proporción de bypass. Un motor Turbofan que deriva la mayor parte de su empuje del efluente del núcleo del motor es llamado motor low bypass mientras que un motor que deriva la mayor parte de su empuje del Fan es conocido como motor High bypass. En general, los motores Low bypass son encontrados más comúnmente en aplicaciones militares, y podrían estar equipados con un post-quemador, mientras que los motores Turbofan High bypass son el diseño prevalente en los motores Jet de aviación comercial al día hoy. (Skybrary, 2016; Vickers Viscount Network, 2021)

Figura 10

Turbofan low bypass.



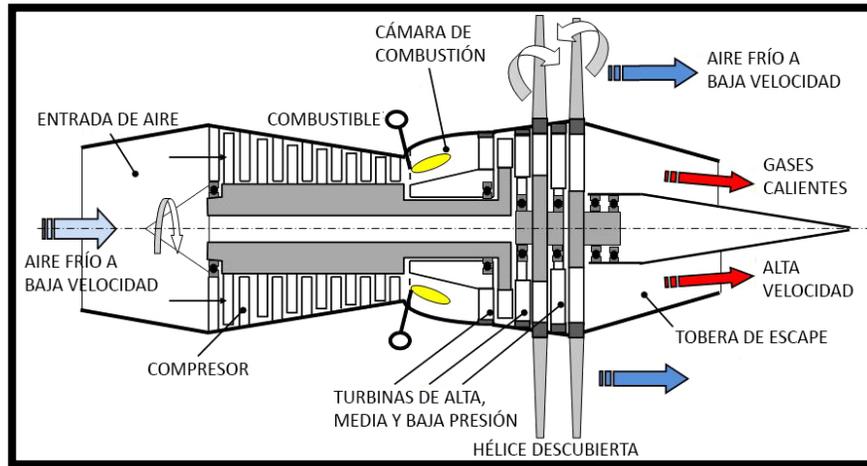
Nota. Logramos diferenciar un flujo mínimo que envuelve al núcleo y otro que es inflamado al pasar por el núcleo además de dos spool; uno para el compresor y turbina de alta potencia y otro spool para el fan y la turbina de baja potencia.

Figura 11*Turbofan high bypass.*

Nota. Notamos que el Fan es significativamente mas grande que el resto de la sección compresora, por lo tanto, también notamos que el aire derivado que envuelve al núcleo es mayor al de un Low Bypass y además aquí encontramos tres spool; N1 (azul), N2 (verde), N3 (amarillo); formados por Fan y turbina de baja presión (N1), compresor de media presión y turbina de media presión (N2) y el compresor de alta presión junto con la turbina de alta presión (N3). Tomado de (*Engineering, 2021*)

- **Motor Propfan**

Un motor de aviación propfan es una modificación de un turbofan que posee una hélice (en inglés prop, abreviatura de propeller) colocada fuera de la carcasa del motor, en el mismo eje que los álabes del compresor y la turbina, y por tanto un índice de derivación muy elevado. Es por ello que también son conocidos como Unducted Fan, UDF o UHB (del inglés Ultra-High-Bypass Turbofan). El diseño está concebido para ofrecer las prestaciones y velocidad de un turbofan con la economía de funcionamiento de un turbohélice. (Aguilar, de Haan, Knuyt, & Nieuwendijk, 2017)

Figura 12*Motor propfan.*

Nota. En la figura se destaca unos alabes muy alargados en los discos de turbina que incluso se encuentran fuera de la carcasa del motor; estos alabes actúan como dos ventiladores que son contra rotativos para ayudar a reducir el torque y las vibraciones generadas por cada ventilador y generan empuje extra acelerando la masa de aire que fluye por fuera del motor.

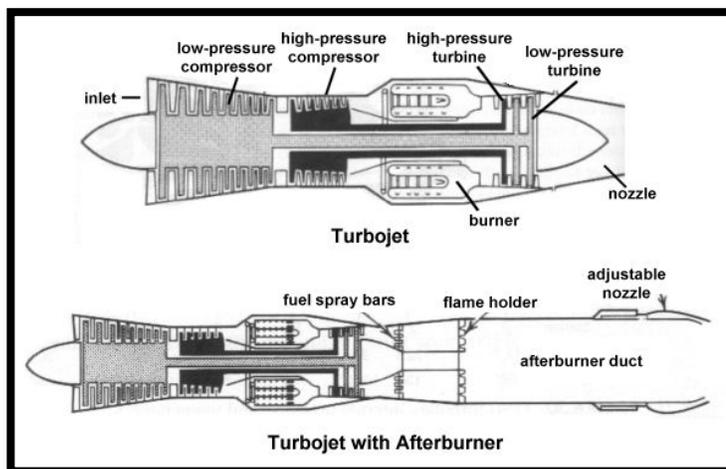
- **Motor con Post-combustión.**

Luego que el motor ha alcanzado la potencia máxima bajo condiciones de operación normales, la palanca de potencia puede avanzar para activar los post-quemadores. Esto permite que mas combustible fluya en la tobera de escape donde se enciende y se quema. A medida que la energía y masa son añadidas al flujo de gas, la tobera de escape debe abrirse ampliamente para permitir un mejor flujo. Mientras la palanca de potencia regresa de la posición post-quemador, la tobera de escape vuelve a cerrarse. Algunos motores turbopropfan low bypass usados en aviones militares emplean aire de bypass (aire del fan) para fluir en la tobera de escape. Tal como en un ventilador con ducto, este aire se usa en el post-quemador. Este contiene mas

oxígeno y asiste en la combustión de el post-quemador. (FAA, Aviation Maintenance Technician Handbook-Powerplant Volume 1, 2018)

Figura 13

Post combustión.

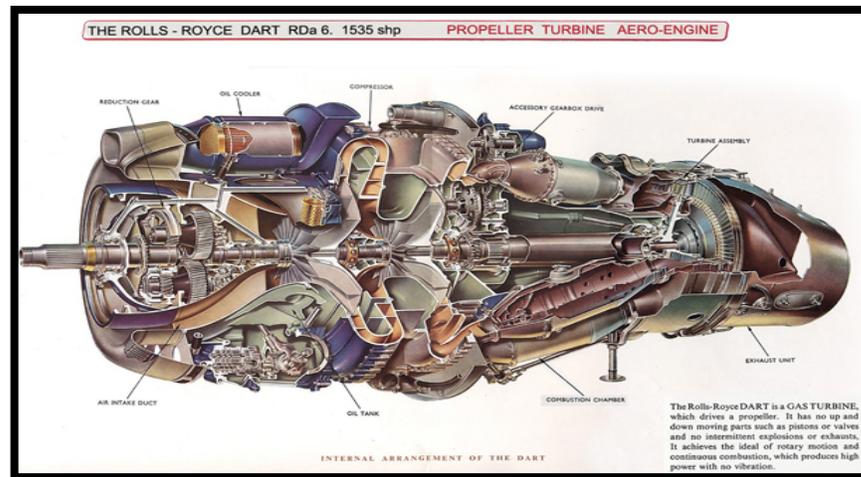


Nota. La Post Combustión es una implementación de inyectores de combustible, un ducto y una tobera regulable, a la salida de la turbina, de esta manera se aprovechan los gases de escape calientes para volverlos a inflamar con combustible y generar una explosión que dará empuje extra al motor, este sistema simula un estado o pulsorreactor acoplado detrás de la tobera de un motor turbojet.

2.5. Motor ROLLS ROYCE DART

Figura 14

Configuración interna del Dart.



Nota. Este motor no posee componentes que se mueven en forma vertical ni explosiones en forma intermitente.

El motor Rolls-Royce Dart es un motor turbohélice de flujo centrífugo de dos etapas, usado en los Estados Unidos para propulsar el Grumman Gulfstream, Vickers Viscount, Fairchild F-27, FH-227, Convair 600, YS11 y el Argosy 650.

Existen cuatro series básicas de motores Dart: el RDa3, RDa6, RDa7 y el RDa10, con series posteriores que han sido puestas en servicio recientemente.

El RDa3 y RDa6 son turbinas de dos etapas con sus series remanentes equipadas con turbinas de tres etapas. El RDa6 esta incorporado en el Viscount, y el RDa7 en el Gulfstream I, F-27, FH-227, Argosy y el RDa10 en el Convair 600 y el YS11.

(Airwork Corporation, 1981)

El motor Rolls Royce Dart tiene una gran importancia histórica ya que fue el primer motor a reacción en volar para una aerolínea, entre otros retos y hazañas que describiremos a continuación:

Rolls Royce aún es un refrán en ingeniería automovilística, y sus Aero motores fueron igualmente famosos desde la primera mitad del siglo XX. El Dart es el nombre de un suave-efluente, río inglés de corrientes rápidas, y Rolls Royce nombro a su primer y al mismo tiempo mas único motor, luego de aquello único por dos razones, primeramente, por que era la primera turbina en el mundo en impulsar un avión civil, y segundamente por cuenta de su impactante simplicidad. (Vickers Viscount Network, 2021)

Figura 15

Río Dart.



Nota. Ubicado en Devon, Inglaterra, fluye desde Dartmoor 75km hacia el mar en Dartmouth. Tomado de (Edwardsian, 2010)

Esta era una época de pioneros en la aviación y lo que todos buscaban era ser cada vez mas veloces, grandes y ligeros; pero la tecnología de ese entonces era un gran limitante pues la construcción de los fuselajes y los motores era muy

robusta y pesada por lo tanto no se podía alcanzar las velocidades a las que el motor era verdaderamente eficiente, lo cual incurría en gran consumo de combustible y poco empuje; entonces se optó por combinar dos inventos eficientes en la aviación, un aero-reactor y una hélice para mover grandes masas de aire con mayor potencia que un motor de émbolo y un consumo aproximadamente igual o menor de combustible.

Desde que la velocidad costaba dinero, los motores jet comerciales estaban mayormente confinados a aviones de pasajeros de largo alcance, y por lo tanto las hélices eran la decisión lógica cuando se tuvo que decidir como propulsar al Viscount, el cual fue diseñado para velocidades crucero económicas sobre los rangos promedio. Se sabía que la economía de una hélice podría ser combinada con la suave puesta en marcha y compacta simplicidad de un turbojet, si las últimas turbinas eran fabricadas lo suficientemente grandes no solo para propulsar el compresor, sino también para aprovechar la energía jet sobrante para impulsar una hélice.

En 1945 voló el primer motor turbo hélice en el mundo, dos turbo-jets Derwent modificados llamados Trent impulsando un Gloster Meteor Fighter, y motivados por los resultados se inició el diseño del motor Dart.

El Dart y el Viscount

Para usar las palabras de Rolls-Royce; “El orgullo de un lugar en cualquier historia del Dart debe, por supuesto, otorgarse al Vickers Armstrongs Viscount porque, casi seguramente, el motor no habría sido desarrollado de no ser por los requerimientos de esta familia de aeronave”.

El registro mas antiguo relacionado al diseño y desarrollo del turbo-hélice Dart es un dibujo técnico con fecha del 4 de abril de 1945, antes que las hostilidades de la II Guerra Mundial habían terminado, y el polvo se había asentado, la cual era una actitud muy positiva de tomar para Rolls-Royce en ese tiempo.

Aunque la propuesta inicial para este motor se inició en Barnoldswick, cerca de Burnley en Lancashire, Ernest W Hives un director de Rolls-Royce decidió que el proyecto debería tener base principal en Derby. Lord Hives se convirtió en director Gerente en 1946 y Chairman en 1950 como Lord Hives of Duffield, y se retiro en enero de 1957 habiendo visto al Viscount entrar en servicio y al Dart convirtiéndose en el motor turbo-hélice mas significativo de ese tiempo y posiblemente de todos los tiempos.

Inicialmente fue propuesto que el motor debería desarrollar 1000 caballos de potencia en eje a través de una hélice tractora y estar acoplado a un nuevo avión RAF de entrenamiento. Dos tipos de aeronaves fueron propuestas, el Boulton Paul P.108 Balliol y el Avro Athena. Armstrong Siddeley estaba ofreciendo su motor Mamba, el cual, posteriormente incluso se convirtió en un competidor para el Vickers Armstrong Viscount. El tiempo de diseño de ambos motores pronto se descuido entre las escalas de tiempo de la estructura y fueron lanzados a favor de motores de pistón existentes como el Rolls-Royce Merlin.

El equipo de diseñadores y dibujantes tenían base en el bloque de oficinas de Elton Road en Derby bajo el liderazgo de Lionel Haworth quien era un ingeniero graduado de la Universidad de Cape Town, Sud África. Antes de iniciar en el Dart, Lionel y su equipo habían estado relacionados con el motor jet WR1 en 1941 seguido del RCa3, el cual era un motor jet de 3 ejes de flujo axial. Luego esto condujo al motor Clyde, del cual el equipo era responsable de la caja de reducción y compresores durante

1944. El delegado de Lionel era Ralph Sire senior quien era un aprendiz RAF de Halton y había sido transferido de la oficina de diseño de motores pistón. El resto del equipo Dart vino de las oficinas de diseño Merlin Marine y Crecy mas varios recién graduados como Roy Heathcote.

Los dibujos detallados iniciales fueron emitidos al departamento de producción el 1 de noviembre de 1945 y la construcción final del prototipo RB.53 como fue originalmente nombrado, se completo el 10 de julio de 1946 resultando en una increíblemente pequeña fabricación y tiempo de construcción para un motor tan revolucionario. La designación RB se mantuvo por Rolls-Royce Barnoldswick. (Vickers Viscount Network, 2021)

Figura 16

Gloster meteor trent.



Nota. Primer avión de combate propulsado por un turbohélice, usado por la Fuerza Aérea Real de Inglaterra.

2.6. Primeras pruebas del Dart

Entre 1946 y 1947 el modelo puesto a prueba fue el RDa1, el cual dejó mucho que desear ya que tenía como objetivo no sobrepasar las 850 lb, pero este llegó a las 1,100 lb y 600 SHP, además presentó fugas de aire y combustible y dificultades para el arranque y refrigeración; de manera que, fue un motor ineficiente mientras que su competidor el Mamba se acercaba 707 lb, por lo tanto, Rolls-Royce se las ingenio para hacer increíbles arreglos como:

Se realizaron ahorros de peso re-diseñando la caja de engranajes de reducción con dientes de engranajes helicoidales en lugar de la configuración de engranajes rectos e incorporando el tanque de aceite dentro de una carcasa fundida en la entrada de admisión de aire. Se usó magnesio en lugar del aluminio para todas las carcasas, difusores y alabes de compresor, pero luego de tan solo 100 h de corrida de prueba a 350 SHP se encontraron numerosas roturas por estrés lo cual resultó en la mayoría de componentes retornando a aluminio, aunque las carcasas de la caja de engranes de reducción y la caja de engranajes auxiliar sobrevivió en magnesio. Uno de los beneficios del tanque integral de aceite fue que el aceite caliente ayudaba a evitar el congelamiento en la entrada de aire en determinadas condiciones de vuelo.

Se instaló un RDa1 en el morro del Avro Lancaster NG465 y voló por primera vez el 10 de octubre de 1947 realizando las primeras pruebas de vuelo de este nuevo motor. Durante vuelos posteriores, se instaló una rejilla de pulverización delante de la hélice para permitir las pruebas de formación de hielo.

Mientras que el programa de desarrollo de potencia continuaba alcanzando el objetivo de 1,000 caballos de fuerza en el eje, Rolls-Royce recibió un nuevo requisito del Ministerio de Abastecimiento para producir una nueva variante del Dart para el Vickers-Armstrongs Viceroy propuesto (más tarde rebautizado como

Viscount) con un aumento de potencia a 1.400 caballos de fuerza en el eje. El aumento de potencia propuesto en realidad ayudó a Rolls-Royce a medida que mejoraba la relación potencia / peso.

Una reducción en las fugas de aire y gas junto con un cambio en los componentes internos para mejorar el flujo de aire y la eficiencia de la energía térmica mejoraron las cosas de manera espectacular. Se obtuvieron más de 100 caballos de fuerza en el eje en el rediseño de las cámaras de combustión para detener todas las juntas con fugas de aire en la parte delantera y gas en la parte trasera. El módulo del compresor se sometió a un importante rediseño de las áreas de garganta, ángulos y perfiles estáticos y rotativos de las paletas para entregar un mayor flujo de masa de aire a las cámaras de combustión y turbinas. La turbina en sí recibió algunos cambios importantes para mejorar la aerodinámica y hacer que la caja de descarga y el cono interior sean más rígidos, lo que redujo el número de fugas de gas de la tobera de escape.

El resultado final logrado en varias etapas de desarrollo y que involucró numerosas pruebas y el gráfico de las mejoras obtenidas, dio como resultado un motor que alcanzó 1.250 caballos de fuerza en el eje y fue designado como RDa4 y 1.400 caballos de fuerza en el eje designado como RDa3 para el Viscount. No hay ninguna referencia a la designación RDa2, que presumiblemente se asignó al proyecto Balliol abortado. (Vickers Viscount Network, 2021)

Figura 17

Avro lancaster ng465



Nota. Esta aeronave posee el Dart instalado en el morro junto con una rejilla que rociaba agua para las pruebas de protección contra hielo y lluvia.

2.7. Aeronaves impulsadas exclusivamente por Rolls-Royce Dart

A principios de 1948, se instalaron dos motores RDa1 en el Vickers Wellington LN715 para la continuación de las pruebas de vuelo. Este fue el primer avión en volar propulsado exclusivamente por el Dart.

En 1948, el prototipo Viscount G-AHRF fue equipado con el Dart Mark 503 RDa4 que producía 1.250 caballos de fuerza en el eje, 150 caballos de fuerza por debajo del requisito original. Naturalmente, el prototipo podría hacer frente a estas bajas clasificaciones de potencia en virtud de sus ligeros pesos operativos. Después de que se instalaron los motores Mark 504 RDa3, se pudo explorar la verdadera capacidad de carga útil de la aeronave en condiciones de funcionamiento más normales. Durante los primeros diez meses se realizaron un total de 750 horas de vuelo, lo que le dio a Rolls-Royce una gran cantidad de datos con los que trabajar.

Un Airspeed Ambassador también estaba equipado con motores Dart, y era otro tipo de avión operado por BEA en este momento. Se instaló una plataforma de pulverización de agua en la proa para permitir la continuación de las pruebas de formación de hielo, que resultaron en varias modificaciones del motor para evitar la peligrosa acumulación de hielo.

Durante 1949, el RDa3 se instaló en un Douglas DC3 para permitir a Rolls-Royce realizar pruebas de vuelo más intensivas. Este avión operó principalmente desde el establecimiento de pruebas de vuelo de Hucknall.

Se modificaron otros dos DC3, G-ALXN y G-AMDB, y comenzaron a operar con BEA en toda Europa a principios de 1951 como cargueros, lo que les dio su primera experiencia de los problemas operativos que luego encontrarían con el Viscount.

Durante un período de dos años, estas aeronaves acumularon un total de 3870 horas de vuelo sin una remoción no planificada. Todo esto ayudó a convencer a la Junta de Registro Aéreo (ahora CAA) de que este motor tenía futuro en la propulsión de aviones modernos. Estos aviones operaban hasta un límite máximo de 25000 pies, lo que a menudo provocaba comentarios del control de tráfico aéreo, a quienes les costaba creer que un DC3 pudiera estar volando tan alto. Sin duda, la tripulación de vuelo jugó con esto y se divirtió un poco en su cabina bien aislada mientras inhalaban sus máscaras de oxígeno.

Los Viscount de producción, que eran mucho más grandes que el prototipo, originalmente estaban equipados con los motores Mark 505 RDa3 o los motores Mark 506 RDa3 que producían hasta 1400 caballos de fuerza en el eje, que se convirtieron en el motor estándar de la flota de la serie BEA V.700.

El siguiente cambio importante en el Dart resultó en la familia RDa6 con un motor sustancialmente rediseñado que produce 1535 caballos de fuerza para la serie Viscount V.800. El Mark 510 fue adoptado por BEA y otros, algunos eligieron la variante Mark 515. Todo esto coincidió con otro aumento de tamaño y peso del Viscount. Muchos Viscount RDa3 se actualizaron a la variante RDa6 que cambió el perfil de los capós del motor de paralelo a un bulto más pronunciado, que se nota en muchas fotografías de la época.

El motor se refinó aún más para producir hasta 1835 caballos de fuerza en el eje rediseñando totalmente el módulo de turbina para incorporar tres etapas de turbina en lugar de dos y una actualización de la caja de engranes de reducción, el compresor y las cámaras de combustión. La velocidad máxima del motor también se incrementó de 14500 RPM a 15000 RPM. Esto resultó en el RDa7 instalado en el Viscount como el Mark 520 con 1630 caballos de fuerza en el eje, el Mark 525 en 1730 caballos de fuerza en el eje y el Mark 530 en 1835 caballos de fuerza en el eje. Esta familia de motores permitió al Viscount crecer y evolucionar hasta convertirse en un avión de cercanías muy útil con las consiguientes ventas mundiales.

Se propuso una variante más grande en una etapa para lograr más de 2000 caballos de fuerza en el eje con una caja de cambios de reducción enormemente reforzada designada como RDa11 Mark 541, pero esto nunca se materializó ya que el modelo Viscount nunca se desarrolló. Sin embargo, el motor fue desarrollado y utilizado en las series NAMC YS-11, Convair 600 y 640 (conversiones de motores de pistón) y como motor militar para el Avro Andover C Mark 1.

Rolls-Royce probablemente nunca esperó que el Dart siguiera adelante en el siglo XXI, pero probablemente no les sorprenda que se haya convertido en uno de los motores más seguros y confiables de su clase. La desventaja del Dart hoy en día es

su alto consumo de combustible en comparación con los motores más modernos que consumen menos de la mitad que el Dart para la misma potencia. El sonido del Dart siempre será memorable para la mayoría de las personas que se han parado y visto los numerosos aviones en los que se instaló este increíble motor dentro y fuera de los aeropuertos nacionales y regionales de todo el mundo.

Lamentablemente, el Viscount está extinto operativamente, pero el Dart siguió adelante a principios del siglo XXI en el Fokker F27 Friendship, BAe 748, Gulfstream G159, NAMC YS-11 y algunos aviones Convair 600 y 640. (Vickers Viscount Network, 2021)

Figura 18

Vickers viscount.



Nota. Aeronave de la flota de British European Airways, la primera aerolínea en emplear el Dart.

2.8. Principios de Funcionamiento de un Rolls-Royce Dart

El ciclo operativo de un motor Rolls-Royce Dart es un proceso de comprimir aire, añadir combustible en la cámara de combustión para producir energía cinética,

extrayendo la energía cinética en la sección de turbina para propulsar el compresor de dos etapas y la hélice. Algo de energía queda para producir empuje a chorro.

Este empuje a chorro se añade a los SHP del Dart para darle SHP Extra donde bajo condiciones estáticas aproximadamente 2,6lb de empuje es igual a 1HP. Los cálculos exactos no son prácticos ya que los HP varían con la velocidad de la aeronave.

La potencia desarrollada por el motor depende del flujo de masa a través del motor y la caída de temperatura a través de la turbina de dos y tres etapas.

La caída de temperatura alrededor de la turbina es una medida de la habilidad de turbina para extraer energía cinética del gas y para propulsar el compresor y la hélice.

El flujo de masa a través del motor depende de las RPM del compresor, el cual es controlado por una hélice de paso variable interconectada al acelerador.

Los cambios en los HP del eje están controlados reduciendo o aumentando la apertura del acelerador para dar el flujo de combustible y RPM requeridas.

Por lo tanto, la velocidad de la hélice esta interconectada con el acelerador para mantener la relación aire/combustible correcta. Esto produce una respuesta progresiva de potencia a través de todos los rangos con una palanca de control.

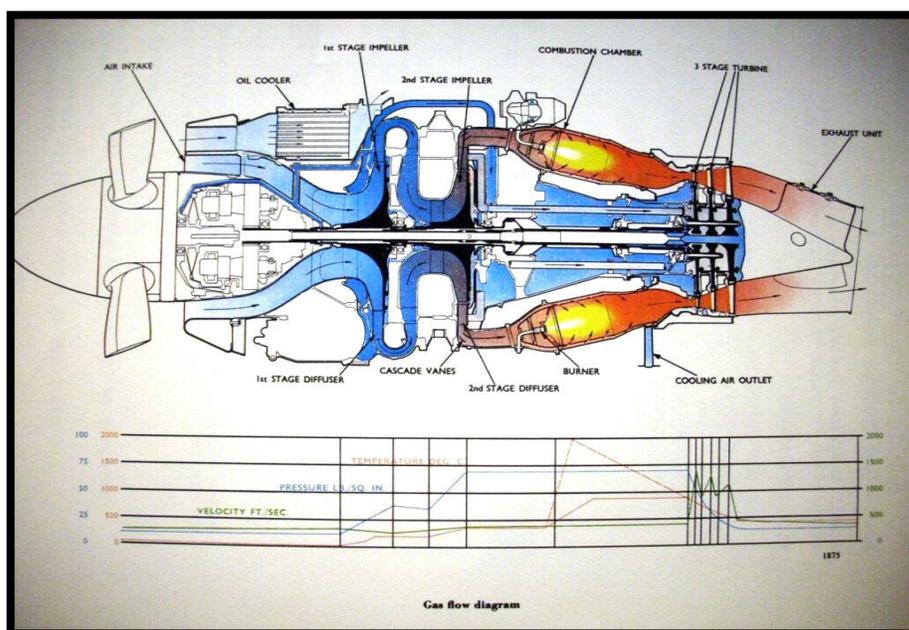
Cuando se esta operando bajo condiciones de altas temperatura ambientales y aeropuertos sobre el segundo nivel, la potencia producida se reduce por un bajo flujo de masa de aire, lo cual necesita la reducción del flujo de combustible para prevenir temperaturas excesivas en la turbina.

Compensando esta perdida en el despegue, agua/metanol se inyecta en con la palanca de potencia en High para restaurar o impulsar la potencia al nivel requerido. La vaporización de la mezcla de agua/metanol aumenta la densidad y masa del flujo de aire, y la combustión de los contenidos del metanol restaura la temperatura de trabajo de la turbina.

La operación de la palanca de potencia abre una válvula de control de aceite en la unidad de agua/metanol a altas RPM a través de la acción de sistemas interconectados, luego el sistema de medición de par opera una servo válvula la cual posicione a la válvula de control de agua/metanol, midiendo la cantidad apropiada de agua/metanol para restaurar la potencia la nivel correcto. (Airwork Corporation, 1981)

Figura 19

Diagrama de flujo de gas.



Nota. En el gráfico se observa las diferentes presiones, temperaturas y velocidades que alcanza el gas en las diferentes secciones del motor Dart.

2.9. Descripción de un motor Rolls-Royce Dart

Para estudiarlo de manera mas organizada y simple el motor se divide en secciones tales como:

- Ejes principales
- Sección de reducción
- Carter de toma de aire
- Sección del compresor
- Sección de combustión
- Sección de la turbina
- Tobera de escape

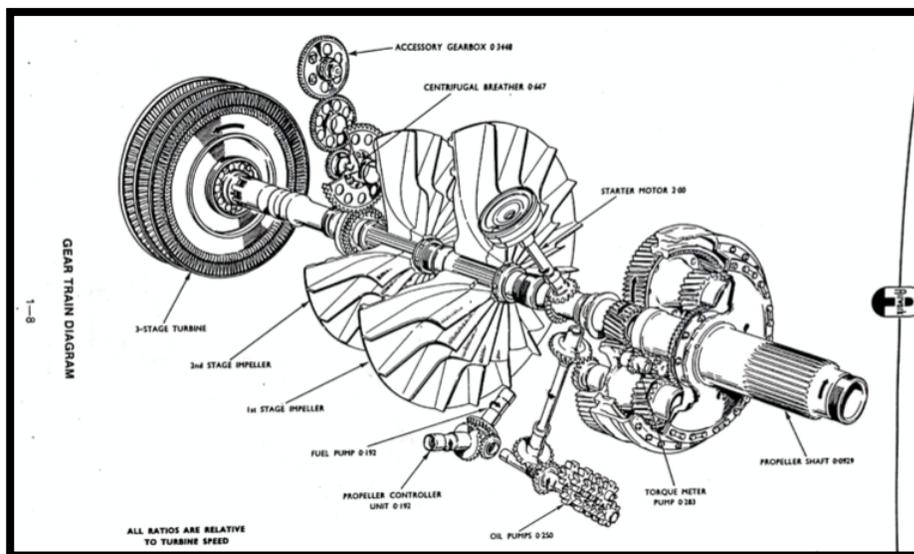
Las secciones del motor se describen a continuación gracias a la información proporcionada por un Manual de Entrenamiento para Mecánicos del Dart:

2.9.1. Disposición de los ejes

La disposición de los ejes difiere según el tipo del motor, es decir, RDa6, RDa7 y RDa10. Pero la disposición básica en cada caso consiste en un eje de acoplamiento exterior entre el eje de la turbina y el eje del compresor, con un eje interior que transmite el movimiento al reductor.

Figura 20

Diagrama del tren principal.



Nota. Unidades principales del motor que se encuentran acopladas directamente al eje principal.

2.9.2. Reductor

Es del tipo compuesto consiste en:

- Un piñón helicoidal de alta velocidad montado por medio de ranuras en el eje de torsión interior.
- Tres conjuntos de ejes auxiliares con engranajes de dientes helicoidales.
- Una corona de dientes helicoidales que se sujeta con pernos al eje de la hélice.

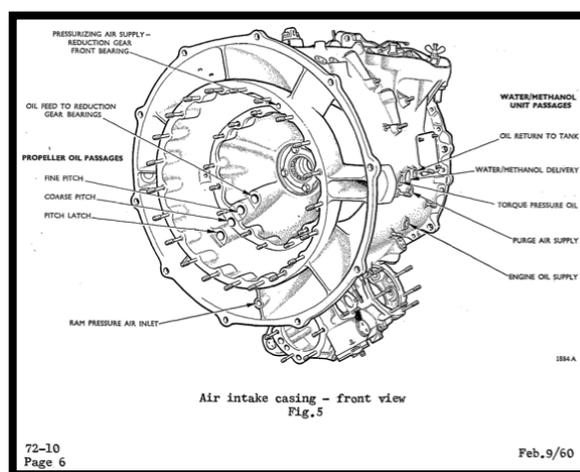
Para equilibrar el movimiento de los ejes auxiliares debido a los engranajes helicoidales, se emplea un sistema hidráulico que utiliza aceite del motor suministrado a presión desde su propia bomba, movida desde el disco del eje de la

del motor y la transmisión a la bomba de combustible y al regulador de la hélice. Las dos argollas delanteras para izar el motor y la montura para el refrigerador del aceite están situadas en la parte de arriba del cárter.

En el reductor se monta una pieza de prolongación del carenado de la hélice para facilitar el paso fácil del aire que entra al motor.

Figura 22

Cárter de la toma de aire.



Nota. Podemos concluir que no es un alojamiento solo para la toma de aire, sino que además aloja varios componentes e instrumentos como el medidor del nivel de aceite, líneas de suministro de aceite para la hélice y rodamientos de la caja de reducción, etc.

2.9.4. Sección del compresor

Ya hemos visto que se trata de un compresor centrífugo de dos etapas. El conjunto rotativo de cada etapa consta de un rotor y alabes guía rotativos, calado por medio de ranuras en un eje y sujetos por una tuerca; los dos ejes se encajan entre si por medio de ranuras.

Hay tres cárteres que encierran los conjuntos giratorios. Son:

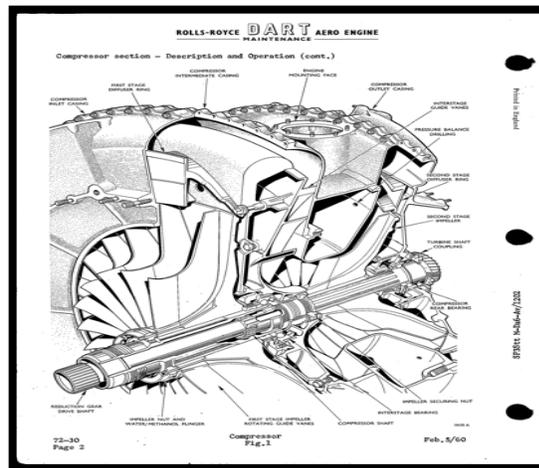
- Un cárter de admisión, de aleación de magnesio.
- Un cárter intermedio, de aleación de aluminio.
- Un cárter de salida, de aleación de aluminio.

Rodeando cada rotor se monta un anillo difusor, de hacer, en los cárteres de entrada y salida. El cárter intermedio sostiene los alabes guía intermedios, y en este cárter se ha previsto la colocación de las patas de montura del motor.

En la parte de atrás del cárter de salida se montan siete codos, con alabes en cascada, que dirigen el aire hacia las cámaras de combustión.

Figura 23

Sección del compresor.



Nota. En la vista interna de la sección de compresión destacan las dos etapas de compresor centrífugo, además notamos que el extremo anterior del eje va acoplado al eje impulsor de la caja de reducción y en el extremo posterior encaja directamente el eje de la turbina.

2.9.5. Sección de combustión

Las siete cámaras de combustión se enumeran en sentido sinistrorso, mirando desde atrás, estando la N° 1 en el codo superior de salida del compresor.

- Cada cámara consta de lo siguiente:
 - Cámara de expansión
 - Caja de aire
 - Tubo de llama
 - Interconectores
 - Quemador
-
- **Cámaras de expansión**

Las cámaras de expansión van montadas en los codos de salida del compresor por medio de dos pernos, con una junta esférica entre el codo y la cámara para admitir la dilatación. Por detrás se sujetan a la caja de aire por medio de una brida con pernos.

En cada cámara de expansión se aloja un quemador, y se ha previsto los medios para instalar conexiones de drenaje de combustible donde es necesario. En las cámaras Nos. 3 y 7 hay instaladas bujías de encendido para la puesta en marcha.

- **Cajas de aire**

Se sujetan con pernos a las cámaras de expansión por delante, pero en la parte de atrás se apoyan libremente en las toberas de descarga de la caja de toberas. Esta forma de montaje permite que el lado de salida pueda deslizarse libremente al tener lugar la dilatación.

La cabeza de cada tubo lleva un juego de alabes de remolino que contribuyen a la mezcla eficaz del carburante y el aire, y en los tubos Nos. 3 y 7 se montan las bujías de encendido.

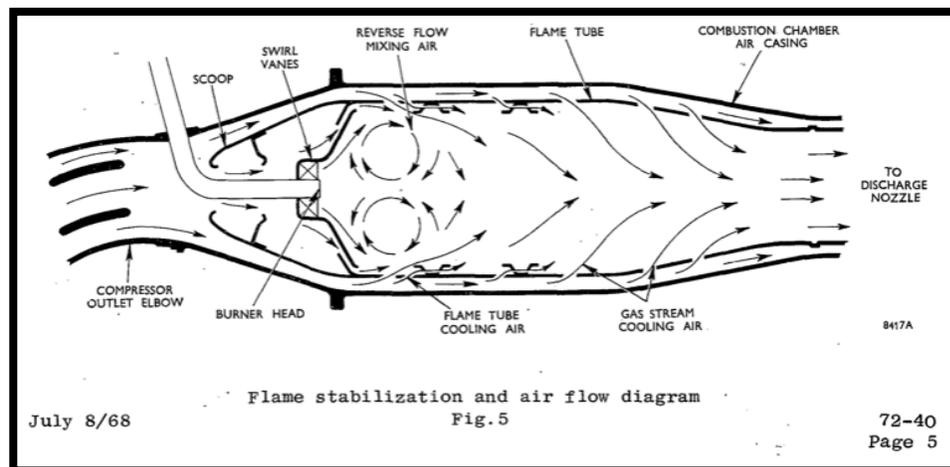
- **Interconectores**

Cada interconector consiste en dos tubos concéntricos que conectan las cajas de aire y los tubos de llama por canalizaciones independientes, para igualar las presiones de los gases y permitir el arranque desde las cámaras Nos. 3 y 7.

Una brida de tres pernos forma la unión entre cada interconector, conectando las cámaras de combustión contiguas, y el tubo exterior lleva los retenes que se apoyan en un agujero formado en la caja de aire.

Figura 24

Diagrama de estabilización de flama y flujo de aire.



Nota. En esta sección no simplemente se inflama la mezcla aire/combustible, se observa que la cámara posee componentes como agujeros, alabes guía, etc. Que ayudan a que el flujo no sea turbulento y que la mayor temperatura se concentre en su centro para evitar pérdidas de energía.

2.9.6. Sección de la turbina

La turbina se aloja en una caja de toberas consistente en un cárter exterior, un cono interior, un tambor de montaje y el alojamiento de los cojinetes de la turbina; la caja de toberas se sujeta con pernos a un cárter intermedio que se prolonga hacia atrás desde la cara posterior del cárter de salida del compresor de alta.

El cono interior y el cárter exterior se colocan concéntricamente por medio de siete tirantes.

En la caja de toberas, inmediatamente delante de cada etapa de la turbina, se hallan los alabes guía de las toberas, de perfil aerodinámico, formando una serie de toberas que aceleran los gases hacia la turbina. En los motores con turbina de tres etapas, los termopares se alojan en los bordes de ataque de doce de los alabes guía de las toberas de presión intermedia.

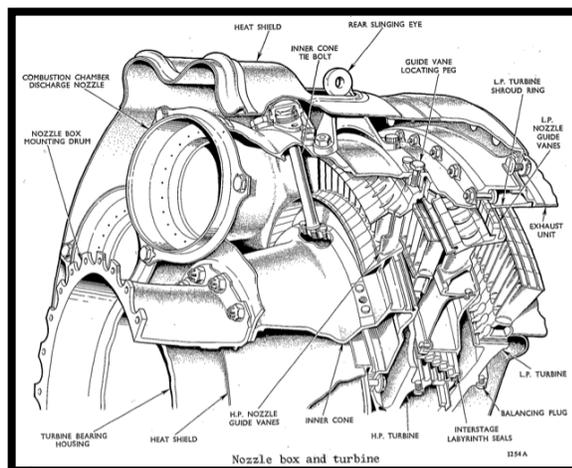
La turbina consta de dos o tres discos en los cuales se sujetan los alabes por medio de raíces de perfil piniforme que encajan en una ranura de forma correspondiente; los discos se sujetan entre sí con pernos y el eje de la turbina.

En los discos de la turbina y en el eje se ponen retenes laberínticos para contener la presión del aire utilizado para refrigeración y obturación.

Las dos argollas posteriores para eslingas están en la parte de arriba del cárter exterior de la caja de toberas, y hay una pantalla térmica de acero que rodea la caja de toberas.

Figura 25

Caja de toberas y turbinas.



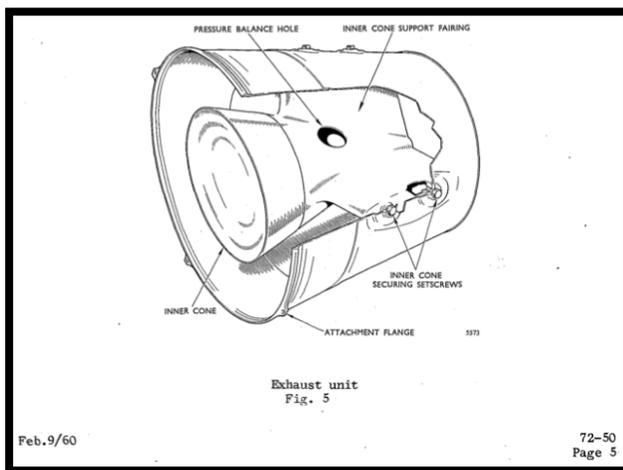
Nota. Este alojamiento contiene los componentes que se encuentran sometidos a los mayores niveles de estrés.

2.9.7. Tobera de escape

La tobera de escape, que se monta en la brida posterior de la caja de toberas, consta de un cono interior y otro exterior construidos de chapa metálica resistente al calor, con e con interior sostenido en posición por medio de tres soportes carenados atornillados a pacas de apoyo del cono exterior.

En esta unida hay agujeros para el drenaje de combustible y, en los motores de dos etapas, los termopares se instalan en la tobera de escape.

El ajuste anular del tubo de salida varia dependiendo del motor en que se instale, por lo que facilitan en la tobera de escape distintas posiciones de montura, marcas de correlación y posiciones para los termopares, donde es de aplicación. (Rolls-Royce Limited)

Figura 26*Unidad de descarga.*

Nota. La sección divergente entre el cono externo e interno ayuda a mantener baja la presión a la salida de turbina, de esta manera se controla el flujo para que sea mas eficiente.

Una vez familiarizados con el motor dirigimos el enfoque del presente proyecto hacia la caja de accesorios, donde se encuentra nuestro principal punto de interés ya que, en esta sección nos encontraremos con nuestro tema y objetivo principal del proyecto. Pero no, sin antes describir brevemente los sistemas que componen al Rolls-Royce Dart y lo mantienen funcionando dentro de sus parámetros; muchos de estos sistemas poseen uno o varios de sus componentes montados en la caja de accesorios, como se describe a continuación:

2.10. Sistemas del motor Rolls-Royce Dart

2.10.1. Sistema de aceite

El sistema de aceite de cárter seco esta completamente contenido dentro del motor. Es un sistema de circulación continua, teniendo un tanque integral fundido formado

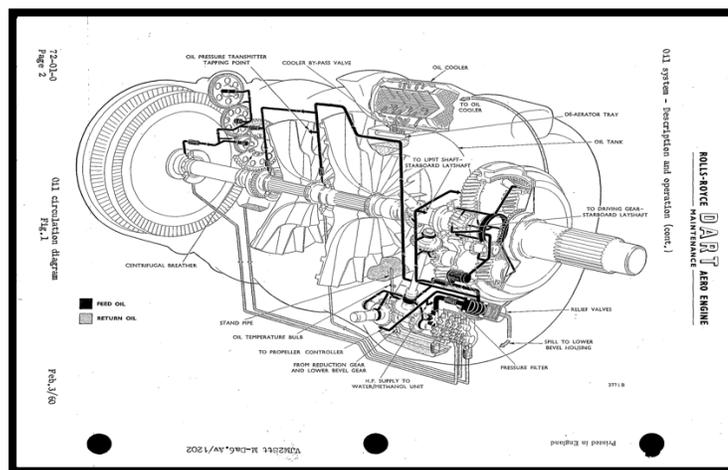
por la carcasa de la entrada de aire y el enfriador de aceite el cual es enfriado por aire. Además de su trabajo básico como lubricación del motor, el aceite del motor se usa para controlar la hélice, operar el medidor de par y regular el flujo de la mezcla agua/metanol. (Airwork Corporation, 1981)

El sistema de aceite del Dart posee las siguientes características:

- Bomba de presión y filtro.
- Válvula de control de presión.
- Lubricación de rodamiento plano.
- Sistemas de recuperación.
- Enfriador de aceite.
- Deposito.
- Sistema de respiración.
- Sello.
- Suministro de la reserva de embanderamiento.
- Indicador de presión y temperatura.
- Llenador del deposito.

Figura 27

Diagrama de circulación de aceite.



Nota. El aceite que circula a través los rodamientos del motor y a través de la caja de reducción proviene del mismo depósito integrado en la entrada de aire.

2.10.2. Sistema de medición de par

La condición del motor puede ser asistida midiendo la salida de potencia desde el motor hacia la hélice. Esto se logra mediante la medición de la cantidad de presión de aceite requerida para balancear un impulso mecánico directamente proporcional a la potencia siendo transmitida del motor hacia la hélice.

Los engranajes de reducción entre el motor y el eje de la hélice se utilizan para esta función. El eje principal del motor, en este caso el eje frontal del compresor, es estriado a un piñón de alta velocidad que impulsa tres los ejes de tres engranes de reducción a través de dientes helicoidales. Los ejes que se encuentran girando impulsan una corona de engranes internamente dentada conectada al eje de la hélice, también por dientes helicoidales.

La tendencia de los dientes helicoidales en ambos juegos de ejes con engranajes estando en la misma dirección, hace que los ejes tiendan a moverse hacia adelante y atrás bajo cambios de potencia del motor. Se hacen provisiones para permitir este movimiento flotante longitudinal o empuje final.

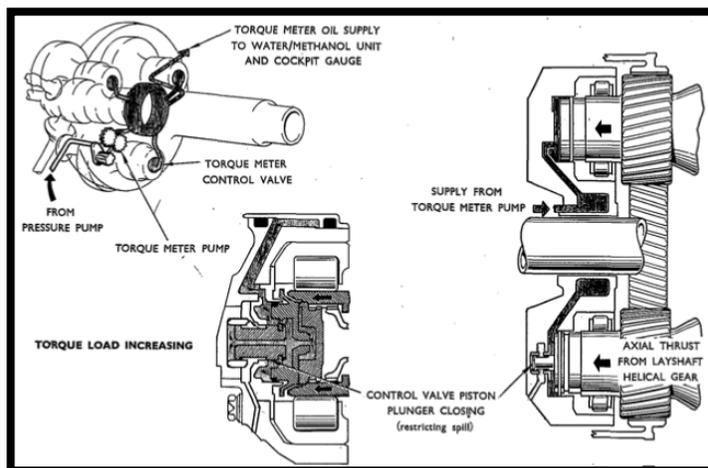
El aceite a 35 psi de la válvula de control de presión de aceite se dirige a una bomba medidora de par, impulsada por el tren de engranajes de reducción, y su presión incrementada. El aceite con alta presión del medidor de par es dirigido a los extremos de los tres ejes para oponerse a su movimiento longitudinal, ya que estos están encerrados en cilindros formando celdas de torque.

Los tres cilindros están interconectados por pasajes internos. El movimiento del eje mas bajo en dirección de reversa descubre un puerto de sangrado y permite aumentar la presión de aceite de torque. Durante la operación, se crea un balance entre esta presión y el empuje de los extremos de los ejes, y de esta manera la presión de aceite resultante en las celdas de torque es un representativo de la salida de potencia del motor hacia el eje de la hélice. (Airwork Corporation, 1981)

Este sistema posee indicadores en el panel de instrumentos del piloto y cumple con funciones adicionales como regular el flujo de agua/metanol y dar la señal de torque bajo para el embanderamiento automático de la hélice.

Figura 28

Componentes del sistema medidor de par.



Nota. Principio de funcionamiento del medidor de par cuando el torque incrementa.

2.10.3. Sistema de sellado y enfriamiento por aire

El aire se toma de varios puntos alrededor de compresor y usados para sello de aceite, enfriamiento, purga de pasajes de agua/metanol y suministro de aire caliente para descongelar el filtro de combustible. (Airwork Corporation, 1981)

2.10.4. Termopares y arneses

Las temperaturas del gas no son consistentes sobre una sección cruzada del flujo principal a través de la turbina, ya que zonas o capas de temperaturas diferentes pueden existir simultáneamente, y por lo tanto es necesario tomar muestras de la temperatura de un numero de puntos bien distribuidos sobre una sección atravesada por el flujo.

El sistema pirométrico del motor serie Dart incorpora doce termopares los cuales están posicionados radialmente alrededor de la caja de toberas y sobresalen en la derivación de gas principal en la etapa intermedia de la turbina. La medición de las

temperaturas desde doce puntos a través de una etapa de turbina permite al indicador de la cabina registrar una medida precisa de la temperatura de los gases de turbina.

Cada termopar consiste en una sonda de alambre sensible encapsulado en una funda de acero resistente al calor que forma parte de una superficie aerodinámica. Cuando esta posicionado en la turbina cada termopar se localiza en un alabe guía de la tobera, el cual es empotrado para calzar. La funda forma el borde de ataque del alabe guía con forma aerodinámica.

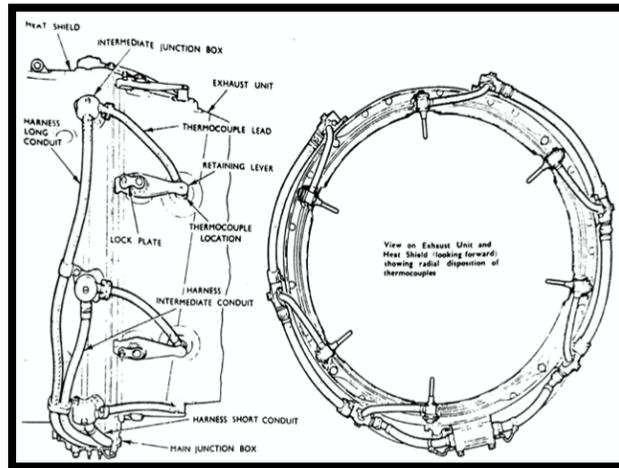
Dos tipos de termopares, de largo alcance y corto alcance, son usados en el conjunto. La sonda de alambre del tipo de largo alcance, siente a través de agujeros de muestreo en la funda, la temperatura de gases pasando sobre la porción interna del borde de ataque de NGV. La sonda mas pequeña de corto alcance siente la temperatura del flujo de gas a través de hoyos de muestreo en la porción externa del eje de ataque de NGV.

Los termopares están distribuidos alrededor de la caja de toberas en pares; cada par consiste en un termopar de largo y corto alcance los cuales están conectados por cable blindado a una caja de conexiones.

Seis cajas de conexiones, interconectadas por un conductor de cable de aluminio, están distribuidas alrededor del escudo de calor de la caja de toberas y cada caja sirve a un par de termopares. (Airwork Corporation, 1981)

Figura 29

Arnés de termo-pares.



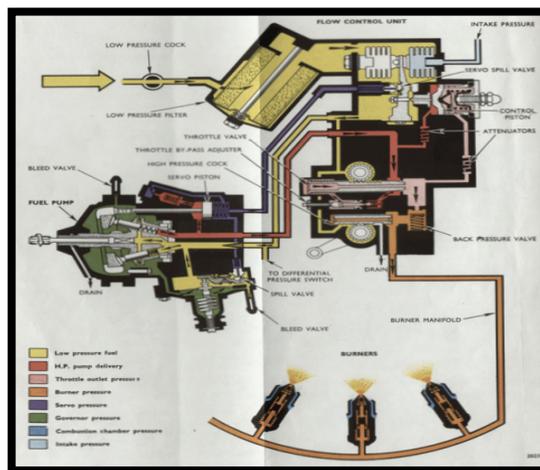
Nota. La medición de la temperatura se la realiza detrás de la primera etapa de turbina, ya que una sonda antes de la turbina o en la cámara de combustión no soportaría los niveles de calor extremos.

2.10.5. Sistema de Combustible del motor y controles

La función del sistema de combustible es mantener una relación aire/combustible satisfactoria bajo todas las condiciones de operación. La demanda de combustible esta determinada por la salida de potencia requerida y las limitaciones de la temperatura en la turbina, lo cual resulta en un compromiso en el cual se quema el combustible suficiente para producir tanta potencia como sea posible sin exceder las temperaturas permisibles en la turbina. Las variaciones en altitud y velocidad de avance, que resultan en un flujo de aire variado a través del motor, también modifican su demanda. (Airwork Corporation, 1981)

Figura 30

Diagrama del sistema de combustible del motor.



Nota. Combustible a baja presión (amarillo), entrega de la bomba de alta presión (rojo), presión de salida del acelerador (rosa), presión de quemadores (naranja), presión de servos (púrpura), presión del gobernador (verde), presión de la cámara de combustión (azul), presión de entrada (celeste).

2.10.6. Sistema de agua/metanol del motor

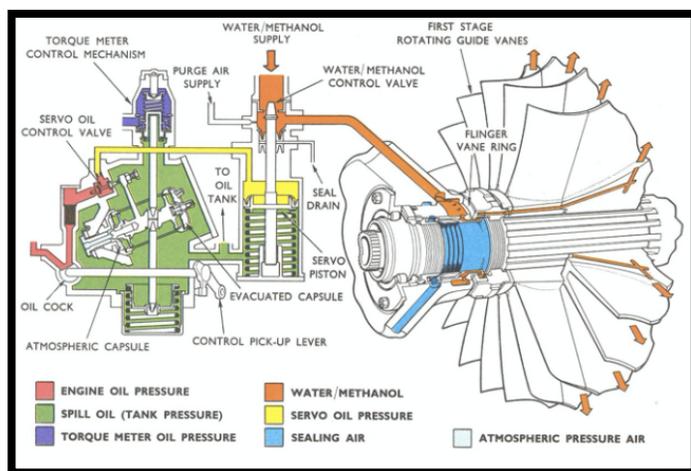
Con el fin de reducir temperaturas excesivas en la turbina es necesario reducir el flujo de combustible, por medios de corte, para el despegue cuando el aire exterior excede una temperatura de 15°C (o Atmosfera Estándar Internacional). Esta reducción en el flujo de combustible resultaría en la pérdida de poder, por eso es necesario restaurar la potencia mediante el incremento del flujo de masa a través del motor. Un aumento en el flujo de masa podría obtenerse usando agua, pero solo esto no podría restaurar la potencia lo cual resultaría en mayor reducción de temperatura en la turbina. Añadiendo una proporción de metanol al agua, la temperatura de la turbina se eleva al nivel apropiado cuando este es quemado y, en

conjunto con el incremento del flujo de masa provisto por el componente del agua en la mezcla, actúa para restaurar el poder perdido por el corte.

A nivel del mar en temperaturas sobre los 15°C (ISA), la potencia del motor es aquella restaurada a la potencia que habría sido obtenida bajo condiciones ISA. A altitudes sobre el nivel del mar, la potencia no se restaura a su valor a nivel del mar sino al valor que sería obtenido a una altitud particular bajo condiciones ISA. Esta restauración de potencia toma lugar hasta una altitud de 10000 ft. (Airwork Corporation, 1981)

Figura 31

Sistema de agua/metanol.



Nota. Presión de aceite del motor (rojo), aceite de riego (tanque de presión) (verde), presión de aceite del medidor de par (purpura), agua/metanol (naranja), presión de aceite de servo (amarillo), aire de sellado (celeste), aire a presión atmosférica (blanco).

2.10.7. Sistema de controles del motor

Los controles del motor básicamente proveen un medio para ajustar el flujo de combustible y la velocidad del motor para obtener un óptimo desempeño del motor para la velocidad seleccionada en particular, sin exceder los límites de temperatura de la turbina. Esto se logra por medio de un varillaje interconectado en el motor. El varillaje interconectado para el flujo de combustible y control de las RPM, operado desde la cabina con una única palanca para cada motor, es referido colectivamente como sistema de control de RPM.

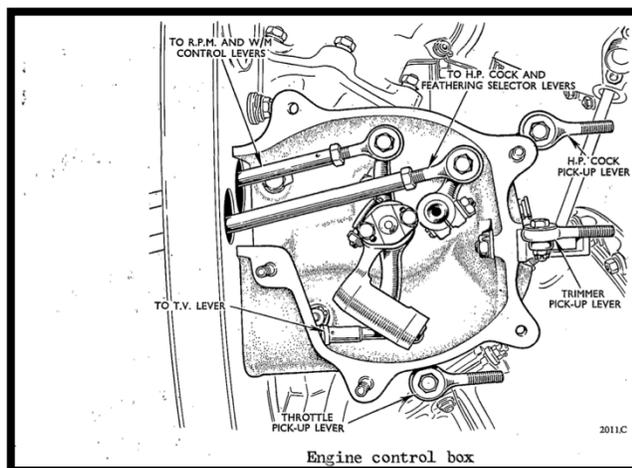
Un segundo varillaje mecánico en el motor opera la válvula de combustible de alta presión y la unidad controladora de la hélice y es conocido como sistema de control de la válvula de combustible de alta presión.

Pequeños ajustes en el flujo de combustible independientemente de las RPM se realizan por un tercer sistema de varillaje, conocido como sistema recortador de combustible.

Los tres sistemas de varillaje se originan en la caja de control del motor, localizada en el lado izquierdo del motor adyacente al extremo delantero de las cámaras de combustión. (Airwork Corporation, 1981)

Figura 32

Caja de controles del motor.



Nota. El sistema de varillaje debe ser lubricado con la grasa especificada en el manual, debido a que se encuentra externo al motor no se lubrica con aceite.

2.10.8. Sistema de Arranque

Para el arranque en tierra del motor, el eje principal es rotado por un motor de arranque, el aire es absorbido dentro del motor por acción del compresor, y es forzado dentro de las cámaras de combustión para ser mezclado con el combustible pulverizado. La combustión se inicia por una descarga eléctrica de alto voltaje, adyacente al pulverizado, siendo toda la secuencia de arranque gobernada por un circuito de control automático el cual des-energiza el sistema cuando el motor se torna autosustentable.

Las instalaciones de motor tienen dos unidades de alta energía, cada unidad siendo conectada al conector del encendedor de descarga superficial situado en las cámaras de combustión No. 3 y 7 para producir una chispa instantánea de alta intensidad para encender el combustible pulverizado principal. Cuando el pulverizado del quemador se enciende, la flama se propaga rápidamente alrededor

del motor a través de toberas de balance interconectando las cámaras de combustión.

Para el reencendido en vuelo el sistema de ignición esta separadamente energizado, como la operación del motor de arranque no es necesaria porque el motor funcionara como “molino de viento.”

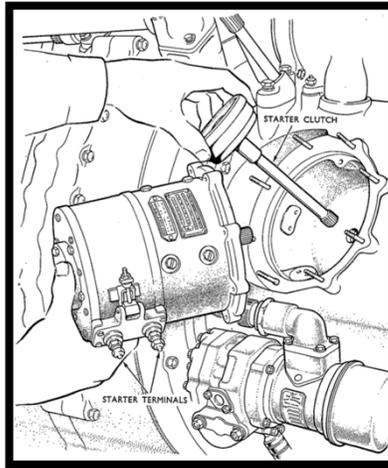
El arrancador es un motor de 4 polos, de 28-voltios produciendo cerca de 12 HP; esta salida de potencia relativamente pequeña debe ser aplicada sobre un muy largo periodo para asegurarse que el motor alcance la velocidad de arranque.

El conjunto de armadura esta soportado por un rodamiento de bola al extremo de exterior y por un rodamiento de rodillo en el extremo impulsor para excluir el vapor de aceite del motor.

El torque de arranque es transmitido al motor a través de un embrague multiplato cargado por resorte el cual protege el propulsor del arrancador de carga excesiva de choque. El propulsor del embrague es transmitido al mecanismo de acople del arranque mediante un eje inclinado y engranajes cónicos los cuales proveen la reducción de velocidad necesaria para permitir al motor de arranque desarrollar todo el torque. (Airwork Corporation, 1981)

Figura 33

Motor de arranque y conjunto propulsor embrague.



Nota. Aquí notamos que el motor de arranque se acopla al cárter de la toma de aire y el eje del embrague la atraviesa hasta llegar a la caja de engranajes de reducción.

2.10.9. Interruptor de torque bajo

El interruptor de torque bajo esta montado en la unidad agua/metanol y forma parte del sistema de auto embanderamiento de la hélice. Es operado por la presión de aceite del medidor de par y se cierra cuando el torque del motor cae bajo cierto valor. Esto completa el circuito mediante un interruptor operado mediante la palanca de aceleración al relé de auto embanderamiento el cual, en cambio, energiza el solenoide de crecimiento del paso en la unidad controladora de la hélice. El solenoide posiciona en encendido la bomba de embanderamiento, embanderando así la hélice. (Airwork Corporation, 1981)

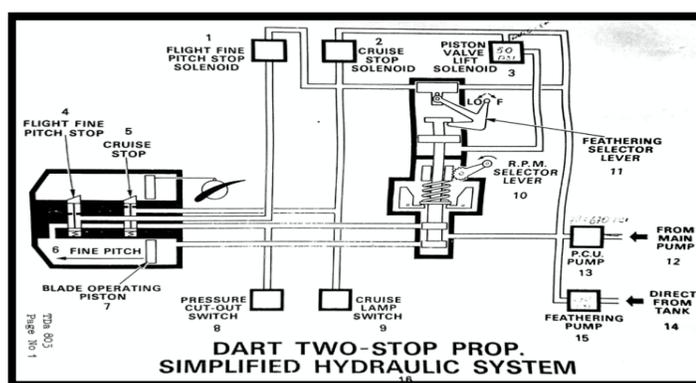
2.10.10. Sistema de control de la hélice

Cada motor impulsa una hélice de velocidad constante, operada hidráulicamente, embanderable con cuatro palas de aleación de aluminio solido. No hay paso de reversa disponible, pero la configuración de paso fino de tierra de aproximadamente

0° puede ser usado para el arrastre máximo durante la carrera de aterrizaje. Una unidad controladora de la hélice, instalada en el lado derecho de cada motor, utiliza aceite del motor para mantener el ángulo apropiado de la pala para la velocidad seleccionada. Normalmente, el aceite entra a presión a la unidad de control cuando la bomba impulsada por el motor no esta disponible. Un bloqueo de paso de crucero, un bloqueo de paso fino de vuelo, y una provisión para auto abastecimiento previenen ángulos de la pala indeseados durante el vuelo. El rango en el cual la hélice esta operando y el estado de los bloqueos es indicado por las luces de advertencia. Los elementos des congelantes eléctricamente calentados están instalados en los bordes de ataque de cada pala y dentro del conjunto del spinner. Un conjunto de frenos neumáticamente operados, instalado en la caja de accesorios, puede ser usado, si se desea, para reducir el tiempo requerido para que las palas terminen de girar después del apagado del motor. (Airwork Corporation, 1981)

Figura 34

Sistema hidráulico simplificado de la hélice de dos topos del dart.



Nota. Las diferentes configuraciones de paso de la hélice y RPM del motor logran que el avión se desplace a altas velocidades con un consumo de combustible optimo y manteniendo al motor dentro de sus parámetros.

A partir de este punto el presente proyecto se centra en el sistema de arranque del motor; es necesario familiarizarse, manipular, comprender y observar con atención este sistema, ya que es en este sistema donde se realizará una tarea de mantenimiento para desarrollar la parte práctica del proyecto, la cual está descrita por el Manual de Overhaul del Motor (EOM). Tener el conocimiento de la posición, localización y funcionamiento de cada componente del sistema nos evitará realizar una práctica de mantenimiento deficiente e insegura.

2.11. Sistema de Arranque del motor Rolls-Royce Dart

2.11.1. Objetivos

Para poner en marcha el motor es necesario:

Hacer girar el motor para producir una circulación de aire por el mediante un motor de arranque eléctrico que transmite el movimiento por un embrague y mecanismo de trinquete.

Proveer carburante para la combustión por los siete quemadores y la bomba movida por el propio motor y gobernada por el regulador del combustible.

Proveer un medio de encender la mezcla resultante de aire y carburante, lo cual se consigue empleando dos bujías que se alimentan de energía eléctrica desde dos encendedores de alta energía.

El sistema de arranque también tiene que:

Hacer girar y encender el motor simultáneamente durante una maniobra de arranque en tierra – esta acción es automática siempre que se haya efectuado correctamente la selección de los mandos de la cabina.

Poder hacer girar el motor si encendido para efectuar el ciclo de “soplado” mediante la correcta selección de los mandos de la cabina.

Hacer arrancar de nuevo el motor en vuelo mediante el circuito de encendido únicamente, utilizando los mandos de reencendido en vuelo.

El sistema también incorpora circuitos automáticos que:

Impiden el funcionamiento innecesario del motor de arranque.

Impiden el enganche brusco del mecanismo de trinquete del motor de arranque.

(Rolls-Royce Limited)

2.11.2. Mando del sistema de arranque eléctrico

El sistema se gobierna desde la cabina por medio de:

Interruptor principal

Es un interruptor de la palanca que tiene tres posiciones: START (ARRANQUE), SAFE (SEGURO), y BLOWOUT (SOPLADO).

Estando este interruptor en la posición SAFE (SEGURO) el circuito no puede excitarse cuando se acciona el botón de arranque.

Estando el interruptor en la posición START (ARRANQUE) al accionar el botón de arranque se hace funcionar el motor arrancador y se excita el sistema de encendido.

Poniendo el interruptor en BLOWOUT (SOPLADO) solo se excita el motor de arranque cuando se acciona el botón.

Selector de motor

Se monta este mando para evitar la duplicación de circuitos y mandos y tiene dos o cuatro, posiciones dependiendo del número de motores del avión.

Botón de arranque

Cuando se oprime el botón se establece el circuito de arranque que se haya seleccionado. El botón se usa para iniciar el circuito solamente; una vez que se ha excitado el circuito se mantiene “accionado” hasta que se pone el interruptor principal en SAFE (SEGURO) o se desembraga el motor de arranque.

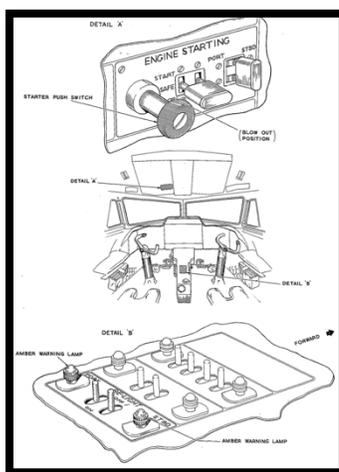
Interruptor de reencendido en vuelo.

Este interruptor permite excitar el sistema de encendido independientemente del resto del circuito.

Se usa para poner en marcha un motor en el aire y también puede emplearse para probar el sistema del encendido. (Rolls-Royce Limited)

Figura 35

Paneles de arranque y reencendido del motor.



Nota. Disposición de los paneles de arranque y reencendido del motor, en una aeronave AVRO 478 .

2.11.3. Indicaciones en la cabina

Estas indicaciones varían según la instalación, pero hay dos luces indicadoras que pueden usarse, que son: un indicador luminoso del circuito de arranque y una luz de aviso del circuito de encendido. Algunas instalaciones tienen los dos indicadores, otras solo tienen uno, que puede ser el indicador del circuito de arranque o el del encendido. (Rolls-Royce Limited)

2.11.4. Funcionamiento y tipos de mecanismo

Además de los mandos en la cabina, el sistema tiene incorporado mandos automáticos. Estos mandos adoptan la forma de relés y son:

El relé de sobre velocidad que impide el funcionamiento innecesario del motor de arranque.

El relé de seguridad, que reduce la posibilidad de que se dañe el mecanismo de embrague del motor de arranque.

Relé de sobre velocidad

Este relé detecta la intensidad de la corriente alimentada al motor de arranque y cuando desciende a un valor predeterminado, es decir, cuando el motor ha alcanzado la velocidad de auto sustentación, el relé cancela el ciclo arranque.

Relé de seguridad

Si se acciona el botón de arranque estando girando el motor, el relé de seguridad, que trabaja combinado con el de sobre velocidad, interrumpe el ciclo de arranque.

Examinaremos ahora el resto del sistema:

Motor de arranque

Es un motor tetrapolar con excitación mixta, de 28 V, que produce alrededor de 12HP.

Bujías

Las bujías tienen un electrodo de masa y un electrodo central aislados entre si.

La descarga se inicia por la fuga de corriente eléctrica por la superficie del aislador, proporcionando un camino de baja resistencia para la descarga principal que se produce desde el electrodo del centro hacia masa.

Unidades de alta energía

La unidad de alta energía consiste en una ovina ruptora que transforma la corriente de baja tensión en alta tensión. Esta corriente a alta tensión es alimentada a un condensador.

Cuando el potencial en el condensador alcanza un valor predeterminado pasa la corriente por el espacio entre electrodos, cerrado herméticamente, y el condensador se descarga por la bujía. (Rolls-Royce Limited)

2.11.5. Manejo del motor

- **Precauciones previas al arranque**

De ninguna manera debe intentarse arrancar el motor o dejarlo funcionar sin que tenga montada la hélice o sin suficiente aceite de lubricación.

Mantenerse bien apartado del escape del motor.

Constatar:

- a) Que la tensión en bornes del motor de arranque es la correcta.

- b) Que la hélice esta en su tope de paso fino en tierra.
- c) Que la temperatura del aceite es de por lo menos -30°C
- d) El botón de arranque no debe accionarse mientras el motor este girando.

(Rolls-Royce Limited)

- **Maniobra de arranque**

La secuencia de encendido seguiría de la siguiente manera:

Tabla 1

Secuencia de puesta en marcha de un motor rolls-royce dart.

COMPONENTE	ACCIÓN
- Compensador de referencia del combustible.	- Ponerlo de conformidad con lo indicado en diversas instalaciones.
- Interruptor principal del sistema de arranque.	- En posición START (ARRANQUE).
- Selector del motor.	- Ponerlo en el motor que corresponda.
- Botón de arranque.	- OPRIMIRLO hasta que empiecen a aumentar las r.p.m.
- Llave de A.P.	- ABRIRLA a 1200 – 1500 r.p.m.

Nota. Esta secuencia se la puede encontrar en el Manual de Vuelo de la Aeronave o en las Instrucciones de Operación del Piloto.

- **Precauciones durante el arranque**

Comprobar que el indicador de la presión del aceite acusa una presión.

Siempre que la aguja del indicador se aparte del tope la presión del aceite es satisfactoria para el arranque.

Durante un arranque normal, el motor se acelerará suavemente, la temperatura de los gases de la turbina aumentará rápidamente al principio y luego mas despacio, descendiendo finalmente a una temperatura comprendida entre los límites de marcha lenta.

Se excederán temporalmente los límites de temperatura para la marcha lenta antes de obtenerse las condiciones estabilizadas, *pero en ningún caso debe permitirse que la temperatura de los gases de la turbina durante el arranque exceda la temperatura máxima de arranque.*

Si la temperatura se aproxima a ese valor debe cerrarse inmediatamente la llave de A.P. e investigarse la causa.

El botón de arranque no debe sacarse hacia afuera antes de que se haya encendido satisfactoriamente el motor, lo cual es indicado por alcanzarse por lo menos 3500 r.p.m. sin excesiva temperatura de los gases de la turbina. (Rolls-Royce Limited)

- **Después del arranque**

Cuando el motor haya alcanzado las condiciones estabilizadas, deben efectuarse las operaciones normales en la cabina, que incluyen:

- Verificar que la temperatura de los gases de la turbina esta dentro de los límites correspondientes a la marcha lenta.
- Poner en SAFE (SEGURO) el interruptor principal del sistema de arranque.
- Poner el compensador de referencia de combustible de conformidad con las condiciones del ambiente.

- Solo puede efectuarse una verificación satisfactoria de las condiciones del funcionamiento en marcha lenta después de que el motor se haya calentado.

No debe abrirse el acelerador después de poner en marcha el motor hasta que la temperatura de los gases de la turbina y las r.p.m. se hayan estabilizado y la temperatura del aceite sea por lo menos -15°C . (Rolls-Royce Limited)

- **Acción si el motor no arranca**

Si el motor no consigue arrancar debe cerrarse la llave de A.P. al cabo de 30 segundos como máximo.

En el caso de aumentar rápidamente la temperatura de los gases de la turbina hay que cerrar inmediatamente la llave de A.P.

Sin embargo, en circunstancias en que el tiempo y las condiciones de servicio así lo exijan, puede adoptarse el procedimiento siguiente.

Cuando la temperatura de los gases de la turbina este ascendiendo de manera que vaya a alcanzarse el límite de temperatura admisible para el arranque, puede retrocederse poco a poco la llave A.P. para que se reduzca algo el gasto de combustible y la temperatura de los gases de la turbina se mantenga dentro del límite sin que se reduzca la aceleración hasta las r.p.m. de marcha lenta.

Hay que ejercer sumo cuidado al emplear este método de estrangulación del combustible, y siempre que se use debe considerarse como un defecto en el sistema de arranque y tomarse nota de ello debidamente.

No deberá hacerse ningún nuevo intento de arrancar hasta que la hélice haya dejado de girar.

Si no se ha cerrado inmediatamente la llave de A.P. al final del ciclo de arranque de 30 segundos, efectuar un ciclo e virado del motor para soplar el combustible fuera del motor.

Tiene que hacerse esto, en todo caso, antes de hacer un tercer intento de arrancar.

(Rolls-Royce Limited)

- **Parada del motor**

Tabla 2

Secuencia de parada del motor.

COMPONENTE	ACCIÓN
- Acelerador	- Completamente cerrado
- Llave de A.P.	- cerrada
- interruptor principal del sistema de arranque	- SAFE (SEGURO)

Nota. Luego de haber parado el motor el personal debe mantenerse lejos de las toberas de escape 5 minutos como mínimo, ya que e combustible residual podría encenderse con las altas temperaturas de la turbina.

- **Maniobra de virado del motor**

Tabla 3

Secuencia de soplado.

COMPONENTE	ACCION
- Compensador de referencia del combustible.	- Ponerlo de conformidad con lo indicado en diversas instalaciones.
- Interruptor principal del sistema de	- En posición BLOWOUT

COMPONENTE	ACCION
arranque.	(SOPLADO).
- Selector del motor.	- Ponerlo en el motor que corresponda.
- Botón de arranque.	- OPRIMIRLO hasta que empiecen a aumentar las r.p.m.
- Llave de A.P.	- SHUT (CERRADA)

Nota. Hay que tomar en cuenta que en este ejercicio no debemos mantener el motor girando mas de 30 segundos ya que se excederán los limites del motor de arranque.

- **Limitaciones del motor de arranque**

Después de seis ciclos consecutivos de arranque o virado del motor, de 30 segundos de duración, debe transcurrir como mínimo un intervalo de 15 minutos para dejar que se enfríe el motor de arranque.

Cuando se utilicen baterías interiores solo se permiten normalmente cuatro maniobras consecutivas de virado del motor. (Rolls-Royce Limited)

2.12. Descripción de Partes y Funciones del Sistema de Arranque.

Tabla 4

Esquema de entrenamiento del sistema de arranque del viscount.

TEMA	CARACTERISTICAS
Introducción	- Provisto para 3 propósitos - Para rotar el motor para el encendido inicial

TEMA	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none">- Para el soplado del motor- Para rotar el motor con propósitos de pruebas en tierra- Dividido en 2 secciones- Eléctrica- Mecánica
Introducción eléctrica	<ul style="list-style-type: none">- Consiste en las siguientes unidades- Barra bus principal- Relé principal- Relé de sobre velocidad- Relés del selector del arrancador- Motores de arranque- Barra de bus No. 2- Botón de arranque- Bobina de sujeción del botón de arranque- Lámpara indicadora del sistema de arranque

TEMA	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> - Interruptor maestro – 3 posiciones - Interruptor de prueba de las bujías – 2 posiciones - Relé de aislamiento de la bujía - Interruptor selector del motor (4 posiciones) - Interruptor de tiempo de reencendido en vuelo - Unidades de ignición de alta energía - Conectores de descarga superficial
Operación de la estación eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> - 3 operaciones - Encendido (arranque) - Soplado, siguiendo un arranque mojado o defectuoso - Reencendido aéreo, encender en vuelo
Encendido	<ul style="list-style-type: none"> - Interruptor maestro en posición START

TEMA	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none">- Interruptor de prueba de la bujía – en posición normal- Interruptor selector del motor en el numero de motor requerido- Botón de arranque presionado -2 segundos barra de bus 2- Relé principal energizado- Relé selector del starter energizado- Relé de sobre velocidad energizado- Motor de arranque energizado – barra de bus No.1 – consumiendo hasta 1500 amps- Bobina de fijación del botón de arranque – energizada- Lámpara indicadora del arranque – encendida

TEMA	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none">- Desde el interruptor selector del motor al relé cerrado de aislamiento de la bujía- A través del relé al interruptor de tiempo de reencendido aéreo- Hacia las unidades de ignición de alta energía- Hacia los conectores de descarga superficial de las cámaras de combustión- La ignición inicia a las 1800 R.P.M.- el motor acelera a 4500 R.P.M.- El motor de arranque consume 150 amps- El relé de sobre velocidad se desconecta- Bobina de sujeción del botón de arranque des energizada- Botón de arranque levantado

TEMA	CARACTERISTICAS
Soplado	<ul style="list-style-type: none">- Todos los circuitos del sistema de arranque cortados- Llave de baja presión encendida- Llave de alta presión apagada- Interruptor maestro en posición de soplado- Interruptor de prueba de bujías – en posición normal- Interruptor selector de motor en el numero de motor requerido- Botón de arranque presionado- Relé de aislamiento de bujías – energizado- Energía hacia el interruptor de tiempo de reencendido aéreo y unidades de ignición de alta energía – cortada- Relé principal – energizado- Relé del selector de arranque energizado

TEMA	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none">- Relé de sobre velocidad energizado- Motor de arranque energizado- Bobina de fijación del botón de arranque energizada- Lámpara indicadora de arranque encendida- Ahora el motor esta girando sin combustible o ignición- El botón de arranque tendrá que ser levantado manualmente para detener el motor- Tiempo máximo de corrida del motor de arranque por hora (3 minutos)
Reencendido aéreo	<ul style="list-style-type: none">- Interruptor maestro – en posición SAFE- Botón de embanderamiento halado intermitentemente- La hélice empieza a aflojarse

TEMA	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none">- El motor comienza a girar- El circuito hacia las unidades de ignición de alta energía cerrados mediante el interruptor de tiempo de reencendido aéreo- El interruptor de tiempo del reencendido aéreo asegura el contacto por solo 30 segundos- El circuito de embanderamiento activa el interruptor de tiempo de reencendido aéreo- La barra de bus No. 2 activa las bujías de lata energía
Prueba	<ul style="list-style-type: none">- Equipado para probar las unidades de ignición de alta energía- También energiza los relés del selector de arranque- Interruptor maestro en "safe"- Interruptor de prueba de bujías en "test"

TEMA	CARACTERISTICAS
Sección mecánica	<ul style="list-style-type: none"> - Interruptor selector del motor en el numero de motor requerido - Relé del selector del motor – un solo chasquido – si es así O.K. - Unidad de ignición de alta energía – 60 “cracks” por minuto – si es así O.K. - Consiste en las siguientes unidades - Motor de arranque - Conjunto de embrague del arranque - Engranaje cónico de accionamiento de arranque - Engranaje cónico accionado del arranque - Portador de trinquetes y trinquetes del arranque
Motor de arranque	<ul style="list-style-type: none"> - Bobinado compuesto, 12H.P.

TEMA	CARACTERISTICAS
Embrague del arrancador	<ul style="list-style-type: none">- Localizado – lado derecho superior de la carcasa de la entrada de aire- 2 veces la velocidad del eje principal- Localizado directamente bajo el motor de arranque- Equipado para 2 propósitos- Previene las cargas excesivas de torque en el motor de arranque- Protege al motor de los impactos iniciales del motor de arranque- El conjunto consiste en las siguientes unidades<ul style="list-style-type: none">- 1. Carcasa de aluminio mecanizado- 2. Platos de acero accionados- 3. Platos de accionamiento de aluminio

TEMA	CARACTERISTICAS
Engranaje de accionamiento del arranque	<ul style="list-style-type: none"> - 1 acoplamiento de embrague – níquel acero - 1 eje de pluma – níquel acero - 10 resortes de embrague - Conjunto completo retenido en una carcasa por un circlip tipo seeger - Diseñado para resbalar a 900 libra pulgada - Válvula de deslizamiento ajustada por medio de varios espesores de platos de acero accionados - Localizado en el panel posterior - Soporte superior – rodamiento de rodillos - Soporte inferior rodamiento de empuje de bolas - Accionamiento recibido desde el eje de pluma del embrague del arrancador

TEMA	CARACTERISTICAS
Engranaje cónico accionado del arranque	<ul style="list-style-type: none">- Conduce al engranaje cónico hacia la parte posterior del engranaje cónico accionado (manga de arranque)- Material de los engranajes acero níquel- Localizado – centralmente en el panel posterior- Soporte posterior rodamiento de empuje de bolas- Soporte frontal rodamientos de rodillo – tipo crowded- 9 dientes de trinquete mecanizados en la parte delantera- Dientes del engranaje cónico mecanizados en el extremo posterior- Rodea completamente el piñón de alta velocidad

TEMA	CARACTERISTICAS
Porta trinquetes y trinquetes del arranque	<ul style="list-style-type: none">- Localizados y asegurados al extremo frontal del piñón de alta velocidad- Solo 6 trinquetes de enganche del arranque- Resorte de hoja cargado en la posición de enganche- Retenidos en el portador por un circlip
Operación	<ul style="list-style-type: none">- Motor de arranque energizado- El embrague del arrancador compensa las diferencias en las velocidades relativas del arrancador y el motor- Conducción entregada mediante engranajes cónicos hacia los dientes de trinquete del arranque y trinquetes- Rotación máxima permitida antes del enganche 20°

TEMA	CARACTERISTICAS
Unidad de ignición de alta energía	<ul style="list-style-type: none"> - A aproximadamente 1800 R.P.M. comienza la ignición - El motor acelera a la velocidad de ralentí (4750 – 7000) - A aproximadamente 4500 – el relé de sobre velocidad se desconecta. - La fuerza centrífuga desengancha los trinquetes del arrancador - Los trinquetes re-enganchan a 1200 R.P.M. en el apagado - Tipo B.T.H. C 10 – 2 - Diseñada para operar con sistema de 24 Voltios D.C. - 2 por motor - Localizado en la góndola del motor – detrás de la pared de fuego - Rango del voltaje de entrada 16 – 29 voltios

TEMA	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none">- Energía almacenada por descarga 12 joules- Frecuencia mínima de descarga 60 por minuto- Duración de cada descarga 50 microsegundos punto .00005 segundos- Descarga de voltaje en los conectores de descarga superficial 2000 voltios- Amperaje de descarga 1500 amps.- Peso por cada unidad 6lb. 40z.- La bobina y el trembler crean alto voltaje- Los rectificadores producen corriente D.C.- Los capacitores del reservorio se cargan a un valor de brecha de descarga

TEMA	CARACTERISTICAS
Precaución	<ul style="list-style-type: none"> - El resistor para asegurar la disipación de la energía almacenada debería dejar los capacitores del reservorio en la condición cargados - Brecha de descarga – fija el voltaje de descarga en 2000 voltios - El resistor va hacia el voltaje limite del condensador en el caso de un circuito abierto - Estrangulador – fija la velocidad de descarga a 50 micro segundos - Debido a extremo alto voltaje y amperaje considere <u>siempre</u> esta unidad como letalmente peligrosa - <u>Nunca</u> coloque el conector de descarga a tierra al motor
Bujías de descarga superficial	<ul style="list-style-type: none"> - 2 por motor - Localizadas en las cámaras de expansión #3 y #7

TEMA	CARACTERISTICAS
Resumen	<ul style="list-style-type: none">- Consiste en dos electrodos de acero separados por una superficie de cerámica cubierta por una delgada película de carbón- La película de carbón asiste la descarga de la chispa a través de la brecha- Brecha de la chispa .040- Breve recorrido por los circuitos y el operamiento.

Nota. Recuperado de Viscount Training Outline – Starter System por (Trans-Canada Air Lines, 1954).

Capítulo III

3. Desarrollo del tema

3.1. Preliminares

A continuación en este capítulo se detallaran todos los procedimientos estudiados y ejecutados para lograr la remoción del Engranaje Cónico del Mecanismo de Acople de Arranque del Motor Rolls-Royce Dart 534-2, obteniendo de esta manera un innovador material de instrucción para la Universidad y conjuntamente el conocimiento teórico y habilidades prácticas, para el ensamble y desensamble de conjuntos mecánicos y el uso e interpretación eficiente de su documentación respectiva, la cual ha sido empleada en este caso para desarrollar el proyecto obteniendo las instrucciones del Rolls Royce Dart Aero Engine Overhaul Manual, capítulo 72-2 desensamble, literal E. Panel Posterior, ítems (1)-(9)(g), páginas 313 y 314.

El proyecto de titulación tiene como finalidad aprender a reconocer componentes y su función en cada conjunto mecánico, de igual manera aprender a emplear e interpretar la documentación de manera óptima para así poder obtener conciencia del grado de responsabilidad y profesionalismo que se requiere para cumplir con las tareas, y conjuntamente desarrollar altas aptitudes y competencia en el ámbito de la aviación.

Para la realización de la práctica se contó con la asistencia del personal Técnico de la Universidad de las Fuerzas Armadas Tlgo. Jonathan Zurita.

3.2. Consideraciones Generales

Al manipular componentes y conjuntos mecánicos, debido a sus grandes dimensiones, peso y componentes móviles debemos ser prudentes y tomar las respectivas precauciones para evitar poner en riesgo nuestra integridad y/o nuestra vida, principalmente conseguimos la documentación ya que son las instrucciones directas del fabricante para no fallar en el procedimiento, nos aseguramos de realizar un listado con todas las herramientas, equipos, materiales y componentes que tenemos previsto usar para tener cada uno de estos disponible a la mano al momento de ejecutar la práctica, debemos colocarnos correctamente el equipo de protección personal adecuado para la tarea que vamos a ejecutar, nos aseguramos de comprobar que el soporte donde descansaran los componentes sea adecuado en cuanto a resistencia y no presente fisuras o roturas, finalmente verificamos que el lugar de trabajo sea espacioso, sin objetos que se puedan romper, caer o proyectar hacia nosotros u otras personas alrededor, debemos tener iluminación y ventilación adecuada; a continuación nos enfocamos en seguir el diagrama de flujo anexado, realizado previamente para asegurarnos de ejecutar la practica ordenadamente y así eliminar riesgos y contratiempos. **(ANEXO A)**

Nota. La ejecución de la tarea de mantenimiento se realizo con la colaboración y supervisión del Tigo. Jonathan Zurita de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

3.3. Elaboración del soporte para los componentes del motor.

- a) Primero procedemos a tomar todas las medidas necesarias de los componentes y las anotamos para poder ubicar los componentes en el plano de la estructura que posteriormente diseñaremos en AUTOCAD.

Figura 36

Medición de componentes.



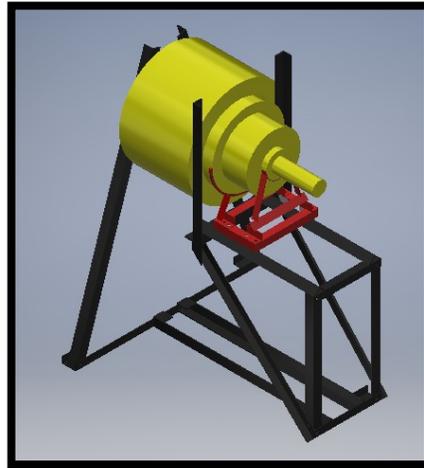
Nota. Se tomo las medidas en tres dimensiones incluyendo algunos agujeros y componentes rotativos para diseñar una estructura que soporte el peso de los componentes.

- b) Diseñamos el plano de la estructura en AUTOCAD, pensando siempre en la seguridad de los estudiantes que la manipularan y en la comodidad del docente que la empleara como material didáctico.

(ANEXO B).

Figura 37

Diseño de la estructura en 3d.

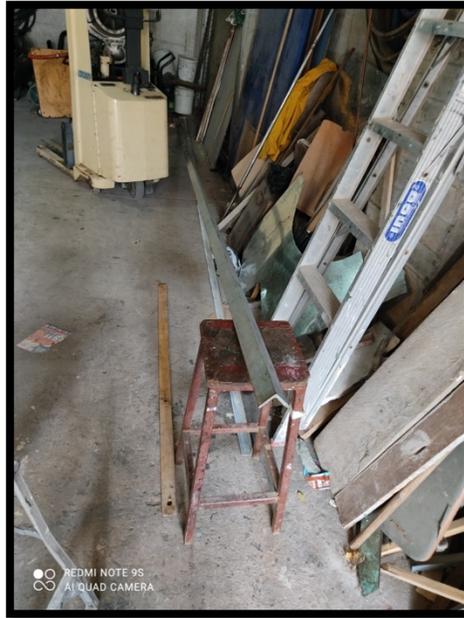


Nota. El diseño se realizó de acuerdo a la simulación de las cargas estructurales, de tal manera que la estructura soportará hasta media tonelada por seguridad de los componentes y del personal que lo utilizará.

- c) Para iniciar conseguimos 6 metros de perfil L de acero galvanizado de 2 pulgadas y 5mm de espesor, debemos tener lista una amoladora, taladro, centro punto, martillo y marcador.

Figura 38

Perfil L de 2 pulgadas.

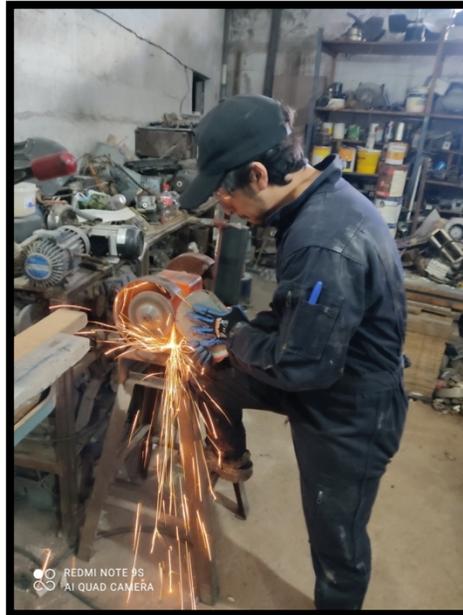


Nota. Debemos usar botas con punta metálica y guantes de fuerza al momento de manipular los perfiles ya que tiene un gran peso, y podrían caer sobre nosotros.

- d) Cortamos los perfiles L de 2 pulgadas y 5mm de espesor en pedazos de: 2 de 1,50m; 2 de 85cm; 2 de 70cm; 1 de 54cm; 2 de 72cm. Y del perfil L de 1 ½ pulgadas y 3mm de espesor cortamos pedazos de: 1 de 112cm; 2 de 40 cm; 2 de 95cm; 2 de 10cm; 2 de 9cm; 1 de 124cm en el cual haremos muescas de 45 grados para formar un rectángulo de 25x37cm; 1 de 32,5cm; 1 de 22,5cm y 1 de 10,5cm estas dos ultimas porciones las cortaremos longitudinalmente por la mitad para obtener dos platinas planas que nos servirán de soporte para las medias lunas que sujetan a la caja de reducción.

Figura 39

Corte de perfiles.



Nota. Para medir con sin errores, debemos usar la escuadra y un marcador para marcar la superficie a cortar.

- e) Con el uso de un centro punto y un martillo, marcamos el espacio donde debemos perforar los perfiles según el plano y perforamos en un taladro de banco.

Figura 40

Perforación en taladro de banco.



Nota. Al perforar metal es recomendable usar, lubricante de perforación o cebo para evitar que se dañe la broca.

- f) Cortamos el perfil de 1 ½ pulgada, de manera que haciendo 5 cortes de 45 grados podamos doblar el perfil, formando un marco rectangular de 37x25cm y perforamos 2 agujeros en cada esquina para poder montar 4 ruedas metálicas en el marco.

Figura 41

Corte del marco rectangular.



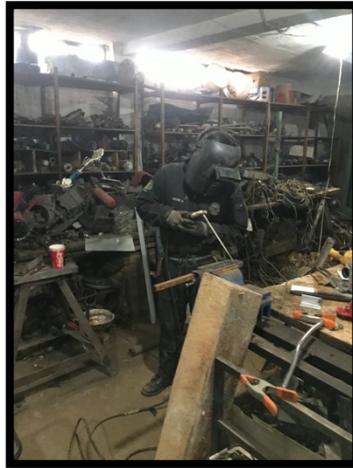
Nota. Hacer uso de una prensa garantiza que los cortes sean rectos y limpios.

- g) Ahora preparamos la suelda eléctrica de corriente alterna con electrodo 6011, y soldamos los dos perfiles de 70cm Perpendicularmente a los extremos del perfil de 2 pulgadas y 40cm de largo, del otro extremo de los perfiles paralelos soldamos, un perfil perpendicular de 2 pulgadas y 54cm de largo, tomando en cuenta que los perfiles paralelos se encuentren a la misma distancia de los extremos del perfil de 54cm. Frente a los extremos del perfil de 1 ½ pulgada y 112cm de largo, soldamos dos pedazos de 9cm del mismo perfil, para formar una especie de caja, en donde se fijarán las ruedas de la estructura, hacemos el mismo procedimiento soldando los 2 pedazos de 10cm a los extremos del perfil de 1 ½ pulgada y 40cm de largo formando una caja para fijar las ruedas delanteras. Soldamos también la esquina inicial con la esquina final del marco rectangular para cerrar el rectángulo y finalmente soldamos 2 medias lunas sobre

el marco rectangular, una de 40cm de diámetro y 1.5cm de espesor y la otra de 15cm de diámetro y 2cm de ancho, estas servirán de soporte para el conjunto de la hélice.

Figura 42

Soldadura.

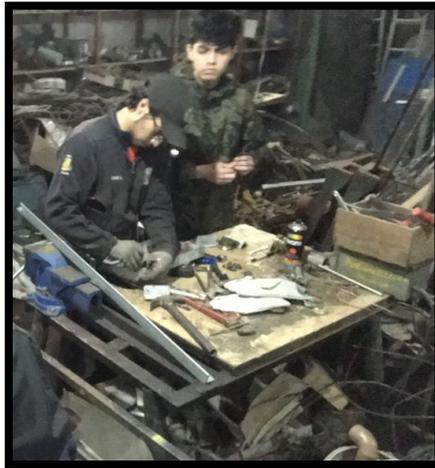


Nota. Debemos verificar que en el casco de soldador se encuentre fijado correctamente el vidrio oscuro para proteger nuestros ojos.

- h)* Colocamos las cuatro ruedas metálicas dentro del marco rectangular y también colocamos las ruedas multi dirección en el perfil de 112cm para las ruedas traseras y en el de 40cm para las ruedas delanteras.

Figura 43

Montaje de las ruedas en el marco rectangular.



Nota. Las 4 ruedas metálicas deben estar centradas y a la misma distancia una con otra, ya que estas se desplazarán sobre dos rieles en una sola dirección.

- i) En este punto empezamos a montar la estructura con los componentes con la ayuda de un montacargas. Fijando los perfiles de 1,50m en la parte posterior de la carcasa de la toma de aire con pernos de 2 pulgadas formando una letra A, colocamos los perfiles de 85cm en la parte frontal de la carcasa de la toma de aire, fijamos con los mismos pernos los perfiles de 85cm de forma vertical y paralelos, en la base de estos dos últimos fijamos usando pernos de 1 ½ pulgada el perfil de 54cm que se encuentra soldado con las paralelas de 70cm que servirán de rieles para el transportador de la caja de reducción, en el otro extremo de los rieles donde se encuentra el perfil de 40cm, fijamos mediante pernos de 1 ½ pulgada unos puntos de apoyo hacia el piso con los perfiles de 2 pulgadas y 72cm de largo, en la base de estos puntos de apoyo debemos fijar mediante

pernos el perfil de 40cm que contiene las ruedas delanteras y para dar estabilidad a la estructura fijamos mediante pernos de 1 ½ pulgada unas diagonales de 95cm desde la base delantera de la carcasa de la toma de aire hacia las ruedas delanteras, las diagonales deben estar a cada lado de la estructura. Y finalmente unimos mediante pernos y 2 perfiles de 2 pulgadas y 103,5cm de largo el eje de las ruedas traseras con el de las ruedas delanteras, y de esta manera la estructura formará un solo cuerpo.

Figura 44

Montaje de perfiles diagonales.



Nota. Es recomendable dejar las puntas de los pernos y las tuercas hacia adentro de la estructura para evitar que las personas se lastimen al manipular el material didáctico.

- j) Montamos el transportador de la caja de reducción y colocamos al conjunto de la hélice sobre este y sobre los rieles, por las cuales se desplazará.

Figura 45

Montaje del conjunto de la hélice y soporte sobre los rieles.



Nota. Al momento de acoplar el conjunto de la hélice con la carcasa de la toma de aire debemos hacerlo girando el eje de la hélice en sentido anti horario.

3.4. Limpieza de los componentes.

- a) Una vez con los componentes asegurados en la estructura procedemos según las indicaciones del Handbook general, en la sección de limpieza, prevención y control de la corrosión. Primero con la ayuda de aire seco comprimido removemos el polvo y cualquier FOD que pueda encontrarse dentro o fuera de los componentes.

Figura 46

Pistola de aire para remover FOD.



Nota. Debemos asegurarnos que el aire que sale de la pistola este seco, o podría crear lodo o solidificación de grasa entre las cavidades de los componentes.

- b) Según las indicaciones del handbook general, procedemos a lavar los componentes con agua jabonosa, desde la parte superior hacia abajo.

Figura 47

Agua jabonosa.



Nota. Debemos colocarnos guantes para lavar ya que muchos de los fluidos que se encuentran en el motor pueden ser corrosivos para nuestras manos y tóxicos.

- c) El handbook general también estipula que en los lugares donde hay gran acumulación de grasa o grasa que no se remueve fácilmente, podemos usar keroseno o una mezcla de este con limpiadores emulsificantes.

Figura 48

Limpieza de la caja de engranajes de reducción.



Nota. Para remover la grasa acumulada se empleó un huaípe empapado con keroseno.

3.5. Remoción del Engranaje Cónico del tren Arranque.

- a) Antes de realizar cualquier acción consultamos las instrucciones en el manual: primero, antes de intentar remover el panel posterior de la carcasa de la toma de aire asegúrese que la transmisión de la caja cónica y el eje de acople hayan sido removidos, de otra manera el panel puede dañarse. En este caso como la sección del motor fue recibida con la mayoría de componentes, cañerías y sensores removidos, estos componentes no estaban presentes al iniciar la tarea, sin embargo, se inspecciono estas cavidades para verificar la presencia de FOD que pueda intervenir con el procedimiento.

(ANEXO C)

Figura 49

Cavidad del eje de acople y transmisión de la caja cónica.



Nota. El agujero por donde atraviesan los ejes desde el motor eléctrico y transmiten el movimiento para accionar la caja cónica, se encuentran libres de obstrucción y FOD.

- b) Desdoble las arandelas con lengüeta y remueva las nueve tuercas de 9/16in. Y las arandelas que retienen el conjunto del panel posterior en la carcasa de la toma de aire.

Figura 50

Desmontaje del panel posterior.



Nota. Tuercas removidas con copa 9/16 y arandelas de freno extraídas.

- c) En este punto el manual nos indica que debemos usar una herramienta especial, la cual es un extractor para separar el panel posterior de la carcasa de la toma de aire, el cual no fue necesario utilizarlo ya que esta sección se encontraba inoperativa y con varios accesorios removidos por lo tanto sus tuercas estaban flojas y los empaques deteriorados lo que facilito la remoción del panel posterior solo tirando de el con nuestras manos.

Figura 51

Extracción del panel posterior.



Nota. Usar guantes de fuerza para evitar el deslizamiento de componentes.

- d) Retire la cañería de transferencia de aceite de cualquiera de ambos, el panel posterior o la carcasa de la toma de aire.

Figura 52

Cañerías de transferencia de aceite.



Nota. Colocar estos componentes sobre un material absorbente ya que contienen residuos de aceite que podrían contaminar nuestras herramientas y otros componentes.

e) Luego de remover el panel posterior de la carcasa de la toma de aire, desmantele completamente el panel y tren de arranque como se indica:

- 1) Desdoble las pestañas de las arandelas y remueva las tres tuercas de 1/4in las cuales retienen la cubierta de rodamiento de rodillo del engranaje transmisor de arranque, al alojamiento superior del panel, luego remueva la cubierta.

Figura 53

Cubierta con rodamiento de rodillos.



Nota. Se empleo una copa de 1/4in para remover las tuercas y liberar la cubierta.

- 2) Retire el circlip y remueva el rodamiento de la cubierta.

Figura 54

Extracción de circlip de la cubierta.



Nota. Para extraer un Circlip sin causar daños en el o el componentes debemos usar pinzas adecuadas para extraer arandelas de seguridad.

- 3) Retire la arandela de ajuste, el engranaje y el rodamiento de bolas del panel.

Figura 55

Engranaje cónico del sistema de arranque.



Nota. Colocar los componentes retirados en grupos y etiquetarlos según la posición que ocupan en la sección del motor, para evitar pérdidas.

- 4) Remover el circlip y arandela de tope del agujero del engranaje, luego retire el rodamiento de bolas del engranaje.

Figura 56

Conjunto del engranaje cónico del sistema de arranque.



Nota. La remoción del engranaje cónico del sistema de arranque, se realizó satisfactoriamente empleando un Manual de Overhaul del Rolls Royce Dart como guía.

3.6. Limpieza de los componentes removidos.

- a) Elaboramos una solución de agua con detergente y keroseno, la cual permitirá remover cualquier resto de grasa, lodo y hasta cierto grado de corrosión.

Figura 57

Keroseno.



Nota. Debemos enjuagar esta solución antes que seque sobre nuestros componentes, para evitar que se ensucien nuevamente.

- b) Sumergimos cada componente en esta solución, y las restregamos con un cepillo.

Figura 58

Limpieza del engranaje cónico del sistema de arranque.



Nota. El cepillo que empleemos para esta tarea no debe ser duro y lastimar el material del componente, pero debe remover las impurezas y oxido sobre este.

- c) Limpiamos con un paño seco y dejamos secar las piezas en un ambiente ventilado libre de polvo.

Figura 59

Secado de los componentes.



Nota. Dejar secar por lo menos dos horas para evitar que residuos de detergente o combustible se mezclen con el lubricante nuevo que será aplicado posteriormente.

3.7. Montaje de motor eléctrico para accionar el tren de arranque.

- a) Nuevamente montamos los componentes removidos en la carcasa de la toma de aire.

Figura 60

Montaje del panel posterior.

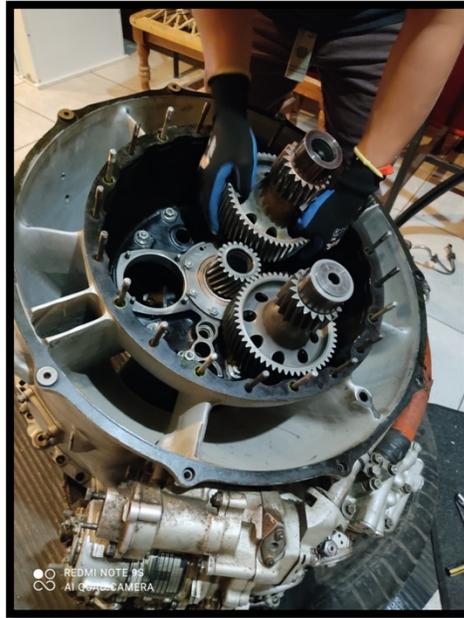


Nota. En el ámbito laboral, por seguridad siempre se recomienda, cambiar las arandelas de frenado por unas nuevas cada vez que estas sean removidas.

- b) Además, montamos sobre el panel posterior, los engranajes de reducción de manera que se pueda apreciar su posición, función, y accionamiento junto con el sistema de arranque.

Figura 61

Montaje de los engranajes de reducción.



Nota. Para fijar estos engranajes tenemos muy poco espacio y poca visibilidad, por lo cual empleamos una linterna de cabeza para una mejor ejecución de la tarea.

- c) Ya que esta sección no contaba con el eje de transmisión del motor eléctrico hacia el tren de arranque, tuvimos que elaborar uno que se acople correctamente con nuestro motor eléctrico. Este eje lo instalamos por dentro de la carcasa previamente junto con el montaje del tren de arranque y el panel posterior.

Figura 62

Eje de transmisión del motor de arranque.

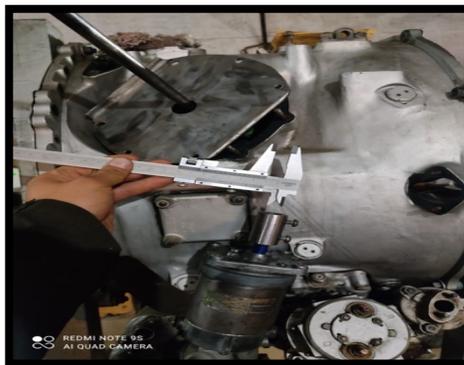


Nota. El eje de transmisión debe estar completamente recto ya que si tiene un pequeño imperfecto podría causar vibraciones y dañar el motor eléctrico.

- d) Ahora montamos el motor eléctrico y centramos su eje con el eje de transmisión del arrancador mediante el uso de bocines y calibrador vernier.

Figura 63

Centrado de los ejes.



Nota. Los ejes varían en diámetro, por lo tanto, se optó por unirlos con un acople y tornillos prisioneros además de bocines para evitar el juego de los ejes.

- e) Montamos el cableado de manera que podamos suministrar energía desde un toma corriente domestico hacia el motor eléctrico.

Figura 64

Circuito eléctrico del motor de 110v dc.



Nota. Se incluyo en el circuito un rectificador de onda completa ya que el motor funciona con 110v de corriente directa y de esta manera podemos conectar el motor a la corriente alterna de la red domestica.

- f) Finalmente, al inicio del cableado eléctrico colocamos un interruptor de seguridad para accionar o cortar el suministro de energía hacia el motor.

Figura 65

Maqueta didáctica del sistema de arranque.



Nota. La maqueta cumple la función de demostrar mediante el accionamiento de un motor eléctrico de bajas RPM, como se transmite el movimiento desde el motor de arranque hacia el eje principal y hacia la hélice.

3.8. Análisis económico del proyecto

Durante la ejecución del proyecto de titulación nos encontramos con varios gastos que fueron necesarios para culminar este proyecto con un resultado de calidad, practicidad y utilidad para la institución y sus futuras generaciones. Para analizar de manera fácil estos gastos los agruparemos en costos primarios, costos secundarios y costos totales a continuación:

3.9. Costos primarios

Aquí tomaremos en cuenta gastos como materiales, equipos y herramientas que fueron adquiridas para desarrollar el proyecto los cuales se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla 5*Costos primarios del proyecto.*

N°	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Carcasa de la toma de aire y caja de reducción del motor Rolls Royce Dart 534-2	1	1100	1100
2	Motor eléctrico	1	60	60
3	Rectificador de onda completa	1	20	20
4	Eje de transmisión	1	50	50
5	6 metros de perfil L de 2 pulgadas, 5mm de espesor de hierro galvanizado.	1	37	37
6	6 metros de perfil L de 1 ½	3	22	66

N°	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
	pulgadas, 3mm de espesor de hierro galvanizado.			
7	Medias lunas y platinas.	2	4	8
8	Ruedas multidireccional industriales	4	5	20
9	Ruedas metálicas	4	5	20
10	Platina de acero 1mx1m	1	10	10
11	Pernos 2in	30	0,15	4,50
12	Pernos 1 ½in	30	0,10	3
13	Tuercas	60	0,10	6
14	Libra de Electrodos	2	4	8
15	Alquiler de suelta	2 días	50 dia	100

N°	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
16	Alquiler Amoladora	2 días	20 día	40
17	Hojas de Lija	2	0,50	1
18	Litros de Desoxidante	1	3	3
19	galón de Pintura anticorrosiva amarilla	1	10	10
20	Alquiler tecla de 1/2ton	2 días	40 día	80
21	Metros de cable gemelo N° 12	2	0,60	1,20
22	Conector	1	1	1
23	Interruptor	1	10	10
24	Transporte	1	100	100
25	Huaipe	10	0,10	1
26	Juego de machuelos	1	10	10

Nº	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
27	Juego de brocas de cobalto	1	15	15
TOTAL				1784,70

Nota. En la tabla observamos los precios referenciales en dólares estadounidenses.

3.10. Costos secundarios

Son costos secundarios en este proyecto, aquellos generados indirectamente durante el desarrollo del proyecto, la elaboración del material didáctico y el trabajo de investigación escrito.

Tabla 6

Costos secundarios del proyecto.

Nº	Descripción	Valor total
1	Impresión de manuales y diagramas	5
2	Internet	21
3	Papelería	5
4	Asesoría técnica	300
	TOTAL	331

Nota. Los valores son de referencia dentro del Ecuador.

3.11. Costo total del proyecto

Tabla 7

Costos totales del proyecto.

Nº	Descripción	Valor total
1	Costos primarios	1784,70
2	Costos secundarios	331
	TOTAL	2115,70

Nota. Todos los gastos corrieron por cuenta personal, sin auspicios ni apoyo de fundaciones o instituciones terceras.

Capítulo IV

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

- Se realizó la tarea de remoción del engranaje cónico de acople del sistema de arranque, conforme a la información recopilada del manual de overhaul del motor Rolls Royce Dart y mediante el apoyo del AMM y los handbooks para técnicos de mantenimiento de aeronaves.
- La separación de componentes se realizó satisfactoriamente mediante el uso de un transportador móvil para el conjunto de la hélice de manera que, al separar este conjunto de la carcasa de la toma de aire, los estudiantes que se beneficiarán de este material didáctico, podrán visualizar e identificar cómodamente los componentes de esta sección interna y externamente y podrán observar el funcionamiento mecánico del tren de sistema de arranque.
- La porción del eje principal que se encuentra en la carcasa de la toma de aire del motor Rolls Royce Dart 534-2, se acciona exitosamente gracias a la adaptación de un motor eléctrico de bajas revoluciones, de esta manera estudiantes y docentes podrán comprender de mejor manera su funcionamiento sin correr el riesgo de sufrir un accidente y podrán identificar los diferentes componentes, sistemas y configuraciones del sistema de arranque de los aerorreactores que han existido hasta el día de hoy.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda aprender y practicar constantemente la lectura en el idioma inglés, ya que es un lenguaje universal y siempre va a existir documentación en

ingles sin importar de donde sea el fabricante de la aeronave o sus componentes; esto facilitara ampliamente la ejecución de tareas y reduce los riesgos de accidentes.

- Antes de iniciar cualquier tarea debemos comprobar que la información proporcionada sea efectiva y actualizada, para prevenir errores y de la misma manera debemos comprobar el estado operativo y seguro de nuestras herramientas, para poder ofrecer un mantenimiento de alta calidad.
- Por seguridad, ahorro de tiempo y eficiencia, es una buena practica hacer un calendario o un plan de mantenimiento, antes de iniciar con las tareas, ya que de esta manera podemos registrar las tareas ejecutadas y las pendientes y así evitar contra tiempos y mejoramos la comunicación con nuestro equipo de trabajo manteniéndolos siempre informados.

5. Bibliografía

Aguilar, H., de Haan, L., Knuyt, J., & Nieuwendijk, L. (2017). Propfan, an alternative for turbofan engines. *Aviationfacts.eu*.

Airwork Corporation. (1981). *Rolls-Royce DART Line Maintenance and Field Troubleshooting Reference Manual*.

Comercial Aviation Safety Team. (n.d.). *engine types*. Retrieved junio 2021, from cast-safety.org: https://www.cast-safety.org/pdf/2_engine_types.pdf

Edwardsian. (17 de 10 de 2010). *Wikipedia*. Recuperado el junio de 2021, de River Dart - River Dart - Wikipedia:

https://en.wikipedia.org/wiki/River_Dart#/media/File:RiverDart.jpg

Engineering, J. (2021). *AEOLUS*. Recuperado el junio de 2021, de Jet-X:

<https://www.jet-x.org/a1.html>

FAA, U. S. (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook – General* .

FAA, U. S. (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook-Powerplant Volume 1*.

Garcia Hernandez, L. (2017). *Desarrollo de un modelo de turbohélice de tres ejes*.

Análisis y evaluación de prestaciones en diferentes aplicaciones. Recuperado el junio de 2021, de Bibling.us.es:

<http://bibling.us.es/proyectos/abreproy/60424/fichero/PFC+Luca+Garc%C3%ADa+Hernández.pdf>

Rolls-Royce Limited . (s.f.). *Apuntes del curso para MECANICOS*. Gran Bretaña:

Rolls-Royce Customer Training Centre.

Scala, C., Heidenreich, E. A., Martiarena, J. F., & di Bernardi, A. (s.f.).

DESARROLLO DE MOTORES PULSORREACTORES PARA PROPULSIÓN DE

UAV. Recuperado el junio de 2021, de www.est.iue.edu.ar:

<http://www.est.iue.edu.ar/investigacion/Desarrollo%20de%20motores%20pulsorreactores%20para%20propulsión%20de%20UAV.pdf>

Skybrary. (2016, octubre 3). *Turbofan Engine*. Retrieved junio 2021, from

Skybrary.aero: https://www.skybrary.aero/index.php/Turbofan_Engine

Trans-Canada Air Lines. (1954). *Viscount Training Outline*. Winnipeg: Training and Publications.

Vickers Viscount Network. (2021). *Vickers Viscount Network*. Retrieved junio 2021, from Vickers Viscount Network:

http://www.vickersviscount.net/Pages_Technical/Rolls-RoyceDart.aspx

Wikipedia. (15 de abril de 2021). *Cohete térmico nuclear - Nuclear thermal rocket*.

Recuperado el junio de 2021, de Other Wiki:

https://es.other.wiki/wiki/Nuclear_thermal_rocket

Wikipedia. (28 de febrero de 2021). *Ramjet - Ramjet*. Recuperado el junio de 2021,

de Other Wiki: <https://es.other.wiki/wiki/Ramjet>

Woodfill, J. (2001). *The Space Educators' Handbook*. Retrieved junio 2021, from

<https://er.jsc.nasa.gov/seh/menu.html>

ANEXOS