



Inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls Royce Spey 511-8, de acuerdo al Manual de Mantenimiento Cap. 77-21-00, aplicable a la aeronave Gulfstream II perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Chaluiza Ullcu, Milton Orlando

Departamento Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología En Mecánica Aeronáutica Mención Motores

Monografía previa a la obtención del Título de Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica
Mención Motores

Ing. Bautista Zurita, Rodrigo Cristóbal

Latacunga

19 de marzo del 2021



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA MECÁNICA

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
MOTORES**

Certificación

Certifico que la monografía, “INSPECCIÓN DEL CONJUNTO DE TERMOCUPLAS DEL MOTOR ROLLS ROYCE SPEY 511-8, DE ACUERDO AL MANUAL DE MANTENIMIENTO CAP. 77-21-00, APLICABLE A LA AERONAVE GULFSTREAM II PERTENECIENTE A LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA” fue realizado por el señor Chaluiza Ullcu, Milton Orlando el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de marzo del 2021

Ing. Rodrigo Cristóbal, Bautista Zurita

C.C.:172024099



Document Information

Analyzed document	MONOGRAFIA_MILTON CHALUIZA.pdf (D98954145)
Submitted	3/19/2021 5:48:00 PM
Submitted by	
Submitter email	mochaluz@espe.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	rcbautista.espe@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://avia-es.com/blog/grumman-gulfstream-ii-harakteristiki-foto?fbclid=IwAR1Nhz... Fetched: 3/19/2021 10:13:00 PM	88	1
W	URL: https://www.gacetaeronautica.com/gaceta/wp-101/?p=35668 Fetched: 3/19/2021 10:13:00 PM	88	3
W	URL: http://www.aviaco-va.es/WP/motor_de_turbina.pdf Fetched: 3/19/2021 10:13:00 PM	88	4
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / PAUCAR DANNY URKUND.pdf Document PAUCAR DANNY URKUND.pdf (D80986212) Submitted by: dpaucar2@espe.edu.ec Receiver: maarellano3.espe@analysis.orkund.com	88	4
SA	67813.pdf Document 67813.pdf (D63054355)	88	6
W	URL: https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html Fetched: 3/19/2021 10:13:00 PM	88	2
W	URL: https://www.aeroexpo.online/es/prod/howell-instruments/product-184407-32327.html Fetched: 3/19/2021 10:13:00 PM	88	3
W	URL: https://como-funciona.co/un-multimetro/ Fetched: 3/19/2021 10:13:00 PM	88	1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / CUENCA MENDIETA HERMAN DAVID TESIS U.docx Document CUENCA MENDIETA HERMAN DAVID TESIS U.docx (D54661510) Submitted by: herman_davidcm@hotmail.com Receiver: gsinca.espe@analysis.orkund.com	88	1
W	URL: https://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/turbine.htm Fetched: 3/19/2021 10:13:00 PM	88	1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Boris Vivanco Tesis completa actual.pdf Document Boris Vivanco Tesis completa actual.pdf (D80990961) Submitted by: bpvivanco@espe.edu.ec Receiver: rcbautista.espe@analysis.orkund.com	88	4

1/29



Ing. Rodrigo Cristóbal, Bautista Zurita

C.C.:172024099



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA MECÁNICA

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
MOTORES**

Autoría de responsabilidad

Yo, **Chaluiza Ullcu, Milton Orlando** declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls Royce Spey 511-8, de acuerdo al manual de mantenimiento cap. 77-21-00, aplicable a la aeronave Gulfstream II perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 19 de marzo del 2021

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser 'Chaluiza Ullcu', sobre una línea horizontal.

Chaluiza Ullcu, Milton Orlando
C.C.: 0504238767



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
MOTORES

Autorización

Yo, **Chaluiza Ullcu, Milton Orlando** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la presente monografía “**Inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls Royce Spey 511-8, de acuerdo al manual de mantenimiento cap. 77-21-00, aplicable a la aeronave Gulfstream II perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 19 de marzo del 2021

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser 'Chaluiza Ullcu'.

Chaluiza Ullcu, Milton Orlando
C.C.: 0504238767

Dedicatoria

Primeramente este trabajo de titulación está dedicado a Dios por haber guiado en todo el esfuerzo que he puesto para obtener mi valor ético y moral en la vida del profesionalismo y por haber permitido llegar a un punto más valioso de mi vida, de la misma manera dedico todo los triunfos obtenidos a mis padres Carlos Chaluiza Umajinga que cada día me motiva para salir adelante, y Consuelo Ullcu Baltazaca que me da la bendición todo los días de mi vida es mi gran motivación de mis planes del futuro.

También dedico a aquellas personas que han estado durante todo este tiempo a mi lado dando ese apoyo moral para seguir adelante con mis estudios hasta llegar a ser una persona profesional confiando en mí y en mis capacidades gracias por todo por mantener esa esperanza en granito que multiplica mi mayor motivación.

Milton Orlando Chaluiza Ullcu.

Agradecimiento

Primero agradezco a Dios por haber darme la fuerza y el ánimo para seguir motivado hasta concluir mis estudios, soy una persona más en este mundo que he venido gracias a mis padres por el esfuerzo y el trabajo que día a día han hecho todo lo posible para sacar adelante y apoyarme en todo lo que yo quería y por eso agradezco de corazón por la valentía y sacrificio con solo ver feliz mi vida.

A mis padres que hoy día recuerdo con amor que llevo dentro de mi corazón y mi mente plasmado en todos los momentos de mi vida ya que ustedes son tesoros de mi vida. A ellos les debo mi vida entera por haber dado todo y por eso estoy más que nunca muy feliz por vivirla en este mundo.

A mis hermanos, Marco Chaluiza por constate apoyo y darme la motivación para seguir adelante con mis metas planeados, y mi hermano Edgar Chaluiza, por la confianza que tuvo durante mi carrera de estudio y por haber brindado la mano en los momentos más difíciles de mi vida ya que ellos estaban constantemente apoyándome.

También a quienes me han formado desde mi niñez agradezco por los valores y el sacrificio que brindaron sus conocimientos en mi formación a mis abuelitos además a las personas que me llenaron de alegría en mi vida de adolescencia a mis amigos del colegio al Javier Chaluiza, y Fabián Chaluiza por esos días tan especiales que disfrutábamos de nuestra adolescencia y quiero también agradecer a una persona especial, Mishel Naranjo por haber apoyado compartiendo sus conocimientos durante estos tiempos difíciles de mi vida, además, a todos los docentes que me dieron sus conocimientos durante mi carrera, desde luego como no agradecer al Ing. Rodrigo Bautista, por haber sido un gran docente y director de la carrera lo cual nos motivaba para seguir estudiando hasta culminar la carrera de Mecánica Aeronáutica-Motor.

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación.....	3
Autoría de responsabilidad	4
Autorización.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de la tabla.....	14
Índice de figuras	15
Resumen	18
Abstract.....	19
Planteamiento de investigación	20
Antecedente	20
Planteamiento del problema.	21
Justificación e Importancia	21
Objetivos	22
<i>Objetivo general</i>	22
<i>Objetivos específicos.....</i>	22
Alcance	23
Marco teórico.....	24
Descripción de la aeronave Gulfstream II	24
<i>Generalidades.....</i>	24

<i>Dimensiones, áreas y especificaciones de la aeronave Gulfstream II.....</i>	<i>24</i>
Introducción de los motores a reacción.....	26
Principios de funcionamiento de un motor a reacción	27
<i>Admisión.....</i>	<i>28</i>
<i>Compresión</i>	<i>29</i>
<i>Combustión</i>	<i>29</i>
<i>Expansión</i>	<i>29</i>
Partes de un motor a reacción y su función	30
<i>Entrada o toma de aire.....</i>	<i>31</i>
<i>Los compresores</i>	<i>32</i>
<i>Cámara de combustión.....</i>	<i>35</i>
<i>Turbinas.....</i>	<i>37</i>
<i>Tobera de escape</i>	<i>39</i>
<i>Spool.....</i>	<i>40</i>
<i>Caja de accesorios.....</i>	<i>40</i>
Descripción del motor Rolls Royce Spey 511-8.....	41
<i>Partes del motor Rolls-Royce Spey 511-8</i>	<i>42</i>
<i>Especificación del motor Rolls-Royce Spey 511-8</i>	<i>42</i>
<i>Límite de operación.....</i>	<i>44</i>
Sistema de indicadores del motor	44
<i>Medidor de temperatura del motor.....</i>	<i>45</i>
<i>Temperatura de los gases de escape (EGT).....</i>	<i>45</i>
<i>El error de indicación del circuito de temperatura de gas de escape (EGT)..</i>	<i>46</i>
<i>Temperatura intermedia de la turbina (TIT).....</i>	<i>47</i>
<i>Temperatura de aire T.A.T y temperatura del aire de exterior O.A.T</i>	<i>48</i>

Introducción de termocuplas	48
<i>Sistema de funcionamiento de una termocupla de un motor a reacción</i>	<i>49</i>
<i>Funcionamiento del sistema</i>	<i>50</i>
<i>Potencial electrostático en metales</i>	<i>50</i>
<i>Longitud de una termocupla</i>	<i>51</i>
Partes de una termocupla	51
<i>Cables de una termocupla:.....</i>	<i>52</i>
<i>Espesor del alambre</i>	<i>53</i>
<i>Terminales de una termocupla.....</i>	<i>53</i>
<i>Conectores de una termocupla</i>	<i>54</i>
<i>Sondas de una termocupla.....</i>	<i>55</i>
Identificación de los tipos de las termocuplas utilizados en la aviación	56
<i>Las termocuplas de tipo K.....</i>	<i>57</i>
<i>Identificación de los cables de la termocupla tipo K.....</i>	<i>58</i>
<i>Rangos de temperatura de la termocupla tipo K.....</i>	<i>59</i>
<i>Uniones de termocuplas de tipo K.....</i>	<i>60</i>
<i>La unión de termocupla conectada a tierra.....</i>	<i>60</i>
<i>La unión de termocuplas sin conexión a tierra:.....</i>	<i>61</i>
<i>Termocuplas expuestas (o "termocuplas de alambre desnudo").....</i>	<i>61</i>
<i>Las uniones de forma junta y bayoneta:</i>	<i>62</i>
Generalidades sistema de indicación del motor Rolls-Royce Spey 511-8.....	62
<i>Generador de indicadores de L.P y H.P. R.PM.</i>	<i>63</i>
<i>El generador de baja presión:</i>	<i>63</i>
<i>El generador de alto presión:</i>	<i>63</i>
<i>Interruptor térmico de sobrecalentamiento del motor.....</i>	<i>65</i>

Sistema de conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8.	66
<i>General</i>	66
<i>Descripción</i>	67
<i>Operación</i>	69
Los cables de una termocupla del motor Rolls Royce Spey 511-8	70
<i>General</i>	70
<i>Descripción</i>	70
<i>Operación</i>	72
Inspección de la aeronave y de los componentes.....	72
<i>Inspección programada</i>	73
<i>Inspección anual:</i>	73
<i>Inspecciones de 50 horas y 100 horas</i>	74
<i>Las inspecciones no programadas</i>	74
Inspección del conjunto de termocupla.	74
<i>Solución de problemas de las termocuplas</i>	75
Equipo de prueba para la inspección de la termocupla del motor	75
<i>Tempcal Tester (equipo de prueba)</i>	75
<i>Funcionamiento</i>	76
<i>Multímetro</i>	76
<i>Lastre (Ballast)</i>	77
Inspección del conjunto de la termocupla del motor Rolls-Royce Spey	
511-8	78
<i>Ajuste / Prueba del sistema de conjunto de las termocuplas del motor</i>	
<i>Rolls Royce Spey 511-8.</i>	79
Desarrollo del tema	88

Preliminares	88
Medidas de seguridad.	88
Herramientas y equipos de apoyo en tierra utilizado en la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8.....	89
<i>Herramientas y equipos de apoyo en tierra.....</i>	<i>89</i>
<i>Documentaciones técnicas</i>	<i>89</i>
Procedimiento para la inspección del conjunto de termocupa del motor Rolls-Royce Spey 511-8.....	89
<i>Inspección y Chequeo de resistencia de la temperatura del gas de la turbina.....</i>	<i>90</i>
<i>Procesos de inspección</i>	<i>91</i>
<i>Método 1 (usando el puente de Wheatstone) se utilizó un multímetro.</i>	<i>97</i>
<i>Método 2 utilizando el equipo de prueba.....</i>	<i>105</i>
Datos de resistencia del cable de un circuito de la termocupa del motor Rolls-Royce Spey 511-8.....	116
Datos de la resistencia de la temperatura del gas de a turbina.....	117
Lista de chequeo de la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8.....	118
<i>Lista de Chequeo</i>	<i>118</i>
Conclusiones y recomendaciones	120
Conclusiones	120
Recomendaciones	121
Glosario.....	122
Abreviaturas	123
Bibliografía.....	124

Anexos131

Índice de la tabla

Tabla 1 <i>Dimensiones y áreas del avión Gulfstream II</i>	24
Tabla 2 <i>Especificación de los datos del motor Rolls-Royce</i>	43
Tabla 3 <i>Límites de la temperatura</i>	44
Tabla 4 <i>Identificación de tipos de las termocuplas</i>	57
Tabla 5 <i>Rango temperaturas de los partes de una termocupla tipo k</i>	59
Tabla 6 <i>Identificación del diagrama esquemático de la termocupla</i>	68
Tabla 7 <i>Herramientas y equipos</i>	79
Tabla 8 <i>Los valores de la resistencia de la termocupla</i>	82
Tabla 9 <i>Los datos de TGT</i>	86
Tabla 10 <i>Datos de la resistencia de los cables de un circuito</i>	102
Tabla 11 <i>El resultado de la resistencia</i>	104
Tabla 12 <i>Los datos resultantes de la resistencia de TGT</i>	114
Tabla 13 <i>Valores de resistencia del cable del circuito de la termocupla</i>	116
Tabla 14 <i>Los datos de la temperatura del gas de la turbina TGT</i>	118

Índice de figuras

Figura 1 <i>Dimensión y áreas del avión Gulfstream II</i>	26
Figura 2 <i>Eolípila de Herón de Alejandría</i>	27
Figura 3 <i>Principios de funcionamiento de un motor a reacción</i>	28
Figura 4 <i>Esquema de los ciclos del motor a reacción</i>	30
Figura 5 <i>La entrada de aire o toma de aire</i>	32
Figura 6 <i>El compresor centrífugo con sus partes.</i>	33
Figura 7 <i>Las partes de un estator.</i>	35
Figura 8 <i>Cámara de combustión</i>	36
Figura 9 <i>La sección de una turbina conformada de los discos y alabes</i>	37
Figura 10 <i>Tobera de escape de un motor a reacción</i>	40
Figura 11 <i>La caja de accesorios de un motor a reacción</i>	41
Figura 12 <i>Motor Rolls-Royce Spey 511-8</i>	42
Figura 13 <i>Indicador de sistema de termocupla</i>	46
Figura 14 <i>Equipo de prueba de temperatura de gas de la turbina</i>	47
Figura 15 <i>Las termocuplas utilizadas en los motores a reacción</i>	48
Figura 16 <i>Sistema de una termocupla</i>	50
Figura 17 <i>Partes de una termocupla</i>	52
Figura 18 <i>Cable de una termocupla</i>	53
Figura 19 <i>Terminales de una termocupla</i>	54
Figura 20 <i>Los conectores de una termocupla</i>	55
Figura 21 <i>Sondas de una termocupla</i>	56
Figura 22 <i>Identificación de los colores de los cables de las termocuplas</i>	58
Figura 23 <i>Termocupla conectada a tierra</i>	60

Figura 24 <i>Termocupla sin conexión a tierra</i>	61
Figura 25 <i>Termocupla expuesta</i>	62
Figura 26 <i>El generador de indicación</i>	64
Figura 27 <i>Interruptor de sobrecalentamiento del motor Rolls-Royce Spey 511-8</i>	66
Figura 28 <i>Diagrama Esquemático del sistema de termocupla</i>	69
Figura 29 <i>Termocupla del modelo Pre-Mod 4838</i>	71
Figura 30 <i>Termocupla Pre-Mod 4338 de tipo RS-180-1</i>	72
Figura 31 <i>Equipo de prueba</i>	76
Figura 32 <i>El multímetro</i>	77
Figura 33 <i>EL lastre (ballast)</i>	78
Figura 34 <i>Verificación de la resistencia de la termocupla</i>	81
Figura 35 <i>EL equipo de prueba de TGT</i>	84
Figura 36 <i>Revisión general de la documentación técnica</i>	90
Figura 37 <i>Motor del avión Gulfstream II</i>	91
Figura 38 <i>Colocación de la escalera hidráulica</i>	92
Figura 39 <i>Conexión de la fuente de la alimentación a la aeronave</i>	92
Figura 40 <i>Retiro de los seguros del cowlings del motor Rolls-Royce Spey 511-8</i>	93
Figura 41 <i>Deslizamiento de las capotas del motor</i>	93
Figura 42 <i>Inspección general del motor Rolls-Royce Spey 511-8</i>	94
Figura 43 <i>Desconexión de los bornes de la caja de conexión</i>	94
Figura 44 <i>Retiro de los tapones de la caja de conexiones de las termocuplas</i>	95
Figura 45 <i>Retiro e inspección visual de las clavijas eléctricas de los indicadores</i>	95
Figura 46 <i>Identificación los números de las termocuplas del motor Rolls-Royce</i>	96
Figura 47 <i>Calibración del multímetro en ohmios</i>	98
Figura 48 <i>Medición de la resistencia del control del circuito del cable</i>	99

Figura 49 Colocando sobre los pines o terminales de las termocuplas las agujas del multímetro.	100
Figura 50 El resultado de la resistencia del cable que equivale a 0.80Ω	100
Figura 51 El dato obtenido de la resistencia de control del circuito de la caja de conexión.	101
Figura 52 Verificación de datos de la resistencia de los cables de las termocuplas	103
Figura 53 EL equipo de prueba de TGT.	105
Figura 54 Conectando los cables del equipo de prueba a la caja de conexiones de las termocuplas.	106
Figura 55 Cable de extensión señales equipo de prueba y a la caja de conexiones. ...	106
Figura 56 Conectando la fuente de alimentación al equipo de prueba.	107
Figura 57 Conexión del cable de señal de ruta.	108
Figura 58 Conexión del cable de TGT al indicador de prueba.	109
Figura 59 Colocando el interruptor en modo ON para el encendido del equipo.	110
Figura 60 El equipo encendido.	110
Figura 61 Regulación en el equipo de prueba la temperatura dada en el indicador. ...	111
Figura 62 Indicador de TGT temperatura del gas de la turbina la cabina con el dato de $480\text{ }^{\circ}\text{C}$	112
Figura 63 El equipo en acción durante 5 minutos de calentamiento.	112
Figura 64 Chequeo de resistencia de TGT.	113
Figura 65 Obtención del resultado de la resistencia de TGT.	113
Figura 66 Desconexión de los cables de equipo de prueba y apagado.	114
Figura 67 Cierre de las capotas del motor.	115

Resumen

El presente proyecto de titulación detalla todos los procesos que se ejecutó para la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8, de la aeronave Gulfstream II, de acuerdo al programa de mantenimiento, perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), siguiendo los pasos de procedimiento para que se realice en los motores del ciclo Brayton, con la finalidad de verificar y mantener el conjunto de termocuplas en condiciones operacionales y a su vez que permite obtener los parámetros de temperatura del motor en los indicadores de T.G.T. así mismo, en el capítulo I, se especifica los antecedentes, planteamiento del problema, justificación, objetivos y el alcance para ejecución del presente proyecto de titulación, mientras tanto, en el capítulo II, se detalla el enfoque relacionado al marco teórico que básicamente es toda la información técnica de la aeronave Gulfstream II, referente a la planta motriz, sistema de indicación, conjunto de termocuplas, funcionamiento de las herramientas utilizadas en el momento de realizar una inspección, además, en el capítulo III, se describe el desarrollo que se realizó para ejecutar la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8, finalmente en el capítulo IV, se especifica las conclusiones, recomendaciones del presente proyecto, glosario, abreviaturas y los anexos de la forma más específica.

Palabras claves:

- **TERMOCUPLAS**
- **INSPECCIÓN - TERMOCUPLA**
- **CICLO - TERMOCUPLA**

Abstract

This qualification project details all the processes that were executed for the inspection of the thermocouple set of the Rolls-Royce Spey 511-8 engine, of the Gulfstream II aircraft, according to the maintenance program, belonging to the Ecuadorian Air Force (FAE).), following the procedural steps to be carried out on Brayton cycle engines, in order to verify and maintain the set of thermocouples in operational conditions and at the same time to obtain the engine temperature parameters in the TGT indicators as well. The same, in chapter I, the antecedents, problem statement, justification, objectives and scope for execution of this degree project are specified, meanwhile, in chapter II, the approach related to the theoretical framework is detailed, which is basically all the technical information of the Gulfstream II aircraft, referring to the engine screen, indication system, thermocouple assembly, operation of the e the tools used at the time of carrying out an inspection, in addition, in chapter III, the development that was carried out to execute the inspection of the set of thermocouples of the Rolls-Royce Spey 511-8 engine is described, finally in chapter IV, the conclusions, recommendations of this project, glossary, abbreviations and annexes are specified in the most specific way.

Keywords:

- **THERMOCUPLES**
- **INSPECTION - THERMOCUPLES**
- **CYCLE - THERMOCUPLES**

Capítulo I

1. Planteamiento de investigación

1.1. Antecedente

El Ala de Transportes Nro. 11, es una Unidad Operativa de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, ubicado en Cantón Latacunga en la Provincia de Cotopaxi, cuenta con 10 aeronaves que proporciona el apoyo de operación para brindar los servicios de: transporte de carga, lanzamiento de paracaidistas, transporte de pasajeros entre otros, convirtiéndose en la única alternativa como medio de transporte aéreo a diferentes lugares del país para el desarrollo socio – económico.

El Ala de transporte Nro. 11, tiene el privilegio de realizar varias tareas mantenimiento de las diferentes flotas de aeronaves que cuenta, como son: Boeing 737-200, Hércules C-130, Cazas, Twin Otter y Gulfstream II, donde se realiza inspecciones programadas, no programadas, correctivas, tareas técnicas de los sistemas de la aeronave, fuselaje, motor y reparaciones de los componentes, ya que cuentan con el personal de infraestructura y calificada en área de mantenimiento de una aeronave.

1.2. Planteamiento del problema.

El mal funcionamiento del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8 de la aeronave Gulfstream II, conlleva a indicaciones erróneas en los indicadores que se encuentra en la cabina, indicación que proporciona la temperatura de los gases que sale de la cámara de combustión e ingresan a sección de la turbina.

Los alabes de la turbina al estar expuestos a temperaturas críticas pueden ocasionar que los mismos sufran daños internos y externos como son deformaciones hasta rupturas provocando un colapso general del motor.

1.3. Justificación e Importancia

Las inspecciones programadas de acuerdo a lo especifica los manuales de mantenimiento permite mantener los sistemas del avión en condiciones de aeronavegabilidad, es así que el sistema del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8, debe de realizarse cada 24 meses a fin de obtener datos exactos de la condición de la temperatura de los gases que opera el motor en la sección de la turbina.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Inspeccionar el conjunto de termocuplas del motor Rolls Royce Spey 511-8, de acuerdo al manual de mantenimiento cap. 77-21-00, aplicable a la aeronave Gulfstream II perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información técnica del motor Rolls-Royce Spey 511-8, aplicable a la aeronave Gulfstream II.
- Adquirir equipos y herramientas para realizar la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce 511-8.
- Ejecutar la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls Royce Spey 511-8.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8.

1.5. Alcance

El presente proyecto está encaminado a la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8, con el objetivo de mantener la aeronavegabilidad del avión Gulfstream II.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Descripción de la aeronave Gulfstream II

2.1.1. Generalidades

La aeronave Gulfstream II es un avión comercial bimotor de turbojet, fabricado en Estados Unidos en el año de 1979, es de ala baja, además es un avión de categoría transporte con capacidad de 22 pasajeros, lo cual es diseñado específicamente presurizado para la operación en todo clima que alcanza los 43000 pies de altura.

2.1.2. Dimensiones, áreas y especificaciones de la aeronave Gulfstream II

En la siguiente tabla y en figura se muestra las especificaciones generales del avión Gulfstream II:

Tabla 1

Dimensiones y áreas del avión Gulfstream II

Dimensión y especificaciones de la aeronave Gulfstream II	
Especificación	Descripción
Fabricante	Grumman Gulfstream-Estados Unidos
Modelo	G1159
Año de construcción	1979
Tripulación	Dos personas.

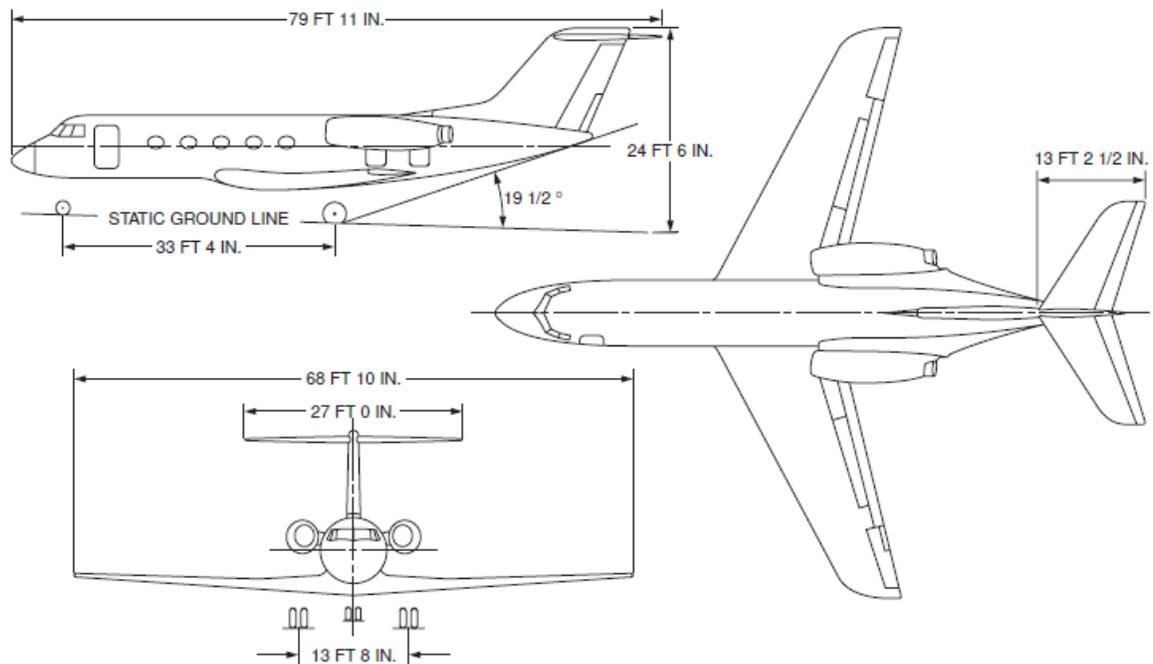
Dimensión y especificaciones de la aeronave Gulfstream II

Especificación	Descripción
Pasajeros	19 personas de acuerdo al modelo de la fabricación
Longitud de las aeronaves	24,36 m
Envergadura	20,98 m (dependiendo de la versión)
Altura del plano	7,47 m
Peso de vacíos de aeronave	16576 kg (13145 kg: carga útil)
Peso máximo de despegue	29711 kg
Velocidad de crucero	778 km \ h
Distancia máxima de vuelo	6635 km
Velocidad máxima del vuelo	936 km \ h
Altura máxima de vuelo	3715 m
Planta motriz	Turbojet
Numero de motores	2 motores.
Tipo de aeronave	Bimotor de Ala baja

Nota: En tabla se puede apreciar la dimensión, áreas y especificaciones de la aeronave Gulfstream II, Tomado de: (Avia.Pro, 2015)

Figura 1

Dimensión y áreas del avión Gulfstream II



Nota: El gráfico representa repeseta las dimensiones y Áreas del avión Gulfstream II. Tomado de (MANUAL, 2004)

2.2. Introducción de los motores a reacción

Los motores de reacción pueden ser datados desde el siglo I, cuando Herón de Alejandría inventó la eolípila, el equipo está constituida por una cámara de aire, con tubos curvos por donde es expulsado el vapor dirigido a través de dos salidas, para conseguir que una esfera gire rápidamente sobre uno de sus ejes, de acuerdo a la siguiente figura se puede apreciar de los principios del invento de la eolípila.

Figura 2

Eolípila de Herón de Alejandría



Nota: El gráfico representa el Eolípila de Heron de Alejandría. Tomado de (Yébenes, Motor a reacción, 2020)

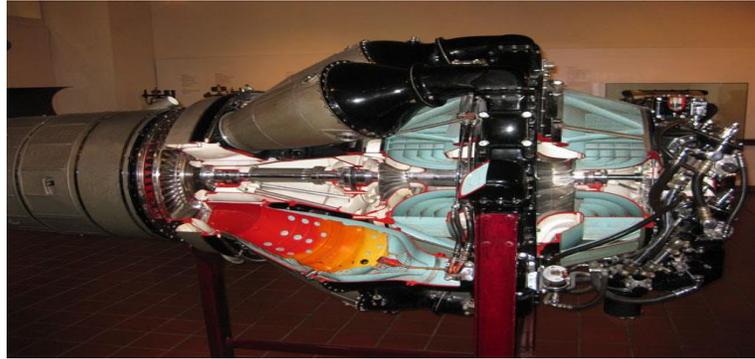
Cuando se realizó los primeros intentos de la fabricación de motores a reacción fue llamado como “termorreactor” por lo que se utilizaba el aire comprimido por la hélice para provocar empuje necesario, usualmente con la aplicación de la tercera ley de Newton que fue otorgado en el año 1917, con sus respectivas limitaciones en el diseño.

2.3. Principios de funcionamiento de un motor a reacción

El funcionamiento principal de un motor a reacción consiste en una compresión del flujo de aire, una combustión a presión constante y una expansión, lo que permite el flujo de aire salga con una velocidad mayor respecto a la de entrada. Principalmente atrae una gran cantidad de aire para producir o proporcionar a velocidad al empuje de una aeronave durante la operación, en la siguiente figura se puede observar un motor a reacción.

Figura 3

Principios de funcionamiento de un motor a reacción



Nota: El gráfico representa el funcionamiento del motor. Tomado de (Yebeles, 2020)

Además, un motor a reacción cumple con un mecanismo relativamente que realiza la quema de aire-combustible y diseñado de tal forma que los gases resultantes generen mayor empuje a la planta motriz, que generalmente es basada en la tercera ley del Newton del ciclo Brayton, que se dividen en cuatro etapas del proceso son las siguientes: admisión, compresión, combustión y expansión.

2.3.1. Admisión

En la sección de la admisión del motor ingresa el aire frío a presión atmosférica en la entrada del compresor lo que permite conducir el aire al núcleo del motor, es decir, el aire que ingresa introduce a los etapas de los compresores con la finalidad de comprimir el aire, además, hay dos conductos principales que son los siguientes: subsónico y supersónico, lo cuales son muy primordiales capaces de disminuir la velocidad de aire que ingresa hasta 0.5 a 0.6 mach con el objetivo de no dañar el componente de los compresores.

2.3.2. Compresión

En esta fase, el aire comprimido se dirige hacia las cámaras de combustión, tomando en cuenta que el aire aumenta su presión, temperatura y disminuye su velocidad. Con el objetivo de conseguir alta derivación de compresión que se aumentará la eficiencia térmica y disminuirá el consumo específico de combustible (SFC). (Vilajosana, 2011)

2.3.3. Combustión

En la cámara combustión realiza la mezcla del aire-combustible, por lo que se incrementa la temperatura, volumen y la presión se mantiene, además, el flujo de aire que sale del compresor se procede a conducir a través de un escalón del estator, que básicamente disminuye la velocidad del flujo de aire.

En lo general un motor a reacción utiliza 60 partes de aire que ingresa por cada parte, es decir, el 25% del aire que ingresa a la parte inferior del motor se combustiona mientras tanto los 75% no se quema, el cual se lo utiliza para refrigeración de la parte superficial de la cámara.

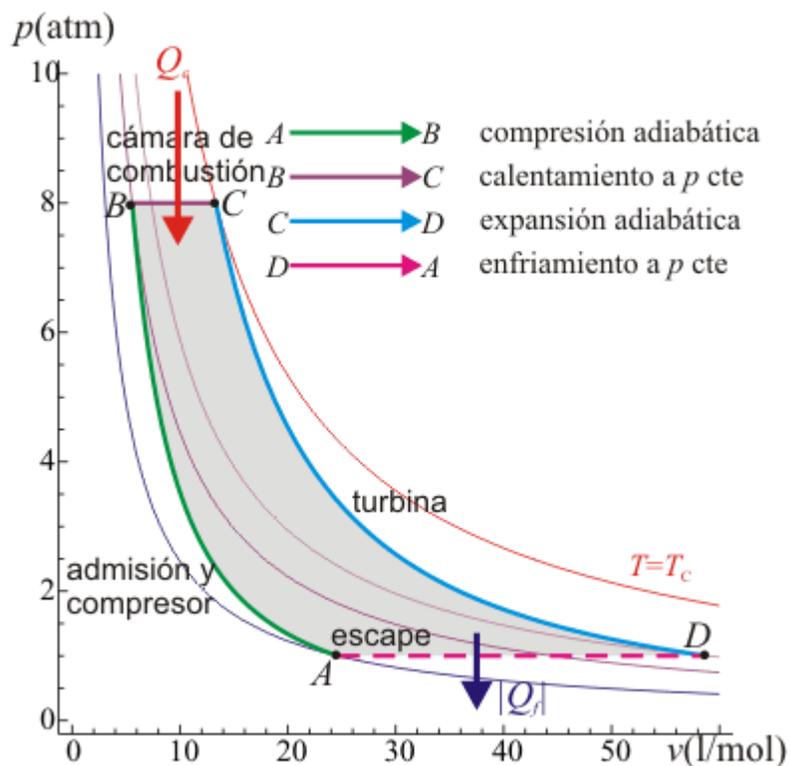
2.3.4. Expansión

En esta sección el aire caliente sale con una presión alta por la turbina, por lo tanto, aumenta el volumen, presión y la temperatura disminuye.

En la siguiente figura se puede apreciar el diagrama esquemático de los ciclos de un motor a reacción.

Figura 4

Esquema de los ciclos del motor a reacción



Nota: El gráfico representa el esquema de las etapas de un motor a reacción en el Ciclo Brayton. Tomada de (Ciclo-Brayton, s.f.)

2.4. Partes de un motor a reacción y su función

Los principales componentes de un motor a reacción son similares, la diferencia de acuerdo al diseño y tipo de motor que se fabrica, por lo general las partes principales incluyen los siguientes partes:

- Entrada o toma de aire
- Compresor o Fan

- Eje
- Cámara de combustión
- Turbina
- Tobera de escape.

2.4.1. Entrada o toma de aire

La entrada de aire permite conducir la masa de aire a los compresores con una mínima pérdida de energía resultante de la presión de arrastre con alta velocidad, además en esta sección se divide en dos partes de flujo, que son los siguientes; el flujo primario y el flujo primario.

- *El flujo primario:* recorre por las ruedas de los compresores y por la cámara de combustión.
- *El flujo secundario:* mientras tanto el flujo secundario da la vuelta al núcleo del motor.

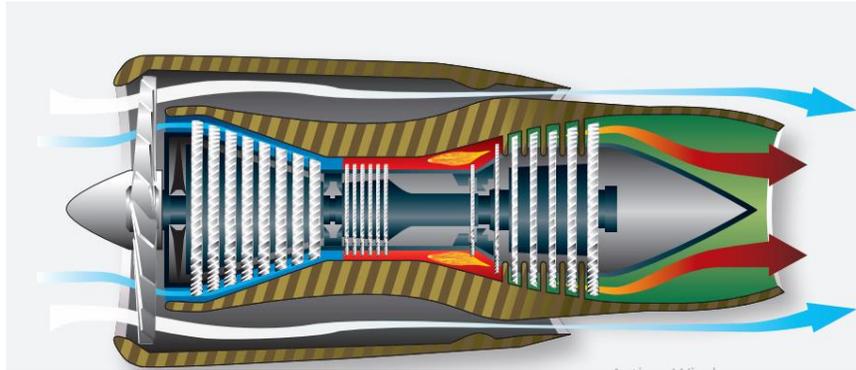
Además, cumple con los tres factores primordiales cuando se conduce todo el aire por el motor:

- La velocidad del compresor (rpm)
- La velocidad de avance de la aeronave.
- La densidad del aire ambiente (circundante)

En la siguiente figura se puede identificar en un motor turbofán el flujo de aire que divide en dos partes principales.

Figura 5

La entrada de aire o toma de aire



Nota: El gráfico representa se muestra la toma de aire del motor. Tomado de (Handbook, Entrada de Aire, 2018)

2.4.2. Los compresores

Los compresores están ubicados detrás de la toma de aire, la función que cumple es comprimir el aire lo cual aumenta la presión de aire antes de ingresar a la cámara de combustión, por lo tanto se dividen en dos partes:

- Compresores centrífugos
- Compresores axiales.

Compresores centrífugos

Que pueden ser de 3 a 4 etapas dependiendo la fabricación de cada motor, desde luego aquí se comprime el aire desde el núcleo o central del motor hacia el exterior a 90°.

El aire fluye hacia el difusor (formado por palas divergentes) que recoge el flujo de aire tangencial que sale da el rotor. La presión incrementa y la velocidad disminuye.

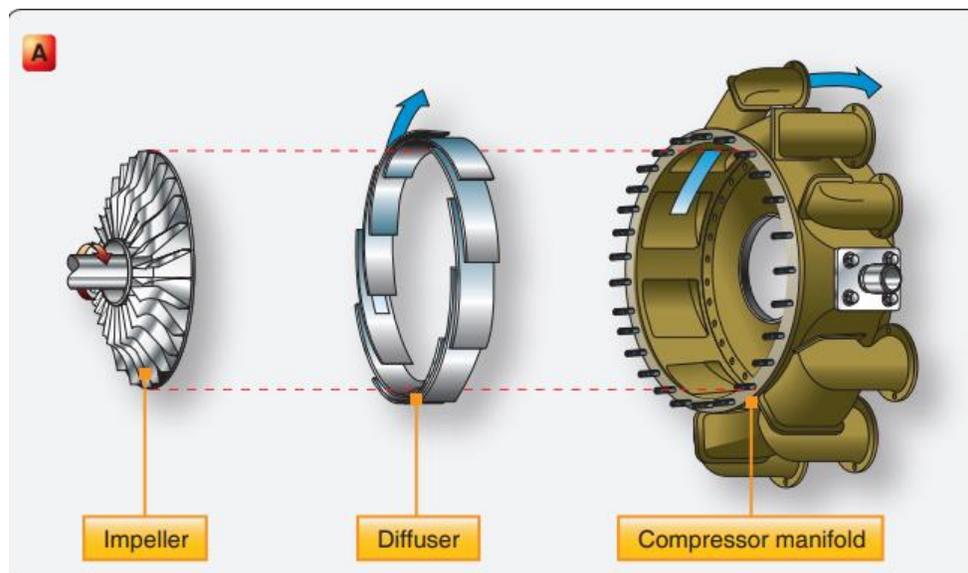
Este aire del difusor cambia 90° y se introduce en la cámara de combustión, el incremento de presión se realiza en dos porcentajes:

- 50% en el rotor
- 50% en el difusor (Valbona, 2011)

En la siguiente figura se aprecia los componentes principales del compresor centrífugo.

Figura 6

El compresor centrífugo con sus partes.



Nota: El gráfico representa el compresor centrífugo con sus respectivas partes. Tomada de (Handbook, Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1, 2018)

También en la actualidad para la fabricación de los discos y los alabes de la turbina se utiliza una aleación muy resistente a la fricción que sufre durante la compresión del aire que consiste en metalurgia en polvo.

Compresores axiales:

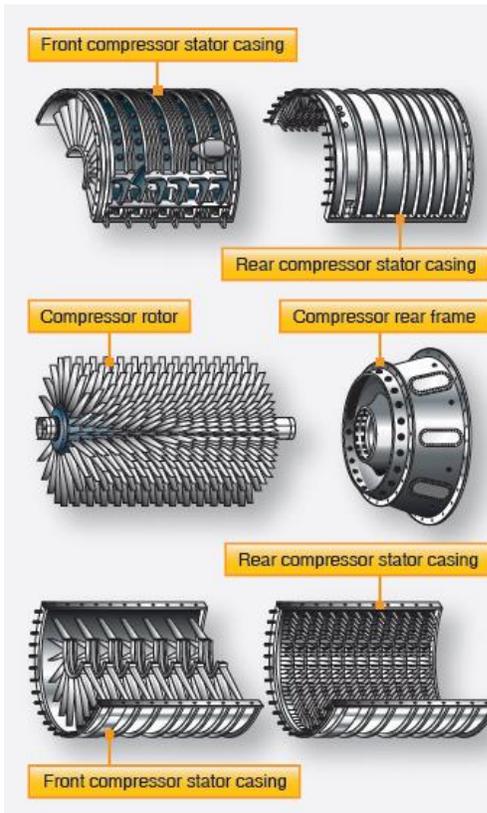
Los compresores de flujo axial consisten dos elementos principales los cuales son siguientes; un rotor y un estator.

- El rotor: Básicamente tiene las palas fijadas, ya que estas palas envían el aire hacia atrás a través de una hélice debido a su ángulo y de la forma aerodinámica.
- Estator: conforma de una serie de paletas, la función primordial de las paletas del estator es recibir el aire atmosférica que ingresa, con la finalidad de aumentar la presión del aire y enviar con la velocidad y presión correcta a la cámara de combustión.

En la siguiente figura se puede identificar los elementos de estator de un compresor de flujo axial

Figura 7

Los partes de un estator.



Nota: El gráfico representa a las partes de compresor Tomada de (Faa-Handbook, 2018)

2.4.3. Cámara de combustión

En esta sección se permanece el proceso de combustión, que eleva la temperatura del aire que pasa por el motor y libera la energía contenida en la mezcla de aire / combustible, es decir, aproximadamente $\frac{2}{3}$ de la energía que se utiliza para impulsar las etapas del compresor. Mientras tanto otra parte de la energía es utilizada para impulsar el ventilador.

Además, dentro de la cámara de combustión, durante la compresión aumenta la presión y la temperatura hasta 600°C cuando ingresa a la cámara de combustión y la chispa se puede llegar hasta los 2000°C . Al salir el aire se refrigera hasta los $1000 - 1500^{\circ}\text{C}$ para no dañar los discos y álabes de la turbina.

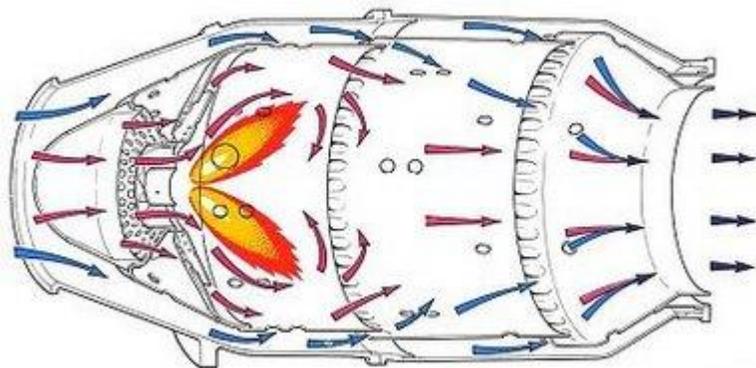
En la actualidad existe tres tipos de cámaras que son muy utilizado en la aviación en los motores a reacción que son los siguientes:

- Tipo can-anular
- Tipo Can
- Tipo anular

En la siguiente figura se muestra una cámara de combustión en proceso de combustión.

Figura 8

Cámara de combustión



Nota: El gráfico representa una cámara de combustión de un motor a reacción. Tomada de (Combustion, s.f.)

2.4.4. Turbinas

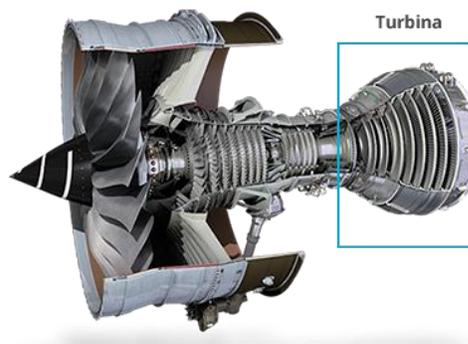
Las turbinas son aquellos órganos principales que están fabricados de un material altamente resistente para altas temperaturas, de igual forma acoplados de los alabes móviles que permiten realizar la función de la turbina es convertir la de presión y la cinética del aire para una transferencia de la energía mecánica para convertir en energía cinética.

El único propósito de la turbina del generador de gas debe absorber aproximadamente 60% al 70% de la energía de presión total del escape de gases, por lo tanto, la temperatura máxima de una turbina puede soportar 1700°C que es una cantidad exacta de energía absorbida en la turbina es determinada por la carga que impulsa la turbina, por lo general hay dos tipos de turbina como lo indica en la siguiente figura:

- Centrífugas
- Axiales

Figura 9

La sección de una turbina conformada de los discos y alabes.



Nota: En el gráfico se identifica la sección de una turbina. Tomada de (Turbinas, s.f.)

Además, los discos de la turbina son desarrollado de la aleación de metalurgia en polvo que se utilizó para crear el disco de la turbina por lo cual, los discos y los alabes de la turbina, para la fabricación se realizan copias de las hojas vertiendo una cera en moldes de metal. luego se retira del molde y se interseca en un baño de lechada de cerámica, formando una capa de cerámica de aproximadamente 0,25 pulgadas (0,63 centímetros) de espesor.

El uso de la fibra de carbono también muy importante porque los alabes de la turbina están sometidas a mucha tensión, por lo que están alineado para menos posibilidad de fractura en operación en altas temperaturas. El proceso de solidificación se lleva a cabo en hornos controlados por un mecanismo computarizado en los que las cuchillas se calientan cuidadosamente de acuerdo con especificaciones precisas.

Por lo general se requiere los materiales muy resistentes los cuales son los siguientes para la fabricación:

- Acero
- Superaleaciones
- Metalurgia en polvo
- Acero

Son las primeras aleaciones que utilizaban para las construcciones, lo cual se reemplazaron con la aleación de Ni.

Superaleaciones:

Bueno básicamente hoy en la actualidad es muy utilizado con mezcla de varias aleaciones como: Titanio, cromo, níquel, tungsteno, para pueda soportar a altas temperaturas que sobre pasa de 1100° a 1450 °C.

Metalurgia en Polvo:

Este tipo de material básicamente es más utilizado en la actualidad por su mayor eficaz de la resistencia a altas temperaturas.

2.4.5. Tobera de escape

La tobera escape se destina para direccionar los gases producida en la cámara de combustión hacia la parte posterior del motor con la finalidad de prevenir la turbulencia y, al mismo tiempo, surgir una velocidad alta al final o salida de los gases provocadas en la sección de combustión y turbina produciendo el ultimo expansión del chorro del gas en una dirección requerida para estabilizar que el gas salga en forma paralela en menos desviación posible.

En la entrada del sistema de expulsión la temperatura es de 550 a 850°C pudiendo llegar hasta 1500°C. El aire deja la turbina con una velocidad entre 750 a 1250 ft/s (Mach 0.5). (VALLBONA, 2011)

Una tobera de un motor y los posquemadores del sistema de escape están moldeados de titanio, mientras que el conducto exterior y la góndola (la carcasa del motor) están formados por Kevlar. Una vez que estos tres componentes se han soldado en un subconjunto, todo el motor está listo para ensamblarse. (jet Engine, 2021)

Figura 10

Tobera de escape de un motor a reacción



Nota: El gráfico representa una tobera de escape de un motor a reacción tomado de (ITP-AERO, s.f.)

2.4.6. Spool

Spool es un conjunto de un compresor más eje y turbina, son los tres componentes primordiales que permite que un motor opere de una manera eficaz.

2.4.7. Caja de accesorios

La caja de accesorios o la sección de accesorios del motor de un motor a reacción tiene varias funciones. La función principal es proporcionar espacio para el montaje de los accesorios necesarios para el funcionamiento y control del grupo motriz, además, incluye accesorios relacionados al sistema de la aeronave, como los generadores eléctricos, bombas hidráulicas, cárter de aceite, los engranajes impulsores de los accesorios y los engranajes reductores. Según como lo indica en la siguiente figura.

Figura 11

La caja de accesorios de un motor a reacción



Nota: El gráfico representa la caja de accesorios que contempla un motor tomado de (Valencia, 2018)

2.5. Descripción del motor Rolls Royce Spey 511-8

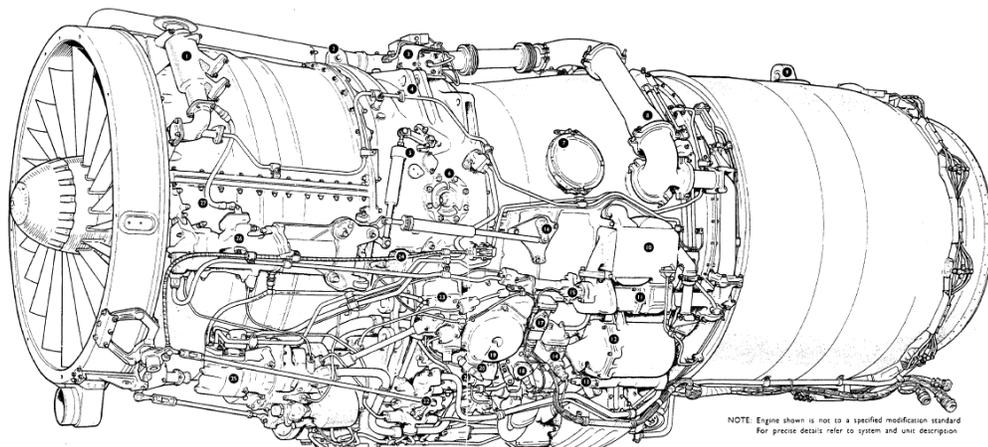
Es un motor turboreactor de derivación compuesto por un compresor de baja presión (LP) de flujo axial de cinco etapas y un compresor de alta presión (HP) de flujo axial de doce etapas, de alto by-pass con dos compresores de flujo axial que cada uno impulsado por su propia turbina a través de coaxiales, de derivación con el aire suministrado por el primer compresor de baja presión se divide en dos flujos, uno que pasa por un conducto para desviar el otro flujo pasa a través del segundo compresor de alta presión de la sección de combustión y de turbinas, entonces ambos flujos se unen en el escape para tener mayor eficacia en operación que permite el uso de temperatura de combustión más altas con fin de obtener energía térmica, es decir, se extrae más energía de los gases de la turbina.

2.5.1. Partes del motor Rolls-Royce Spey 511-8

- Entrada de aire y soporte de cojinete delantero.
- Caja del compresor de baja presión (L.P) que incluye el compresor (L.P)
- Caja intermedia del compresor que incluye la caja de cambio interna y externa.
- Caja de compresor de alta presión que incluye el H.P. compresor.
- Caja difusora
- Sección de combustible
- Sección de turbina
- Conducto de by-pass.

Figura 12

Motor Rolls-Royce Spey 511-8



Nota: En el gráfico se representa el motor Rolls-Spey 511-8 del avión Gulfstream II.

Tomado de (II R.-R. S., 2007)

2.5.2. Especificación del motor Rolls-Royce Spey 511-8

En la siguiente tabla se puede apreciar las especificaciones del motor Rolls-Royce Spey 511-8 de la aeronave Gulfstream II.

Tabla 2*Especificación de los datos del motor Rolls-Royce*

DATOS DEL MOTOR	DESCRIPCIÓN
Tipo de motor	Spey 511-8 de turboreactor de eje simple de flujo axial
El empuje de despegue es	(Estático)
Mínimo garantizado	11400 lbs (5171 kg.)
Dirección de rotación	En sentido antihorario
Proporción de presión	19:1
Relación de derivación	0.70:1
Diámetro máximo del motor	53 plg (135 cm)
Longitud total	115 pulgadas (292 cm)
Peso del motor en seco	2627 lbs (1192 kg)
Centro de gravedad	21 pulg, (54 cm)
Compresor	Flujo axial de 16 etapas
Cámara de combustión	Anular- flujo recto
Turbina	Una turbina de baja
Tubo de chorro	Cono

Nota: La tabla muestra los datos específicos del motor Rolls Royce Spey 511-8.

Tomado de (II R.-R. S., 2007)

2.5.3. Límite de operación

Tabla 3

Límites de la temperatura

Temperatura del gas de la turbina TGT	Spey 511-8
Temperatura máxima durante arranque en tierra	570 °C
Temperatura máxima durante el reencendido	570 °C
Temperatura máxima de despegue	585°C
Máxima para aproximación y ralentí en tierra	540°C
Temperatura Máximo con empuje inverso seleccionado	580 °C
Sobretemperatura máxima	610 °C 615
Temperatura máxima momentánea durante la aceleración	595 °C (2)

Nota: Esta tabla muestra los límites de operación del motor Rolls-Royce Spey 511-8.

Tomado de (KG, 2017)

2.6. Sistema de indicadores del motor

Los indicadores son muy importantes para visualizar las condiciones de la operación de un motor, que constituye el control adecuado para garantizar la seguridad durante el vuelo, por lo cual, el piloto, copiloto y el tripulante de vuelo o mecánico de vuelo controla una serie de instrumentos durante la operación de la aeronave para que no haya algunas fallas técnicas en los sistemas de avión.

Así mismo cumple con ciertos parámetros en este caso el funcionamiento correcto del motor ya que esta tarea se lo realiza con sus respectivos componentes que

están instalados en toda el área del motor o en otras áreas de la aeronave con la finalidad de mantener informado en la cabina a través de las instrumentaciones o indicadores.

Además, los instrumentos principales de un motor a reacción son los siguientes indicadores:

- Relación de presión del motor (EPR).
- Temperatura de los gases de escape (EGT)
- RPM (indicador simple o doble, según que exista un solo compresor o doble compresor) (N1, N2)

2.6.1. Medidor de temperatura del motor

En la aviación los indicadores de temperatura son muy primordiales para proporcionar la indicación de la condición de operación del motor, por ende, cuenta con los siguientes indicadores:

- Temperatura de los gases de escape (EGT)
- Temperatura intermedia de la turbina (TIT)
- (T.A.T. temperatura total del aire y O.A.T temperatura de aire de exterior)

2.6.2. Temperatura de los gases de escape (EGT)

Suele encargarse a medir y registrar los datos de la temperatura de los gases de escape de un motor durante la operación, por lo tanto, estos datos se identifican en los indicadores de la planta motriz con el propósito de verificar las condiciones de la expulsión de los gases de escape, con fin de prevenir la pérdida de viscosidad de aceite y deformaciones de las partes de la turbina.

En la siguiente figura se muestra un indicador de temperatura que envía la señal de una termocupla que se encuentra instalada en la salida de la turbina del motor.

(Guide A. , Aircraft Temperature Measuring Instruments, 2017)

Figura 13

Indicador de sistema de termocupla



Nota: El gráfico representa a un indicador de temperatura del gas de la turbina. Tomado de (Guide A. , Thermocouple Temperature Indicators, 2017)

2.6.3. El error de indicación del circuito de temperatura de gas de escape (EGT)

En los indicadores el error del circuito de temperatura del gas de la turbina se presenta cuando no proporciona los datos exactos de la temperatura de sistema de termocuplas que se encuentra montadas en parte superior del motor, en la siguiente

figura se puede apreciar el equipo tester que permite verificar los datos de la temperatura de las termocupas del motor.

Figura 14

Equipo de prueba de temperatura de gas de la turbina



Nota: El gráfico indica un equipo de prueba de EGT. Tomado de (Calibration, 2017)

Los datos de la resistencia de un circuito de la termocupla es un ajuste muy importante en los motores de turbina, ya que, la condición de alta resistencia envía la señal a un indicador en bajas temperaturas. Esta condición es peligrosa, porque el motor está operando con exceso de temperatura, pero la alta resistencia hace que el indicador lea bajo. Es importante verificar y corregir esta condición.

2.6.4. Temperatura intermedia de la turbina (TIT)

El sistema de TIT, se encarga de medir la temperatura formada en el interior de las turbinas, por lo tanto, el sistema de indicador de TIT, genera una indicación visual en el panel de instrumentos de la cabina de la temperatura de los gases que ingresa a la turbina de un motor. Para proporcionar los datos en el panel del instrumento se

identifica a través de las termocuplas que están instaladas alrededor de la salida de gases de escape con el voltaje promedio que representa el TIT.

2.6.5. Temperatura de aire T.A.T y temperatura del aire de exterior O.A.T

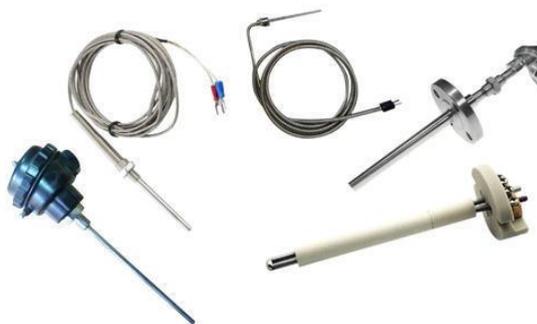
Estos dos sistemas son las que censan la temperatura del medio ambiente durante la operación de la planta motriz de la aeronave en vuelo.

2.7. Introducción de termocuplas

Una termocupla es un sensor que mide la temperatura. Consiste en dos tipos diferentes de metales, unidos en un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría, se crea un voltaje que puede correlacionarse con la temperatura. Una termocupla es un sensor de temperatura simple, robusto y rentable que se utiliza en una amplia gama de procesos de medición de temperatura a motores a reacción, en la siguiente figura se puede identificar varias termocuplas que suelen ser utilizadas en los motores a reacción.

Figura 15

Las termocuplas utilizadas en los motores a reacción



Nota: El gráfico representa a las termocuplas de un motor a reacción. Tomado de (termopares, s.f.)

2.7.1. Sistema de funcionamiento de una termocupla de un motor a reacción

Una termocupla es un dispositivo que sirve para medir la temperatura, por lo tanto, un termopar es un circuito o conexión de dos metales diferentes. Por lo general los metales de la termocupla se tocan en dos uniones separadas, estas uniones se calientan a una temperatura más alta que la de otra, de lo cual, se produce una fuerza electromotriz en el circuito o conocido como efecto de seebeck (producción de electricidad a partir del contacto entre dos metales diferentes.)

El sistema de advertencia de incendio por la termocupla funciona con un principio completamente diferente al del sistema de interruptor térmico. Una termocupla depende de la tasa de aumento de temperatura y no emite una advertencia cuando un motor se sobrecalienta lentamente o se produce un cortocircuito. (GUIDE, s.f.) El sistema consta de una caja de:

- Relés
- Luces de advertencia
- Termocupla

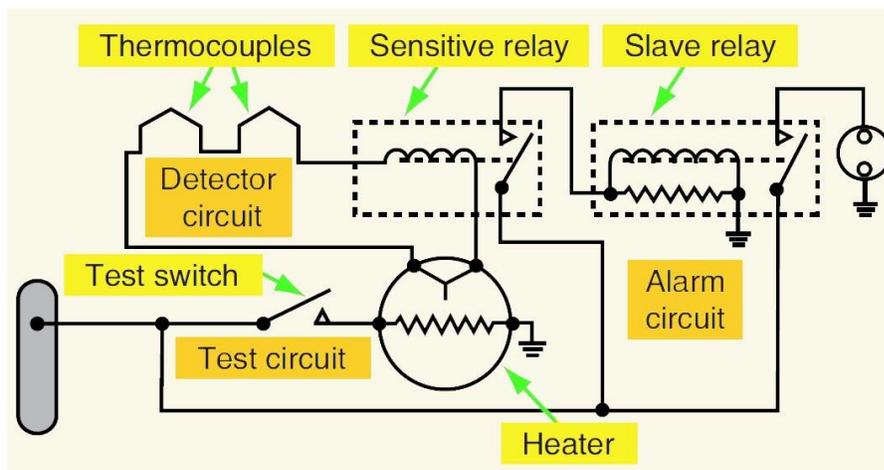
Mientras tanto el sistema de cableado de estas unidades puede dividirse en los siguientes circuitos:

- El circuito detector
- El circuito de alarma
- El circuito de prueba. (GUIDE, s.f.)

Estos circuitos se muestran en la siguiente figura:

Figura 16

Sistema de una termocupla



Nota: El gráfico representa un sistema de una termocupla con sus respectivos componentes. Recogido de (GUIDE, s.f.)

2.7.2. Funcionamiento del sistema

La caja de relés contiene dos relés, el relé sensible y el relé esclavo, y la unidad de prueba térmica. Tal caja puede contener de uno a ocho circuitos idénticos, dependiendo del número de posibles zonas de incendio. Los relés controlan las luces de advertencia. A su vez, los termopares controlan el funcionamiento de los relés. El circuito consta de varios termopares en serie entre sí y con el relé sensible. (GUIDE, s.f.)

2.7.3. Potencial electrostático en metales

En metales normales, si hay una diferencia de temperatura entre dos puntos cualesquiera del metal, habrá una diferencia de potencial electrostático, siempre que no se permita que fluya corriente eléctrica entre los dos puntos. Esta diferencia es

proporcional a la diferencia de temperatura entre los dos puntos. (PROS, 2007)

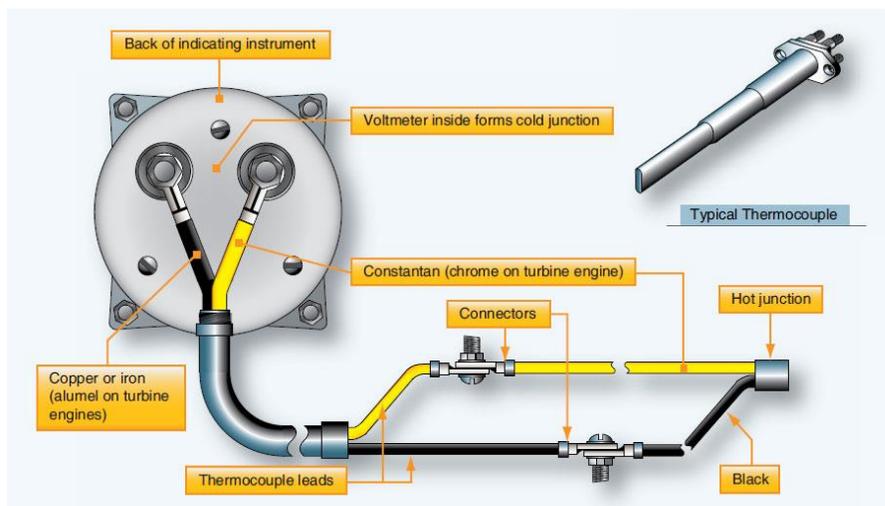
2.7.4. Longitud de una termocupla

La longitud del componente es muy primordial en lo que se va utilizar lo cual debe ser lo suficientemente largura para que los efectos de la conducción de calor desde la unión de medición del termopar no dañen a la unión de referencia. (PROS, 2007)

2.8. Partes de una termocupla

Las termocuplas se fabrican en vario diseños de acuerdo en que componente se va utilizar, por lo general, en la aviación se utiliza una termocupla Tipo K lo cual se puede apreciar en la siguiente figura las partes de una termocupla de la siguiente manera:

- Cables de una termocupla.
- Sondas de termocuplas con conectores y terminales
- Sondas de termopar de unión de transición.

Figura 17*Partes de una termocupla*

Nota: El gráfico muestra las partes de una termocupla Tipo K. Tomado de (Guide A. , 2017)

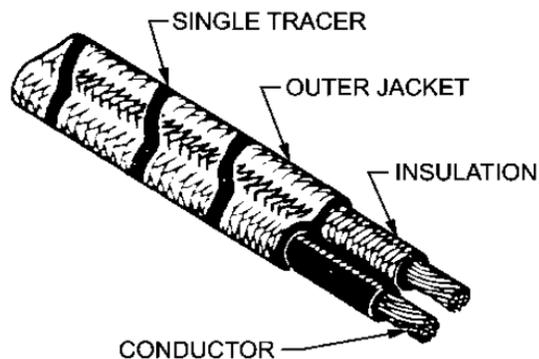
2.8.1. Cables de una termocupla:

Una termocupla está conformada de hilos alrededor de la superficie del cable para mayor soporte a altas temperaturas, por lo tanto, los cables de una termocupla se componen de dos piezas de alambre unida por una soldadura de acuerdo en que se va utilizar las dichas termocuplas. (Bonding)

Los cables de extensión de una termocupla están emparejados en una chaqueta trenzada y codificados por colores, además, el material que utiliza para la fabricación de los cables de extensión es el mismo que el material de una termocupla, que son los siguientes: Iron-Constantán, cromo-aluminio y cobre-Constantán, en la siguiente Figura se aprecia un cable de termocupla con sus respectivas partes. (Bonding)

Figura 18

Cable de una termocupla



Nota: El gráfico representa a los cables de una termocupla Tipo K. Tomado de (Bonding)

2.8.2. Espesor del alambre

El grosor del cable podría afectar el rango de temperatura y la sensibilidad del termopar. Ya que cuanto sea más grueso tienen una vida más larga a temperaturas de operación más altas. (PROS, 2007)

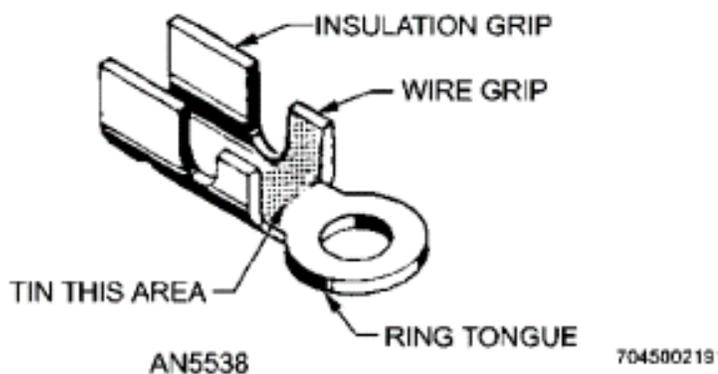
2.8.3. Terminales de una termocupla

Las elecciones de los terminales para cableado de termocuplas son identificadas el punto de ubicación de la parte de la aeronave, por lo tanto, se lo utilizan en tubo Pitot y en las zonas calientes.

Cuando la temperatura no supere los 120 ° C, para identificar los terminales se utiliza, que sean enumerados, letras de guiones y los números si el terminal es simple o tipo cerradura, por lo tanto, en la siguiente figura se puede identificar los terminales de una termocupla. (Bonding)

Figura 19

Terminales de una termocupla



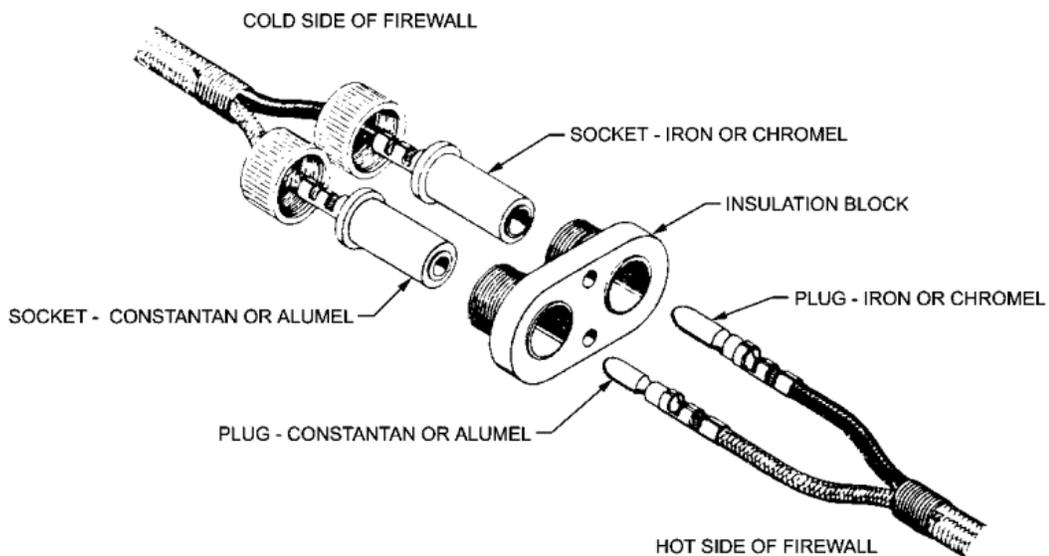
Nota: El gráfico representa a los terminales de una termocupla. Tomado de (Bonding)

2.8.4. Conectores de una termocupla

Mientras tanto los conectores se utilizan para enviar conexiones de una termocupla a través de cortafuegos. Los conectores suelen ser suministrado con una placa aislante para la fijación al cortafuegos y son fabricadas de la aleación de cromo-aluminio o combinación de hierro-Constantán, con el objetivo de soportar a altas temperaturas a gases de escape del motor, en la siguiente figura se puede identificar los terminales de una termocupla (Bonding)

Figura 20

Los conectores de una termocupla



Nota: El gráfico representa a los conectores de las termocuplas. Tomado de (Bonding)

2.8.5. Sondas de una termocupla

La sonda de una termocupla constituye de un alambre instalado en la parte inferior de un tubo metálico. La capa protectora de un tubo está diseñada de los materiales más comunes que incluye el acero inoxidable e Inconel, estos materiales son utilizados para que pueda tener mayor resistencia a altas temperaturas del motor, en la siguiente figura se identifica la sonda de una termocupla: (termocupla, s.f.)

Figura 21

Sondas de una termocupla



Nota: En el gráfico se puede ver una sonda de termocupla hecho de cromo-níquel.

Tomado de (termocupla, s.f.)

2.9. Identificación de los tipos de las termocuplas utilizados en la aviación

Usualmente se identifican de una manera clasificada por sus rangos de temperatura, composición, color, y, por lo tanto, tiene varias combinaciones de metales o calibración para adaptar a diferentes aplicaciones que va ser utilizados. En la siguiente tabla se detalla los tipos de termopares con sus respectivas composiciones.

Tabla 4*Identificación de tipos de las termocuplas*

Tipos de termocuplas más utilizadas				
Tipo	Temperatura mín	Temperaturamáx	Composición	Color
Tipo K	-200°C (-328°F)	1372°C (2502°F)	(Cromo (Ni-Cr) / Alumini0 (aleación de Ni -Al)	Amarillo
Tipo J	-200°C (-328°F)	1200°C (2192°F)	(Hierro / Constantán)	Negro
Tipo T	-200 °C (-328°F)	400°C (752°F)	Nicrosil (Ni-Cr-Si / Nisil (Ni-Si)	Azul
Tipo E	-200°C (-328°F)	900°C (1652°F)	Cromo / Constantán (aleación de Cr-Ni)	Purpura

Nota: La tabla muestra la identificación de una termocupla con sus composiciones y especificaciones del rango de temperatura de resistencia.

2.9.1. Las termocuplas de tipo K

De los cuales la termocupla tipo K o también se conoce tipo probé que es utilizado ampliamente en la aviación, además, es el más conocida por su amplio rango de temperaturas y bajo costo en el mercado.

La termocupla tipo K tiene un conductor positivo de níquel-cromo y un conductor negativo de níquel-aluminio, con rango de temperatura de -200°C a +1372°C. Existen calibraciones tipo R, S, B, G, C y D para alta temperatura que ofrecen un rendimiento de

hasta 2320 ° C. Estos están hechos de metales preciosos (platino / rodio y tungsteno / renio) y por lo tanto son relativamente caros. (OMEGA, s.f.)

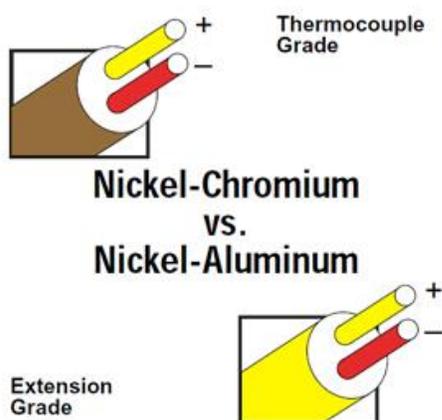
2.9.2. Identificación de los cables de la termocupla tipo K

Para poder distinguir la identificación de los cables se puede visualizar a través de sus composiciones, rango de resistencia de temperatura y por colores de los cables de acuerdo como estos codificados, en la siguiente figura se muestra cómo se puede apreciar la identificación de los cables.

- Níquel-cromo (blanco)
- Níquel-aluminio (verde)
- Hierro (negro)
- Constantan (amarillo)

Figura 22

Identificación de los colores de los cables de las termocuplas



Nota: El gráfico representa la identificación de los cables en codificación de colores.

Tomado de (Thermometrics, Type K Thermocouple (Chromel/Alumel), s.f.)

2.9.3. Rangos de temperatura de la termocupla tipo K

La temperatura eficaz es de -200°C a $+1260^{\circ}\text{C}$ / -328°F a $+2300^{\circ}\text{F}$, en la siguiente tabla se puede observar los rangos de temperatura de partes de un termopar según la clasificación del componente, (Thermometrics, Thermometrics, s.f.)

Tabla 5

Rango temperaturas de los partes de una termocupla tipo k.

Rango de temperatura	
Grados de temperatura de los cables	-454° a 2300° F (-270 a 1260° C)
Grado de extensión del cable	-32° a 392°F (0 a 200°C)
Punto de fusión (estado)	2550°F (1400°C)
Estándar	$\pm 2.2\text{C}\%$ o $\pm 0.75\%$
Limites especiales del error	$\pm 1.1\text{C}$ o 0.4%

Nota: La tabla muestra los rangos de temperatura de sus partes de una termocupla tipo K. (Thermometrics, Thermometrics, s.f.)

Aplicación de termocuplas de tipo K:

En la actualidad suelen ser aplicadas o se emplea para distintas mediciones, como:

- Agua
- Soluciones químicas
- Gases de escape un motor/áreas secas

2.9.4. Uniones de termocuplas de tipo K

Las uniones de las termocuplas de tipo K se considera por diseño y su función que cumple cada uno de ellos por lo general son las siguientes uniones de una termocupla:

- Termocupla conectada a tierra
- Termocupla sin conexión a tierra
- Termocuplas expuestas.
- Las uniones de forma junta y bayoneta

2.9.5. La unión de termocupla conectada a tierra

La termocupla que es conectado a tierra usualmente es muy utilizada cuando los ambos cables de la termocupla son conectada tierra, ya que, permite que el calor se transfiera fácilmente por las sondas de los cables y la señal a los indicadores de una manera eficaz, en la siguiente figura se muestra la unión de la termocupla que se conectado a tierra:

Figura 23

Termocupla conectada a tierra



Nota: El gráfico representa una termocupla que funciona conectado a tierra. Tomada de (Thermometrics, TYPE K THERMOCOUPLE JUNCTIONS, s.f.)

2.9.6. La unión de termocuplas sin conexión a tierra:

Estas termocuplas no suelen ser conectadas a tierra porque sus cables de la termocupla son soldados entre dos metales, pero están aislados de un caucho que protege alrededor de la termocupla. Además, los cables tienen una separación por aislamiento mineral. En la siguiente Figura se aprecia una termocupla sin conexión a tierra, fuente: (Thermometrics, termocuplas, s.f.)

Figura 24

Termocupla sin conexión a tierra



Nota: El gráfico representa las uniones de las termocuplas que no suelen ser conectadas a tierra. Tomada de (Thermometrics, termocuplas, s.f.)

2.9.7. Termocuplas expuestas (o "termocuplas de alambre desnudo")

Una termocupla expuesta es cuando los cables de una termocupla se sueldan y se insertan directamente en el proceso. Ya que las termocuplas expuestas son más propensas a la corrosión y la degradación, en la siguiente figura se muestra una termocupla expuesta. (Thermometrics, termocuplas, s.f.)

Figura 25*Termocupla expuesta*

Nota: La gráfica representa la unión de la termocupla expuesta. Tomada de (Thermometrics, termocuplas, s.f.)

2.9.8. Las uniones de forma junta y bayoneta:

La unión de tipo de junta, se conforma de dos anillos de metales distintos que se presionan juntas para unir una junta que se puede instalar debajo de una bujía o una tuerca de sujeción del cilindro de un motor reciproco. Mientras, del tipo bayoneta, son más primordiales que se utilizan en motor a reacción que va instaladas alrededor del sistema de escape. Por ende, el tipo bayoneta son hechas de los metales que se juntan dentro de un material protectora perforada.

2.10. Generalidades sistema de indicación del motor Rolls-Royce Spey 511-8.

El sistema de indicación del motor Rolls-Royce Spey 511-8 permite dar una indicación de baja presión y alta presión de velocidad del compresor, la temperatura de gases de escape, la señal de temperatura máxima de entrada de la turbina y la condición de sobrecalentamiento del motor, por lo tanto, los indicadores principales del sistema son los siguientes:

- Generador de indicadores de L.P y H.P. R.PM
- Sistema de termocuplas

- Los cables termocupla y del escape
- Termostato de sobrecalentamiento del motor

2.10.1. Generador de indicadores de L.P y H.P. R.P.M.

De acuerdo al manual de mantenimiento del motor Rolls-Royce hay dos generadores idénticos, que son los siguientes:

- Generador de baja presión
- Generador de alta presión

Por lo general las cajas de cambio de un generador se encuentran montado en lado izquierdo (L.P) y el otro en lado derecha (P.H).

2.10.2. El generador de baja presión:

El generador de baja presión está colocado y accionado por la caja de cambios de la parte izquierda proporciona la señal proporcional a la velocidad del eje del compresor de baja presión y también muestra la señal de indicación de rotación del eje sensible a bajos r.p.m. es decir, estas señales se alimentan a la velocidad del compresor de una aeronave indicando con luz de advertencia respectivamente la condición del motor.

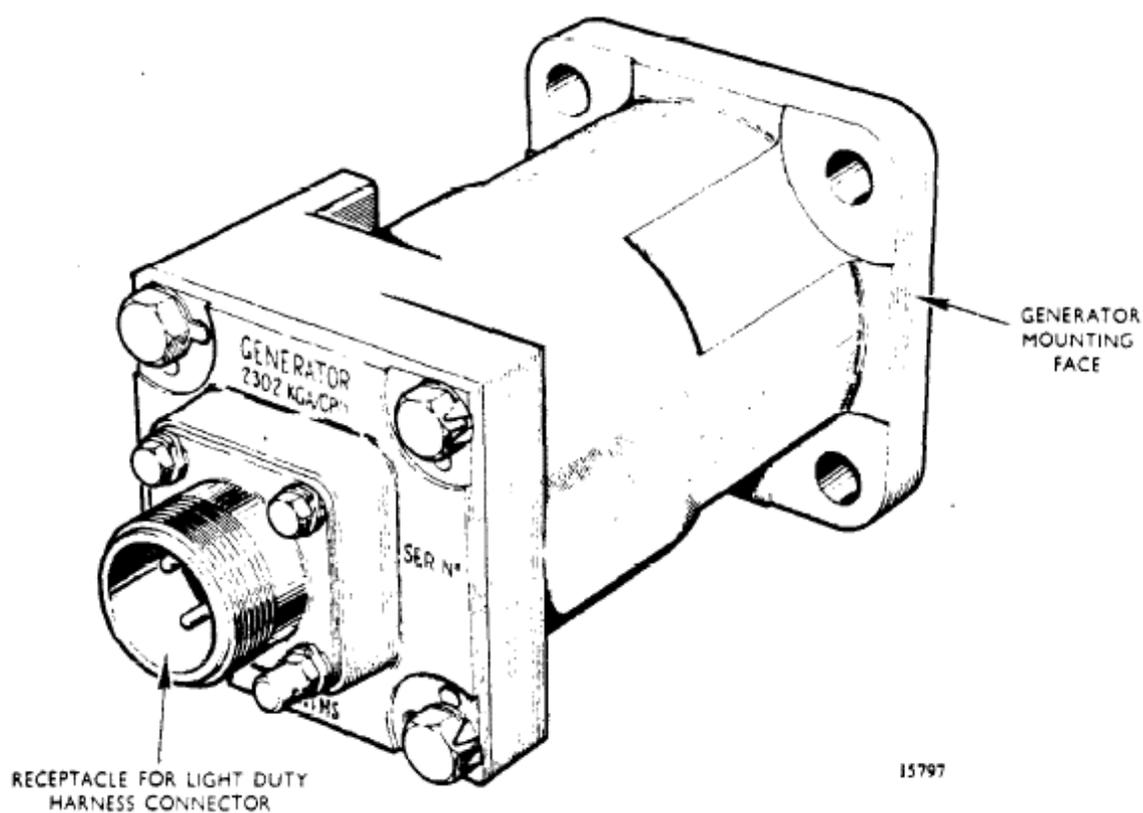
2.10.3. El generador de alto presión:

La caja de cambios del generador de alta presión se encuentra en la parte derecha, que primordialmente indica una señal eléctrica proporcional de la velocidad del compresor de alta presión del eje que se alimenta a un indicador de la aeronave a través de los cables.

Como se muestra en la figura el generador consta de una bobina de estator trifásica y un eje montado Rotor de imán permanente de dos polos montado en el eje que proporciona un montaje para el generador en la caja de cambios.

Figura 26

El generador de indicación



Nota: El gráfico representa a un generador de indicación que está instalada en un motor Rolls-Royce Spey 511-8. Tomada de (II/III, 2007)

2.10.4. Interruptor térmico de sobrecalentamiento del motor

General

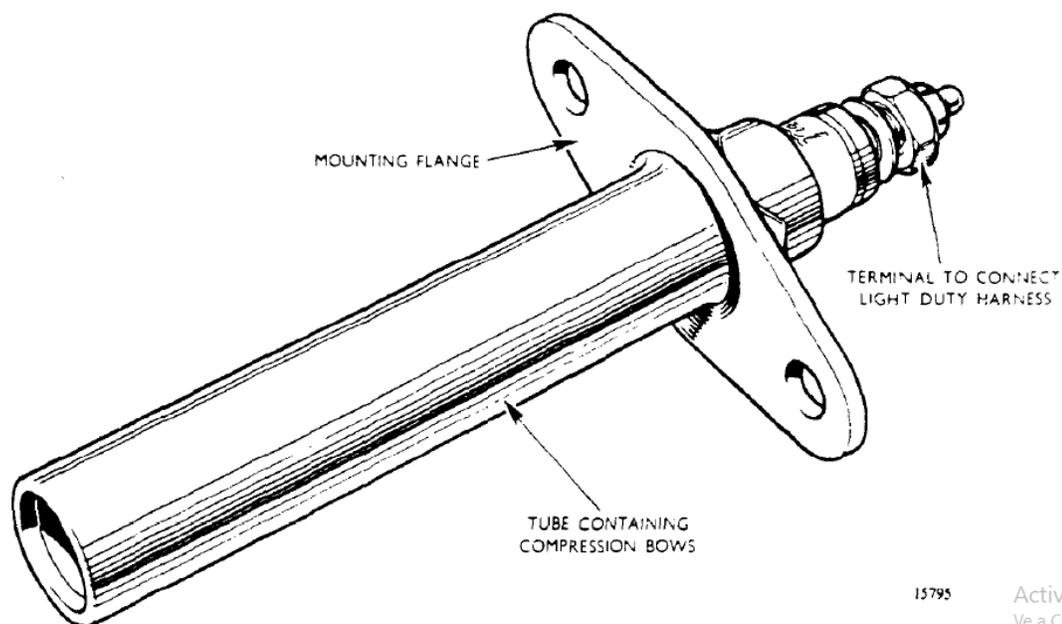
Un interruptor térmico de advertencia de sobrecalentamiento del motor se proporciona para contralar la condición del motor, que consta de un elemento sensible contenido en un tubo, se monta y proyecta en el conducto de salida de aire de refrigeración L.P. El interruptor está configurado para operar a una temperatura determinada, cuando se alcanza esta temperatura los contactos cerrados que completan un circuito eléctrico a la aeronave, mostrando el sobrecalentamiento del motor con la finalidad de indicar los detalles del sistema de advertencia de sobrecalentamiento del motor de la aeronave Gulfstream II.

Descripción

El interruptor consta de un tubo que lleva una brida de montaje que contiene arcos de contacto de tipo compresión, la parte superior del tubo lleva un aislante adaptador y terminales para conectar el interruptor a la luz de indicación, como se muestra en la siguiente figura

Figura 27

Interruptor de sobrecalentamiento del motor Rolls-Royce Spey 511-8



Nota: El gráfico se muestra un interruptor de sobrecalentamiento de motor. Tomada de (II/III, 2007)

2.11. Sistema de conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8.

2.11.1. General

El sistema de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511.8 cuenta con diez termocuplas que están colocadas alrededor del conducto de derivación de gases de escape de la turbina. Las termocuplas se unen a través de los cables alrededor del conducto de derivación que conectan los elementos de acoplamiento juntos para formar un circuito que a su vez se toma a una caja de conexiones montada en la parte inferior del motor.

Para proporcionar una indicación estable de temperatura de los motores a reacción de las condiciones de las partes de la turbina del motor a reacción, así mismo el sistema de termocuplas permite enviar la señal de temperatura para limitar la temperatura máxima de la turbina para que no haya fricciones o deformaciones del componente rotativo.

2.11.2. Descripción

Los diez conjuntos de termocuplas están montados en el conducto de derivación posterior y proyectan a través del conducto y tubo de escape de gases, ya que el sistema de conjunto de termocuplas está distribuidas a través de una serie de cableados de forma paralela, todas aquellas termocuplas que se está acoplado alrededor del motor proporcionan una conexión a los indicadores o instrumentación del motor.

El sistema de termocuplas se instala dos resistencias de lastre en la caja de conjunto de conexiones, el indicador y el circuito de control. Estas resistencias proporcionan T.G.T. ya que en cada motor se instala individualmente el conjunto de termocuplas, porque es muy necesario que el motor puede una temperatura de entrada de turbina aceptable (T4) pero tener una temperatura alta indicada en T6 debido a la dispersión de temperatura en el sistema de escape.

Los motores que incorporan Modelo, 3037(S.B. Sp77-19) tiene una resistencia de corte instalada en la caja de conexiones en el circuito del indicador, la resistencia de ajuste se ajusta para permitir dar la temperatura estándar del motor que indica la resistencia del circuito, lo que hace posible cambiar los motores sin la necesidad de ajustar la resistencia de equilibrio de la aeronave. Además, la caja de circuito de del

diagrama esquemático del circuito se idéntica de acuerdo a los colores de los cables, códigos numéricos y tipo de material utilizada para la fabricación, de acuerdo como lo nuestra en la siguiente tabla:

Tabla 6

Identificación del diagrama esquemático de la termocupla

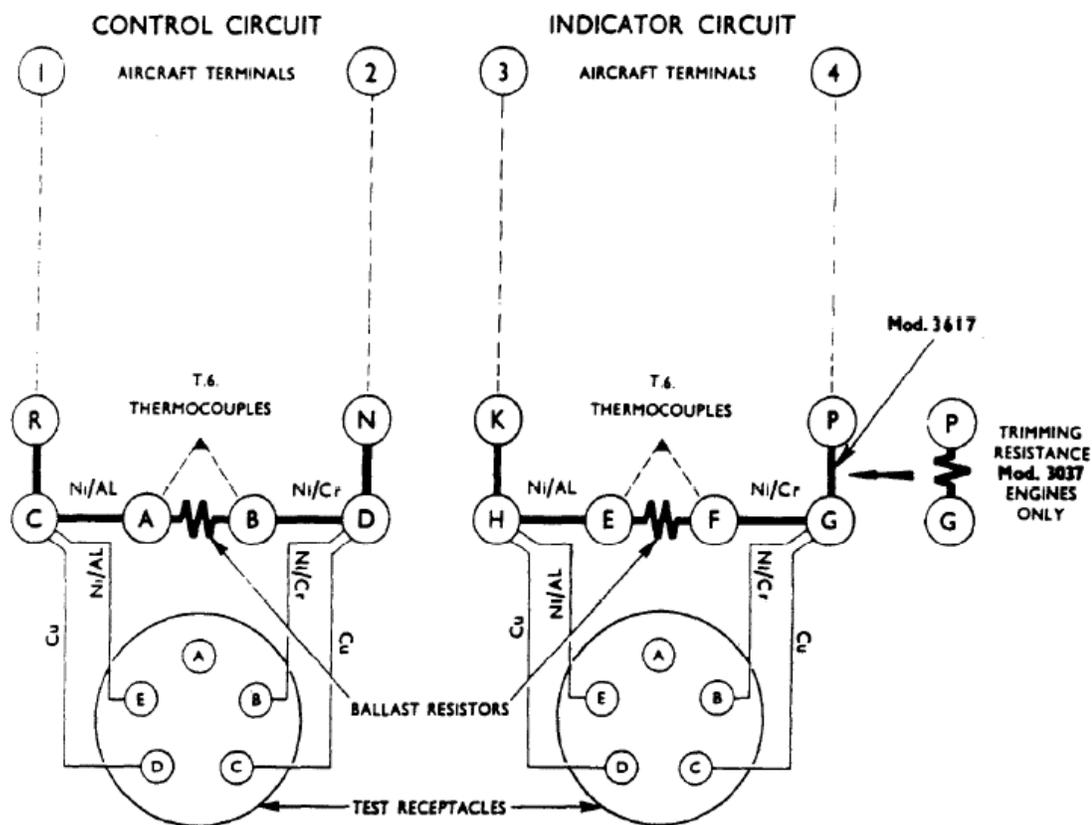
Identificación del diagrama esquemático de la termocupla		
Simbología	Material o composición	Color del cable
Ni/Cr	Cromo-Níquel	Rojo
Ni/Al	Níquel-Aluminio	Azul
Cu/Ni	Cobre-Níquel	Amarillo
Cu	Cobre	Gris

Nota: La tabla muestra la identificación del diagrama esquemático de la termocupla del motor Rolls-Royce Spey 511-8. Tomado de (II/III, 2007)

En la siguiente figura se aprecia el diagrama esquemático de los cables de control del circuito de la termocupla cuando se proporcionan los terminales en la caja de conexiones de la aeronave.

Figura 28

Diagrama Esquemático del sistema de termocupla



Nota: El gráfico representa un diagrama del circuito del cable de la termocupla del motor Rolls-Royce Spey 511-8 de la aeronave Gulfstream II. Tomada de (II/III, 2007)

2.11.3. Operación

Se produce una corriente eléctrica de bajo potencial cuando se realiza una operación del motor, ya que, en circuito cerrado de dos metales diferentes están a una temperatura diferente, estas se conocen las uniones calientes y frías ya que están sometido en la zona caliente.

2.12. Los cables de una termocupla del motor Rolls Royce Spey 511-8

2.12.1. General

Se montan diez termopares alrededor del conducto de derivación de los gases de escape de la parte posterior del motor y se conectan entre sí en paralelo mediante un arnés que se lleva en soportes como si fueran canales alrededor del cono de escape. Para la ubicación de estas unidades.

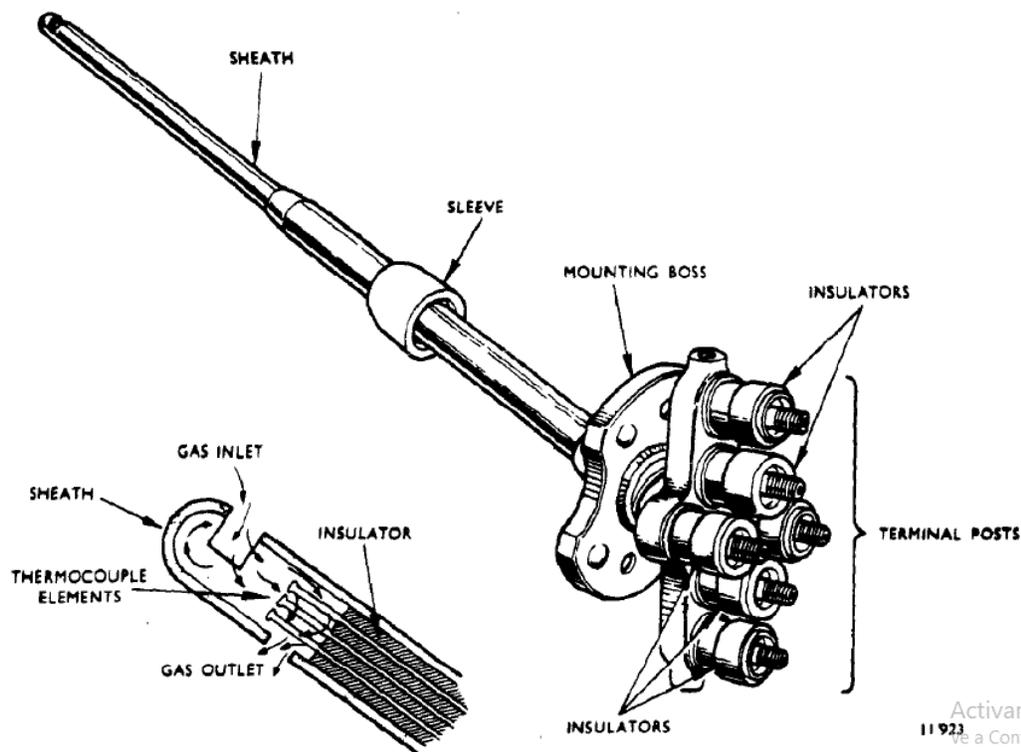
2.12.2. Descripción

Tipo pre-Mod 4338

Los termopares que muestra en la siguiente figura son del tipo de estancamiento de elemento triple y sobresalen a través del conducto de derivación y el mezclador de escape, cada termopar tiene un saliente de montaje esférico y una manga para permitir la expansión diferencial entre el conducto y el mezclador de escape. Los 3 elementos bimetálicos, de los cuales solo 2 se utilizan en el sistema, están se encuentran colocadas en un aislante y encerrados en una funda de metal resistente al calor.

Figura 29

Termocupla del modelo Pre-Mod 4838



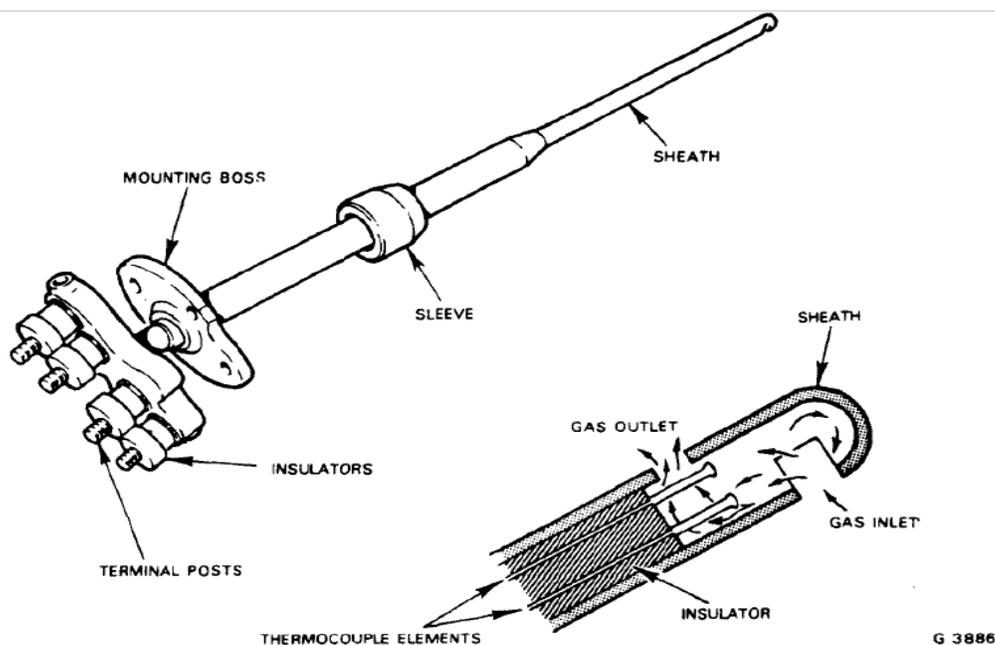
Nota: El gráfico representa una termocupla Tipo pre-Mod 4338 del motor Rolls-Royce Spey 511-8. Tomada de (II/III, 2007)

Tipo pre-Mod 4338 (tipo RS.180-1)

La termocupla de la siguiente figura es utilizada en la actualidad en el motor Rolls-Royce Spey 511-8, están constituido de doble elemento y sobresalen a través del conducto de derivación del escape, cada termocupla un saliente de un montaje esférico y un eje que permite la expansión diferencial entre el conducto y el mezclador de escape. Estos 2 elementos bimetalicos están montados en un aislante y envuelto en una vaina de metal resistente al calor. (II/III, 2007)

Figura 30

Termocupla Pre-Mod 4338 de tipo RS-180-1



Nota: La gráfica representa una termocupla Pre-Mod 4338 de tipo SR.180-1 de motor Rolls-Royce Spey 511-8. Tomada de (II/III, 2007)

2.12.3. Operación

Los gases de escape de alta temperatura que ingresan general el proceso de estancamiento del gas, siendo las posiciones relativas de los orificios de entrada y salida del gas con fin de minimizar la velocidad del efecto de los gases de escape.

2.13. Inspección de la aeronave y de los componentes

Las inspecciones de una aeronave o componentes se realizan en un tiempo establecido de acuerdo a la operación de la aeronave, además, durante la revisión o chequeo del componente es con la finalidad de comprobar la calidad de las diferentes

piezas de un componente de una aeronave o motor. Las áreas más críticas de una aeronave es la parte de motor dentro de lo cual de las turbinas que puede ocasionar un desgaste o deformaciones de los alabes.

Las inspecciones de una aeronave se pueden dividir en dos categorías que permite realizar las tareas correspondientes que son los siguientes:

- Programadas
- No programadas

Tanto el mantenimiento programado como no programado y las inspecciones de aeronaves son necesarios para que todas las aeronaves garanticen que son seguras para volar y en condiciones de aeronavegabilidad. Algunas inspecciones y programas de mantenimiento son conocidos tanto por la tripulación de cabina como por los técnicos de la aeronave.

2.13.1. Inspección programada

La inspección programada de aeronaves se refiere a cualquier mantenimiento preventivo que la tripulación de cabina o los técnicos realizan a intervalos regulares. Incluye exámenes anuales, inspecciones de 100 horas, verificaciones previas al vuelo e inspecciones progresivas para garantizar que una aeronave esté lista para volar y en condiciones de aeronavegabilidad. (AircraftCompare.com, s.f.)

2.13.2. Inspección anual:

En cuanto a la inspección anual de la aeronave y partes de un sistema se realiza durante los 12 meses del año, sea las inspecciones visuales o tras inspecciones de la parte interna de un componente.

Las inspecciones anuales de aeronaves cubren más detalles que las inspecciones previas al vuelo y las inspecciones de 100 horas. Incluye todos los exámenes realizados en otras inspecciones de aeronaves, como controles de vuelo y comprobaciones de aviónica, pruebas e inspección del motor, revisión de todos los libros de registro de aeronaves y comprobaciones de superficies de vuelo.

(AircraftCompare.com, s.f.)

2.13.3. Inspecciones de 50 horas y 100 horas

Todas las inspecciones de 50 o 100 horas se deben someterse un chequeo o revisión general de la aeronave después de la operación, por lo general, la DGAC/F.A.A no les obliga a que haga la inspección de 50 horas, pero los dueños o la compañía se lo realizan para mayor seguridad.

2.13.4. Las inspecciones no programadas

La inspección no programada de la aeronave puede ocurrir en cualquier momento en que se sospeche que un componente ha fallado. En cuanto, la inspección no programada se lo realiza cuando se presenta cuando haya mal funcionamiento de un componente.

Por ejemplo, las inspecciones no programadas de la aeronave puede ser cualquier falla del sistema; desde un componente pequeño hasta el tren de aterrizaje, sistema neumático y las áreas críticas de altas temperaturas de un motor.

2.14. Inspección del conjunto de termocupla.

Las inspecciones de las termocuplas de un motor a reacción son muy importantes para comprobación del circuito de control e indicación de temperatura del

gas de la turbina y la resistencia del circuito de la termocupla, por lo tanto, se realiza una inspección visual alrededor de las termocuplas verificando el desgaste de los cables, corrosión de las clavijas eléctricas y los terminales de la caja de conexión.

2.14.1. Solución de problemas de las termocuplas

Al ver las termocuplas, se pueden verificar con un multímetro para verificar las resistencias de las sondas de una termocupla. Por lo tanto, las termocuplas deben constar de baja resistencia. Como advertencia, los indicadores pueden resultar dañados por el voltaje producido por un multímetro. Asegúrese de que el medidor y la sonda se hayan desenganchado antes de verificar la resistencia.

2.15. Equipo de prueba para la inspección de la termocupla del motor

Para realizar la inspección de las termocuplas usualmente se utiliza un equipo de prueba que es una herramienta especial que son los siguientes:

- Equipo de prueba UT 1339/2
- Multímetro
- Lastre

2.15.1. Tempcal Tester (equipo de prueba)

Para inspeccionar o chequear las resistencias de las termocuplas se utilizan normalmente un equipo especial llamado Tester, que proporciona medios portátiles, ligeros para conducir la prueba repetible, exacta de interruptores termales, los termopares y los sistemas de detección de fuego del continuo-alambre.

2.15.2. Funcionamiento

Proporcionando subida y la estabilización rápida del calor, este sistema permite a un interruptor termal de 800 °F ser calentado para probar temperatura en aproximadamente cinco minutos. El período minucioso cinco es suficiente calentar el interruptor termal y verificar su operación. Una vez que se calienta la punta de prueba, los interruptores adicionales se pueden comprobar rápidamente las temperaturas del gas de la turbina, en la siguiente figura se puede apreciar el equipo de prueba: (Tester de motor, 2021)

Figura 31

Equipo de prueba



Nota: El gráfico representa a un equipo de prueba de TGT del motor. Tomado de (Tester de motor, 2021)

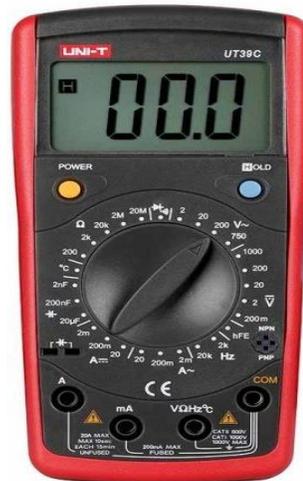
2.15.3. Multímetro

Un multímetro, también de nominado tester, es un dispositivo eléctrico y portátil, que le permite a una persona medir las resistencias eléctricas que forman parte de un circuito, como ser corrientes, potencias, resistencias, capacidades, entre otras.

(Multímetro, s.f.)

Figura 32

El multímetro



Nota: El gráfico representa a un multímetro que sirve para medir la resistencia de las termocuplas (Multímetro, s.f.)

2.15.4. Lastre (Ballast)

Es un componente eléctrico que permite medir la resistencia de las termocuplas de tipo K de acuerdo a su diseño para cada sistema, ya suele ser muy útil por su complejidad como lo muestra en la siguiente figura.

Figura 33

EL lastre (ballast)



Nota: El grafico representa un ballast que sirve para medir la resistencia de los cables del circuito de una termocupla. Tomada de (KZ1300.COM, s.f.)

2.16. Inspección del conjunto de la termocupla del motor Rolls-Royce Spey 511-8

Se sugiere que todos los procedimientos para realizar las inspecciones de las termocuplas cumplan de acuerdo al programa de mantenimiento de motor en base a la Ata 77. Literal (A)(B)(1a 5) Numeral,(7)(8) Se realiza las siguientes verificaciones de:

- Circuito de control e indicación de temperatura del gas de la turbina (TGT).
- Comprobación de resistencia de los cables de las termocuplas.

2.16.1. Ajuste / Prueba del sistema de conjunto de las termocuplas del motor

Rolls-Royce Spey 511-8.

Preparación del equipo

Preparación de las herramientas que se va utilizar en el momento de la inspección de acuerdo a método 2 y 1.

En la siguiente tabla se usa el equipo de prueba de acuerdo al procedimiento del método 1:

Tabla 7

Herramientas y equipos

Equipos y herramientas utilizados para la inspección	
NOMBRE DE LA HERRAMIENTA	CODIGOS
El indicador de temperatura del motor Rolls Royce y el equipo de prueba del controlador.	UT 486/1
El cable de prueba del motor Rolls Royce de TGT o Wheatstone.	UT 600 o UT 601
NOTA: El siguiente equipo se utiliza en el método dos:	
El equipo de prueba	UT 1339/2
Cable de alimentación y velocidad	UT 1445
Cable de extensiones de señales principales	UT 1446
Cable de señal	UT 1447

Nota: La tabla indica los equipos y herramientas utilizadas en la inspección. Tomado de (II G. , 2005)

Procedimiento

- Conecte la fuente de alimentación adecuada a la aeronave.

- Abra la capota inferior del motor correspondiente (31/31-LWR-1).
- Desconecte los cables de recogida de aviones de los bornes 1, 2, 3 y 4 en la parte delantera del termopar de la caja de conexiones, ver en la siguiente.

Nota: La caja de conexión se encuentra ubicada en parte inferior del conducto de derivación de los gases de escape del motor.

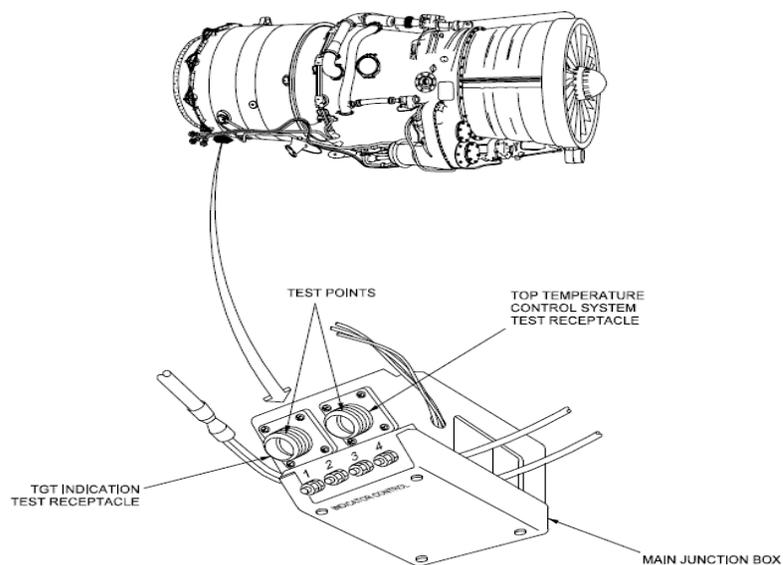
- Retire la cubierta la cubierta de antipolvo de la caja de conexiones de la termocupla del indicador, control prueba eléctricas y quite la grasa de silicona de las clavijas eléctricas.
- Inspeccione las clavijas eléctricas del receptáculo de prueba en busca de corrosión y si es necesario limpiar las clavijas.

A. Una vez realizado los procesos anteriores cumplir con lo siguiente:

- Usando la figura que muestra más adelante se determina la verificación de la termocupla modelo 5396, y una vez verificado los termopares registre la previsto en la siguiente tabla de la temperatura del gas de la turbina y la prueba de resistencia del circuito de indicación y control de los cables.

Figura 34

Verificación de la resistencia de la termocupla



Nota: El gráfico representa al chequeo de la resistencia de los cables de las termocuplas tomado de. (Gulfstream, 2005)

A. Método 1 usando el puente de Wheatstone, en este caso utilizamos un Multímetro.

Las siguientes comprobaciones deben realizarse con el motor a temperatura ambiente, si estas circunstancias no permitan que esto realice una segunda verificación con los cables de extensión del instrumento invertidos y la resistencia del valor será la media de las dos lecturas.

Por lo tanto, para permitir que se realicen comprobaciones de la resistencia del circuito y del aislamiento sin perturbar los terminales de los cables de la caja de conexiones.

- Conecte el conector de prueba al receptáculo de prueba del indicador.
- Conecte el puente de Wheatstone o un instrumento similar a los extremos de los cables en este en los terminales.
- Compruebe la resistencia del circuito de los cables de las termocuplas y registre la información en tabla que muestra más adelante.
- Después de deducir el valor de resistencia conocido del conector de prueba, la resistencia debe estar dentro de los límites indicados de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 8

Los valores de la resistencia de la termocupla

VALORES DE RESISTENCIA				
Número de mod 5164 y 5396 termopares en circuito	Resistencia de lastre			
	SIN QUE CON		SIN QUE CON	
	MIN	MAX	MIN	MAX
10	0.659	0.820	0.568	0.812
9	0.669	0.830	0.575	0.822
8	0.679	0.840	0.582	0.832
7	0.689	0.850	0.588	0.842
6	0.699	0.860	0.594	0.852

VALORES DE RESISTENCIA				
Número de mod 5164 y 5396 termopares en circuito	Resistencia de lastre			
	SIN QUE CON		SIN QUE CON	
	MIN	MAX	MIN	MAX
5	0.709	0.870	0,600	0.862
4	0.719	0.880	0,607	0.872
3	0.729	0.890	0.614	0.882
2	0.739	0.900	0.620	0.892
1	0.749	0.910	0.627	0.902
0	0.759	0.920	0.634	0.912

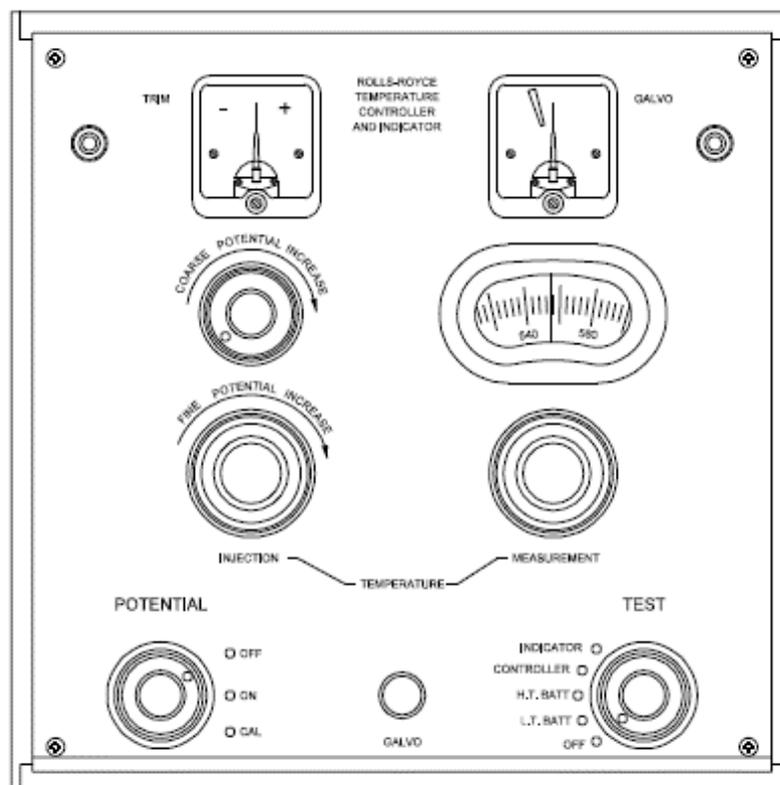
Nota: La tabla muestra los valores de la resistencia del cable del circuito de la termocupla Pre-Mod 4338 tipo SR.108-2. Tomado de (II/III, 2007)

B. Método 2 verificación de la resistencia de la temperatura del gas de la turbina usando el equipo de prueba UT 1339/2.

Además, para habilitar la resistencia de la temperatura del gas de la turbina se utiliza el equipo de prueba según como lo indica en la siguiente figura.

Figura 35

EL equipo de prueba de TGT.



Nota: El gráfico representa al equipo de prueba TU 1339/2.

- A. En el equipo de prueba cumpla con los siguientes pasos:
- Conecte el extremo apropiado de la velocidad y el cable de alimentación (UT 1445) al equipo de prueba (UT1339 / 2).
 - Conecte el extremo apropiado del cable de extensión de la señal principal UT 1446 al receptáculo de a señales a UT 1339/2.

- Conecte el extremo apropiado el cable de la señal (UT 1447) al otro extremo del cable de extensión de señal (UT 1446)
- Si está disponible o si es necesario, conecte el terminal remoto (UT 1429) utilizando el cable (UT 1430) al receptáculo del terminal de remoto a (UT1339 / 2).

B. Luego conecte el otro extremo de la velocidad y el cable de alimentación UT 1445 de la siguiente manera:

- Si hay disponible una fuente de energía eléctrica de 115 Vca/400 Hz conecte al equipo de la forma correcta.
- Si la fuente de energía eléctrica de 115 VCA (400 Hz) no está disponible, conecte a una fuente de alimentación de 28 V CC mediante la unidad convertidora de potencia (UT 1449) y el cable convertidor (UT 1450).

C. Conecte al otro extremo del cable de señal UT 1447 de la siguiente manera:

PRECAUCIÓN: NO ASEGURAR EL CABLE DE SEÑAL PUEDE RESULTAR EN DAÑOS EN EL AVIÓNMOTORNO.

- El cable de la señal de ruta al área del motor correspondiente que asegura el cable señal a la cabina de aire usando cinta de adhesiva.
- Conectar el cable de TGT de señal UT 1447 al indicador de prueba de electricidad.
- Luego realice las conexiones de acuerdo a las instrucciones del equipo que se detalla en el manual de programa de cap. 771510 del numeral 3, pág. 6-11 y 7-11.

- Los valores de medición se calculan usando la siguiente fórmula para calcular la resistencia del cable: El valor promedio de la resistencia se calcula sumando ambas resistencias y dividiendo por 2 de la siguiente manera:

$$(0.766 + 0.767 = 1.533)$$

$$\frac{1.533}{2} = 0.7665$$

- Chequee que la resistencia este dentro de los límites de acuerdo a la tabla tabulado en el manual del programa de mantenimiento de (Temperatura del gas de la turbina (TGT) -Comprobación de resistencia), y luego se registra la información proporcionada.

Tabla 9

Los datos de TGT

RESISTENCIA DE TGT					
		REQUERIDA		ACTUAL	
MOTOR	N°- TERMOCUPLAS	MIN	MAX	INDICACIÓN	CONTROL
MOTOR 1	10	0.659	0.920		480°C
MOTOR 2	10	0.659	0.920		480°C

Nota: La tabla muestra los datos de TGT.

D. Al concluir seguir los siguientes pasos:

- Inspeccione el motor en busca de objetos extraños, daños y fugas.
- Cierre la capota inferior del motor.

- Retire la fuente de alimentación externa de la aeronave.
- Registre todas las acciones de mantenimiento de acuerdo con la autoridad vigente

Capítulo III

3. Desarrollo del tema

3.1. Preliminares

En el capítulo III, se detalla los procedimientos que se realizó durante para la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8, acorde al programa de mantenimiento del motor, Cap. 771510, con la finalidad de chequear correctamente las tareas técnicas que se presenta en el momento de verificación del sistema de los termopares.

3.2. Medidas de seguridad.

Durante las inspecciones del conjunto de las termocuplas del Motor Rolls-Royce Spey, por lo general, se debe tener mucho en cuenta el uso de todo el equipo de protección personal, herramientas especiales, documentación técnica y el área del trabajo, con la finalidad de prevenir posibles accidentes que podría ocasionar durante la manipulación de los componentes de una aeronave.

1. Utilizar los equipos de protección que son siguientes:

- Overol
- Botas
- Guantes
- Mascarilla
- Jafas
- Orejeras

2. Señaléticas del área de trabajo para tener mayor precaución mientras se ejecuten tareas de mantenimiento de las termocuplas

3.3. Herramientas y equipos de apoyo en tierra utilizado en la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8

3.3.1. Herramientas y equipos de apoyo en tierra

- Planta externa
- Multímetro
- Tester Telcam.
- Juegos de llave
- Juegos de copas
- Desarmador plano y estrella

3.3.2. Documentaciones técnicas

- Manual de mantenimiento del motor
- Programa de mantenimiento de la termocupla

3.4. Procedimiento para la inspección del conjunto de termocupla del motor Rolls-Royce Spey 511-8

Para realizar la inspección de las termocuplas se realiza dos procesos importantes de acuerdo al programa de mantenimiento del capítulo 771510 que son los siguientes:

- Inspección de la resistencia de temperatura del gas de la turbina y la resistencia de control del circuito de los cables de una termocupla sin utilizar el lastre (Ballast).

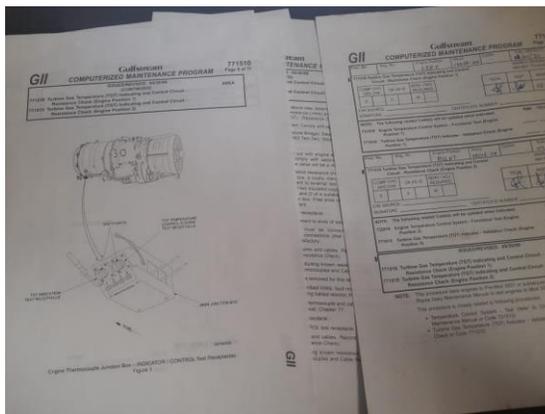
3.4.1. Inspección y Chequeo de resistencia de la temperatura del gas de la turbina

Antes de proceder a realizar la inspección de control del circuito de la resistencia de los cables de una termocupla y del chequeo de la temperatura del gas de la turbina, se hace una revisión general del programa de mantenimiento los pasos ejecutar la medición de la resistencia de las dos tareas técnicas.

Sin embargo, para ejecutar la inspección de la temperatura del gas de la turbina se utiliza un equipo de prueba Telcam UT 1339/2, con su número de parte H394 R, del motor Rolls-Royce Spey 511-8, de acuerdo al programa de mantenimiento, cap. 771510, literal A-B, numeral (7)(8) del método 1 y 2 de verificación de la temperatura del gas de la turbina y la resistencia del circuito de los cables de las termocuplas.

Figura 36

Revisión general de la documentación técnica



Nota: El gráfico representa la verificación de la documentación para el proceso de la inspección de las resistencias de los cables de la termocupla del motor Rolls-Royce.

3.4.2. Procesos de inspección

1. El motor del avión Gulfstream II debe estar estático, nivelado, bloqueado y puesta los tacos en las ruedas, para evitar los movimientos involuntarios durante el proceso de la inspección requerida.

Figura 37

Motor del avión Gulfstream II



Nota: El gráfico representa el motor del avión Gulfstream II de forma estático.

2. Colocación de la escalera hidráulica en la parte inferior del motor Rolls-Royce Spey 511-8 del avión Gulfstream II, tomando en cuenta que la escalera debe estar firme en el área que se va ubicar.

Figura 38

Colocación de la escalera hidráulica



Nota: El gráfico representa la colocación de la escalera hidráulica para realizar la inspección de la termocupla del Motor Rolls-Royce Spey 511-8.

3. Se conectó la fuente de alimentación de 115 VAC/400Hz adecuada a la aeronave con el fin de energizar al avión.

Figura 39

Conexión de la fuente de la alimentación a la aeronave



Nota: La fotografía representa a la conexión de la fuente de alimentación a avión Gulfstream II.

4. Abrir y retirar las capotas; desinstalando todos los seguros que se sujetan, dejando de forma visible toda la apertura de los componentes y el sistema del conjunto de las termocuplas del motor.

Figura 40

Retiro de los seguros del cowlings del motor Rolls-Royce Spey 511-8.



Nota: El gráfico representa el retiro de las capotas del motor.

5. Una vez quitado los seguros, se procede a deslizar las capotas del motor hacia arriba y abajo, luego se asegura con un seguro con la finalidad de no dañar los componentes durante la inspección.

Figura 41

Deslizamiento de las capotas del motor



Nota: El gráfico representa el deslizamiento de las capotas del motor

6. Se realizó la inspección visual del motor Rolls -Royce Spey 511-8 y del conjunto de las termocuplas para verificar los desgastes de los terminales, cables, alambres y de los conectores del sistema de circuito de la caja de conexiones.

Figura 42

Inspección general del motor Rolls-Royce Spey 511-8.



Nota: El gráfico representa la inspección visual del motor.

7. Se desconectó los cables del circuito de los bornes del número 1,2,3 y 4, de la parte delantera de la caja de conexión de las termocuplas.

Figura 43

Desconexión de los bornes de la caja de conexión



Nota: El gráfico representa a la desconexión de los bornes de la caja de conexión de las termocuplas

8. Luego se retiró la cubierta de antipolvo de los conectores del indicador y control de la resistencia de la caja de conexiones de las termocupas de forma manual y quitando la silicona de las clavijas de receptáculo.

Figura 44

Retiro de los tapones de la caja de conexiones de las termocupas

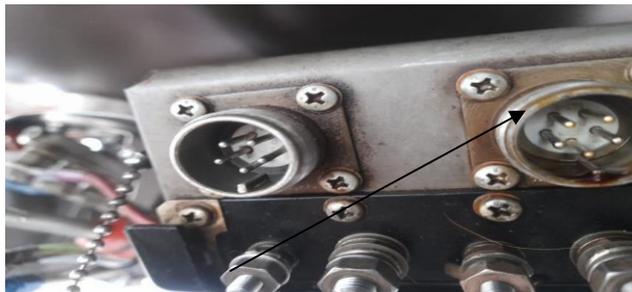


Nota: El gráfico representa el retiro de los tapones de antipolvo.

9. Luego se inspecciono las clavijas eléctricas del receptáculo de prueba en busca de corrosión y si limpio la parte inferior de las clavijas con la finalidad de prevenir el deterioro del componente.

Figura 45

Retiro e inspección visual de las clavijas eléctricas de los indicadores.



Nota: El gráfico representa a las clavijas eléctricas de la caja de conexión.

10. Una vez realizado la inspección de las clavijas eléctricas se debe cumplir con los siguientes pasos para determinar la resistencia de la temperatura del gas de la turbina de acuerdo al programa de mantenimiento cap. 771510:

- Se verifico la cantidad de los Pre- Mod 5164, Mod-5264 y Mod-5396 de las termocuplas que están equipadas y luego se registró la información en el bloque previsto de tabla de temperatura del gas de la turbina y verificación de la resistencia.
- Para determinar la resistencia se utilizó el número de termopares del paso anterior y luego se registró los datos obtenidos en la tabla del programa de mantenimiento del conjunto de las termocuplas.

Figura 46

Identificación los números de las termocuplas del motor Rolls-Royce



Nota: El gráfico muestra la identificación numeral de la termocupla número 1.

Nota; Para que se proporcione los resultados de los datos se utiliza los dos métodos que cumplan acorde con el método aplicable de la siguiente manera:

- Método 1 (usando el puente de Wheatstone): Paso B. (7)
- Método 2 (usando el equipo de prueba UT 1339/2): Paso B. (8)

3.4.3. Método 1 (usando el puente de Wheatstone) se utilizó un multímetro.

La medición de la resistencia del circuito de los cables se realizó cuando las comprobaciones del motor sean a temperatura ambiente, para lo cual se cumple con los siguientes pasos:

11. Para medir la resistencia se conectó el conector de prueba al receptáculo del indicador.
12. Luego se conecta el puente de Wheatstone o un instrumento similar a los extremos de los cables del conector de prueba en este caso se utilizó un multímetro.
13. Para medir la resistencia del control del circuito del cable de las termocupas se utiliza un multímetro desde luego se introduce el número de ohmios de la unidad de resistencia del circuito que se va medir, de acuerdo a la tabla dada en el programa de mantenimiento de las termocupas.

Figura 47

Calibración del multímetro en ohmios.



Nota: La fotografía representa a la calibración de un multímetro introduciendo el número de ohmios.

14. Luego de verificar el multímetro se procedió a comprobar la resistencia del circuito de los cables de indicadores de las termocuplas, partiendo desde la termocupla N°-1 en sentido antihorario, por lo tanto, los datos de la resistencia se deben cumplir según a la tabla previsto del programa de mantenimiento, con la finalidad mantener a una termocupla en condiciones estables.

Figura 48

Medición de la resistencia del control del circuito del cable.



Nota: El gráfico representa a la medición de resistencia del control del circuito del cable de las termocuplas del motor.

15. Una vez verificado se registró la información de los resultados obtenido durante la medición de la resistencia del circuito de los cables de las termocuplas, por lo tanto, los datos resultantes son 0.80Ω en la mayoría de los termopares.
16. Para medir se debe colocar los conectores o las agujas del multímetro sobre los pines del circuito de los cables de una termocupla, además, los valores obtenidos deben cumplir de acuerdo a la tabla 1 del programa de mantenimiento de verificación de resistencia del circuito de los cables de una termocupla.

Figura 49

Colocando sobre los pines o terminales de las termocuplas las agujas del multímetro.



Nota: EL gráfico representa a la medición de la resistencia.

Figura 50

El resultado de la resistencia del cable que equivale a 0.80Ω .



Nota: EL gráfico representa la medición de los datos de la resistencia del control de límites de los cables de la termocupla.

17. Luego se retiró el conector de prueba del receptáculo del indicador
18. Después se procedió a conectar el conector de prueba y el instrumento al receptáculo de prueba de control, en este caso para medición de la resistencia se utilizó el multímetro.
19. Luego se comprueba la resistencia del circuito de los cables de las termocuplas en la parte del extremo de la caja de conexiones, finalmente dando el resultado de 0.90Ω , lo cual es registrado la información obtenida en la siguiente tabla.

Figura 51

El dato obtenido de la resistencia de control del circuito de la caja de conexión.



Nota: La fotografía representa resultado obtenido en el punto de la resistencia de la caja de conexión de las termocuplas.

20. En la siguiente tabla se detalla el registro de los datos obtenidos durante la verificación de la resistencia de los límites del circuito de los cables de las termocuplas a temperatura ambiente.

Tabla 10

Datos de la resistencia de los cables de un circuito.

NÚMERO DE LA TERMOCUPLA	LÍMITES DE LA RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE LOS CABLES
MOTOR 1	SIN BALLAST
10	0.80Ω
9	0.80Ω
8	0.80Ω
7	0.80Ω
6	0.80Ω
5	0.80Ω
4	0.80Ω
3	0.80Ω
2	0.80Ω
1	0.80Ω
0	0.90Ω

Nota: La tabla representa los resultados de la resistencia del control del circuito de los límites de los cables de las termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8.

21. Si en caso la resistencia del circuito no se encuentre dentro de los límites prescritos, la falla debe localizarse inspeccionado el cable se reemplaza.

22. Para realizar la inspección de la resistencia de los cables de las termocuplas del motor N°-2 se realiza los mismos procedimientos del motor N°-1, también, en cuanto a valores son similares tanto en el punto cero de la caja de conexión.

Figura 52

Verificación de los datos de la resistencia de los cables de las termocuplas



Nota: El gráfico representa a los resultados obtenidos de la resistencia del control de los cables de las termocuplas del motor Rolls-Royce.

23. En la siguiente tabla se detalla los datos obtenidos de la resistencia de control del circuito de los cables y de la caja de conexión de las termocuplas.

Tabla 11

El resultado de la resistencia

NÚMERO DE LA TERMOCUPLA	LÍMITES DE LA RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE LOS CABLE
MOTOR 2	SIN BALLAST
10	0.80Ω
9	0.80Ω
8	0.80Ω
7	0.80Ω
6	0.80Ω
5	0.80Ω
4	0.80Ω
3	0.80Ω
2	0.80Ω
1	0.80Ω
0	0.90Ω

Nota: La tabla representa a los resultados de la resistencia del circuito de control de los cables de las termocuplas.

24. Por último, se retiró el conector de prueba y el instrumento de receptáculo del indicador para proceder con el método 2.

3.4.4. Método 2 utilizando el equipo de prueba

De acuerdo a la descripción del programa de mantenimiento de chequeo de la resistencia de la temperatura del gas de la turbina de la caja de conexiones se utiliza un equipo de prueba (Tempcal UT 1339/2) ya que es una herramienta que permite comprobar los detectores sensibles al calor de altas temperaturas, por lo que su funcionamiento es de acuerdo a las instrucciones del equipo que se detalla de la siguiente manera: Los sensores térmicos en su lugar reducen drásticamente la prueba tiempo y costo asociado durante el encendido del equipo proporcionando un rápido aumento de calor y estabilización, esto es el sistema que permite que un interruptor térmico de 800 ° F sea calentado a la temperatura de prueba en aproximadamente cinco minutos. El período de cinco minutos es suficiente para calentar el interruptor térmico en su funcionamiento, Una vez que la sonda se calienta, interruptores adicionales se puede comprobar rápidamente la temperatura del gas de la turbina.

Figura 53

EL equipo de prueba de TGT.



Nota: El gráfico indica al equipo de prueba del motor Rolls Royce.

A. El equipo de prueba se debe cumplir de la siguiente manera:

25. Luego de alistar el equipo de prueba (Tempcal Test), los cables se conectan en el extremo apropiado de la velocidad y de alimentación (UT 1445) al receptáculo de la velocidad del equipo de prueba UT1339/2.

Figura 54

Conectando los cables del equipo de prueba a la caja de conexiones de las termocuplas.



Nota: El gráfico representa a la conexión de los cables al equipo de prueba.

26. Luego se conectó el cable de extensión de señal principal (UT 1446) a receptáculo de señales (UT1339 / 2).

Figura 55

Cable de extensión de señales al equipo de prueba y a la caja de conexiones.



Nota: El gráfico representa el proceso del cable de conexión de las señales.

27. Se conectó en el extremo apropiado del cable de (UT 1447) al otro extremo del cable de extensión de la señal (UT 1446).

28. Si en caso está disponible/o sea necesaria, conectar en el remoto del terminal UT 1430 al receptáculo de remoto del terminal (UT1339 / 2).

B. Conecte el cable otro extremo de la velocidad y el cable de alimentación (UT 1445) de la siguiente manera:

29. De acuerdo a la instrucción técnicas del equipo se procedió a conectar la fuente de alimentación de 115 VCA / 400 Hz al equipo de prueba con el fin de maniobrar el encendido del equipo de prueba Telcamp UT 1339/2.

Figura 56

Conectando la fuente de alimentación al equipo de prueba.



Nota: El gráfico representa a la conexión de la fuente al equipo de prueba.

30. Si en caso de disponer la fuente de energía eléctrica de 115 VCA (400 Hz), conecte una fuente de alimentación de 28 V CC mediante la unidad convertidora de potencia (UT 1449) y el cable del convertidor (UT 1450).

C. Luego conecte el otro extremo del cable de señal (UT 1447) de la siguiente manera:

31. Se conectó el cable de señal de ruta al área del motor y se asegurarse con una cinta adhesiva para prevenir corto circuito dentro del sistema eléctrica de la planta motriz.

Figura 57

Conexión del cable de señal de ruta

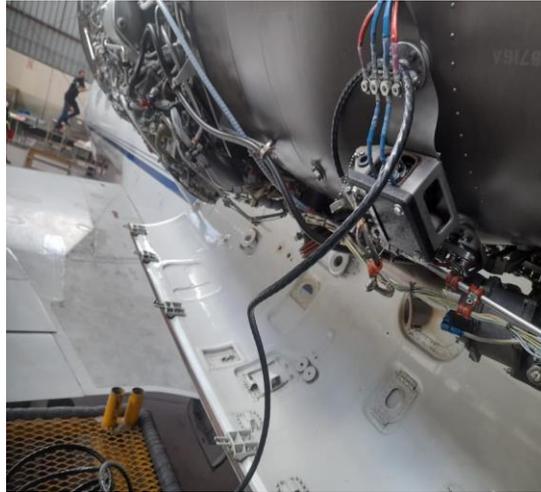


Nota: La fotografía representa a la conexión de los cables de señal de ruta.

32. Inmediatamente se procedió a conectar el cable de señal de temperatura del gas de la turbina TGT (UT 1447) al indicador de prueba del receptáculo.

Figura 58

Conexión del cable de TGT al indicador de prueba



Nota: La fotografía representa a la conexión del cable de TGT al equipo de indicador de prueba.

33. Una vez concluido las instalaciones de los cables se procede a maniobrar el equipo de prueba utilizado la misma energía de la fuente de la aeronave.
34. luego para encender se procede a seleccionar el interruptor de encendido en modo ON.

Figura 59

Colocando el interruptor en modo ON para el encendido del equipo



Nota: El gráfico representa al encendido del equipo de prueba.

35. Una vez este encendido el equipo de prueba se verifico los datos de versión y fecha de lanzamiento del software y número de piezas completo, para identificar futuras referencias que se va realizar las inspecciones programadas, además para el uso de manipulación es de acuerdo a las instrucciones del equipo.

Figura 60

El equipo encendido



Nota: El gráfico representa que el equipo de prueba está encendido.

36. Para medir la temperatura del gas de la turbina en el equipo de prueba se debe seguir las siguientes instrucciones:

- Presionar la tecla tres de la temperatura
- Una vez presionado la tecla 3 se procede a verificar la resistencia de la temperatura del gas de la turbina, tomando en cuenta que el rango de límite en el indicador muestra un valor de 480 °C, entonces en el equipo prueba se configura con el mismo dato.

Figura 61

Regulación en el equipo de prueba la temperatura dada en el indicador.



Nota: El gráfico representa a la configuración del equipo de prueba de TGT.

Figura 62

Indicador de TGT temperatura del gas de la turbina de la cabina con el dato de 480 °C



Nota: La grafica se muestra el indicado de TGT en la cabina del avión Gulfstream II.

37. Una vez configurado a la temperatura indicada hay que dejar que el equipo se caliente durante los 5 minutos para proceder a verificación de resistencia de la temperatura del gas de la turbina TGT.

Figura 63

El equipo en acción durante 5 minutos de calentamiento



Nota: La fotografía representa calentamiento del equipo.

38. Una vez medido la resistencia de TGT el resultado obtenido en el equipo fue de 0.90Ω del motor N°1.

Figura 64

Chequeo de resistencia de TGT



Nota: La fotografía representa a la verificación de la resistencia de TGT.

Figura 65

Obtención del resultado de la resistencia de TGT



Nota: La fotografía representa la medición de la resistencia de TGT

39. En la siguiente tabla se detalla los datos de la resistencia de la temperatura del gas de la turbina de forma instantánea del motor N°- 1 y del 2.

Tabla 12

Los datos resultantes de la resistencia de TGT

MOTOR	N° DE LAS TERMOCUPLAS	INDICACIÓN RESULTANTE	CONTROL DE TEMPERATURA
LEFT 1	10	0.90Ω	480°C
RIGHT1	10	0.90Ω	480°C

Nota: La tabla indica los datos de la resistencia obtenido durante el chequeo que se realizó.

40. Luego se retiró el cable de TGT del receptáculo de prueba del indicador.

41. Una vez desinstalado del equipo de prueba, seleccione el interruptor de encendido en apagado.

Figura 66

Desconexión de los cables de equipo de prueba y apagado



Nota: El gráfico representa a la desconexión de los cables.

42. Además, Aplique una cantidad de silicona a las clavijas eléctricas de prueba del INDICADOR y CONTROL, luego instale las tapas guardapolvo.
43. Por último, verifique antes de cerrar las capotas del motor los objetos extraños dentro de los componentes que después puede causar daños o alteración del motor durante la operación.
44. En seguida se cerró las capotas del motor Rolls-Royce Spey 511-8, asegurando todos los seguros que soportan.

Figura 67

Cierre de las capotas del motor



Nota: El gráfico representa el cierre de las capotas del motor después de la inspección realizada.

45. De la misma manera se retira la fuente de alimentación del equipo de prueba, de acuerdo al manual de mantenimiento del motor.

3.5. Datos de resistencia del cable de un circuito de la termocupla del motor Rolls-Royce Spey 511-8.

Los datos obtenidos de la resistencia de los cables de las 10 termocuplas del motor, se lo realizo de acuerdo a la tabla de manual de mantenimiento del motor, utilizando un multímetro a temperatura ambiente, por lo tanto, los datos no se varían en un porcentaje alta, ni menor, por ende, esto quiere decir que las resistencias de las termocuplas están en condiciones operativos.

En la siguiente tabla se puede apreciar los límites de la resistencia del cable de las termocuplas; el proceso de verificación de la resistencia se realiza sin lastre:

Tabla 13

Valores de resistencia del cable del circuito de la termocupla.

VALORES DE RESISTENCIA						
NÚMERO	RESISTENCIA DE LASTRE					
TERMOPARES DE UN CIRCUITO	SIN LASTRE		CON LASTRE		DATOS ACTUALES	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MOTOR N°-1	MOTOR N°-2
10	0.659	0.820	0.568	0.812	0.80	0.70
9	0.669	0.830	0.575	0.822	0.80	0.70
8	0.679	0.840	0.582	0.832	0.80	0.80
7	0.689	0.850	0.588	0.842	0.80	0.80
6	0.699	0.860	0.594	0.852	0.80	0.80

VALORES DE RESISTENCIA						
NÚMERO	RESISTENCIA DE LASTRE					
TERMOPARES DE UN CIRCUITO	SIN LASTRE		CON LASTRE		DATOS ACTUALES	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MOTOR N°-1	MOTOR N°-2
5	0.709	0.870	0,600	0.862	0.80	0.80
4	0.719	0.880	0,607	0.872	0.80	0.80
3	0.729	0.890	0.614	0.882	0.80	0.80
2	0.739	0.900	0.620	0.892	0.80	0.80
1	0.749	0.910	0.627	0.902	0.80	0.80
0	0.759	0.920	0.634	0.912	0.90	0.90

Nota: La tabla muestra los datos de la resistencia de los cables de las termocuplas

3.6. Datos de la resistencia de la temperatura del gas de a turbina.

Para visualizar los datos de la resistencia de TGT, se utilizó un equipo especial llamado TELCAM UT1339/2 (equipo de prueba) con la finalidad de realizar el chequeo de la resistencia de la caja de conexión de las termocuplas del motor, por lo tanto, los datos obtenidos en dos motores son casi similar en la siguiente tabla se detalla:

Tabla 14

Los datos de la temperatura del gas de la turbina TGT

RESISTENCIA DE TGT					
		REQUERIDA		ACTUAL	
MOTOR	N°- TERMOCUPLAS	MIN	MAX	INDICACIÓN	CONTROL
MOTOR 1	10	0.659	0.920	0.90Ω	480°C
MOTOR 2	10	0.659	0.920	0.90Ω	480°C

Nota: La tabla representa a los datos de TGT.

3.7. Lista de chequeo de la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8.

En base a la documentación técnica del programa de mantenimiento del conjunto de las termocuplas se realizó acorde al cap. 771510, literal (A)-(B) del numeral 8 y 9 del método 1 y 2, de la resistencia de temperatura del gas de la turbina y la resistencia del circuito de los cables de las termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8, de la aeronave Gulfstream II.

Para determinar la inspección del sistema del conjunto de termocuplas se realizó a temperatura ambiente, utilizando el equipo de prueba UT 1339/2.

3.7.1. Lista de Chequeo

- Inspección visual de las termocuplas
- Inspección de los cables y los terminales para predeterminar la corrosión en las clavijas eléctricas.

- Verificación de la resistencia de los cables.
- Verificación del conector de la caja de conexión
- Inspección de temperatura del gas de la turbina

Capítulo IV

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Una vez culminado el proyecto de titulación se pudo concluir en los siguientes:

- De acuerdo a la información técnica recuperada de diferentes sitios, fuentes, manual de mantenimiento de la aeronave Gulfstream II, se pudo detallar y aplicar toda la información pertinente a las tareas de mantenimiento de un componente en base de proporcionar la inspección del conjunto de termocuplas del motor Rolls-Royce Spey 511-8, con la finalidad de cumplir un trabajo adecuado y satisfactoria.
- Previo a los equipos y herramientas utilizados en la inspección del conjunto de termocuplas es muy importante saber que deben estar calibrados de acuerdo al manual de equipos herramientas de la aeronave, en base de contar con lo suficiente se realizó las inspecciones de una manera adecuada.
- La ejecución de las tareas de mantenimiento de la inspección del conjunto de termocuplas del motor se realizó una inspección visual antes de proceder a manipular el sistema de termocuplas, una vez realizado el chequeo previo de acuerdo a las tareas realizadas emitido por los fabricantes, finalmente se procedió a comprobar el funcionamiento adecuado de la temperatura del gas de la turbina con el motor estático.

4.2. Recomendaciones

Una vez culminado el proyecto de titulación se podido concluir en los siguientes:

- Para recopilar la información siempre debe tener la coherencia al tema que se va detallar en el proyecto, en base a la información técnica se debe realizar las tareas pertinentes sea las inspecciones programadas-no programadas con la finalidad de mantener en condiciones de aeronavegabilidad.
- Todas herramientas y equipos deben ser calibrados e actualizados para realizar cualquier tarea de mantenimiento durante las inspecciones que se presenta durante el trabajo que se va ejecutar, con la finalidad de garantizar de mantener previsto para cualquier actividad dentro del escuadrón de la aeronave Gulfstream II.
- Al momento de ejecutar las tareas técnicas durante la inspección de las termocuplas, se recomienda utilizar las herramientas adecuadas y la documentación técnica de la aeronave.

Glosario

Aeronave: Es una máquina que puede sustentarse y desplazarse hacia la atmosfera por reacciones del aire atmosférica.

Inspección: Es con la finalidad de evitar fallas de los componentes de una aeronave.

Ciclo del motor: EL ciclo del motor cumple cuando un motor se enciende en tierra luego para proceder una operación para el vuelo del avión.

Mantenimiento: Son las revisiones periódicas de la aeronave en general

Tareas: Las tareas pueden ser técnicas y teórico de acuerdo al manual de mantenimiento de la aeronave.

Mantenimiento preventivo: se realiza cuando los equipos sean en funcionamiento para mayor eficaz de mantener operado a la aeronave.

Termocuplas: Las termocuplas son sensores que detectan el sobretemperatura del motor durante la operación.

Cables: los cables eléctricos dentro de la aeronave son especiales para el sistema electro de la aeronave y motor.

Conexión: Es la unión que se establece entre dos más circuitos en serie, paralelo o mixta en cuanto a diferentes sistemas que conforma una aeronave.

Fuente: La fuente es la base de un generador eléctrica que permite energizar a la aeronave.

Lista de chequeo: La lista chequeo permite una verificación del componente que se va realizar una inspección.

Abreviaturas

A/C: Aeronave

AMM: (Manual maintenance aircraft) Manual de mantenimiento de la aeronave

E.G.T: (Exhaust gas temperature) Temperatura del gas de escape

T.G.T: (Temperature gas turbine) Temperatura del gas de la turbina

T.I.T: (Temperature intermediate turbine) temperatura intermedia de la turbina

°C: (Degrees Celsius) grados centígrados

°F: (Degrees fahrenheit) grados Fahrenheit

T.A.T: (Total Air Temperature) Temperatura total de aire

O.A.T: (Out side Air) Aire del exterior de la turbina

E.P.R.: (Engine Pressure Ratio) Relación de presión del motor

N1/N2 :Indicador de revoluciones del compresor

Bibliografía

AircraftCompare.com, ©. 2. (s.f.). Recuperado el 25 de 02 de 2021, de

<https://www.aircraftcompare.com/blog/types-of-aircraft-inspections/#scheduled-aircraft-inspections>

Antonio. (2009). *funcionamiento del ciclo Brayton*. Obtenido de recogido de

<http://laplace.us.es/wiki/images/e/e1/Turbina.png>

Antonio. (2009). *Los ciclos de un motor a reaccion*. Recuperado el 06 de 01 de 2021, de

regido de <http://laplace.us.es/wiki/images/9/90/Ciclo-brayton.png>

ARCADIOALEX. (s.f.). *El motor turboshaft*. Recuperado el 16 de 02 de 2021, de

<https://steemit.com/spanish/@arcadioalex/el-motot-turboshaft-es-el-futuro-de-los-carros-veloces>

Avia.Pro. (06 de 08 de 2015). *Especificaciones Grumman Gulfstream II*. Recuperado el

13 de 02 de 2021, de <https://avia-es.com/blog/grumman-gulfstream-ii-harakteristiki-foto?fbclid=IwAR1NhzLHEU8njXdi96EDDqMkzzGV90KEkuBel4Hb-PGIL9L97sqnG6NDcOo>

AVIA.PRO. (06 de 08 de 2015). *Grumman Gulfstream II. Características. Foto*.

Recuperado el 12 de 02 de 2021, de <https://avia-es.com/blog/grumman-gulfstream-ii-harakteristiki-foto?fbclid=IwAR1NhzLHEU8njXdi96EDDqMkzzGV90KEkuBel4Hb-PGIL9L97sqnG6NDcOo>

AVIO.PRO, M. P. (06 de 08 de 2015). *Dimensión y areas del avión Gulfstream II*.

Recuperado el 20, de <https://avia-es.com/blog/grumman-gulfstream-ii>

harakteristiki-foto?fbclid=IwAR1NhzLHEU8njXdi96EDDqMkzzGV90KEkuBel4Hb-PGIL9L97sqnG6NDcOo

avutarda, g. (20215). *funcionamiento de un motor del ciclo otto*. Obtenido de recopilado de <https://greatbustardsflight.blogspot.com/2015/01/el-motor-reaccion.html>

Bonding, A. 2.-9. (s.f.). *THERMOCOUPLE WIRE SOLDERING AND INSTALLATION*.

Recuperado el 24 de 02 de 2021, de

<file:///C:/Users/usuario/Downloads/021c99s2c16.pdf>

Brain, M. (1 de abril de 2000). *HowStuffWorks.com*. Obtenido de HowStuffWorks.com:

<https://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/turbine.htm>

Calibration, E. T. (10 de 07 de 2017). *Engine Thermocouples Out of Calibration*.

Obtenido de <https://www.flight-mechanic.com/wp-content/uploads/2017/07/10-78.jpg>

Ciclo-Brayton. (s.f.). *Ciclo-Brayton*. Recuperado el 08 de 03 de 2021, de

<http://laplace.us.es/wiki/images/9/90/Ciclo-brayton>

Combustion, C. d. (s.f.). *Camara de Combustión*. Recuperado el 16 de 02 de 2021, de

https://i1.wp.com/takeoffbriefing.com/wp-content/uploads/2012/12/camara_combusti%C3%B3n.jpg?ssl=1

Faa-Handbook. (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant,*

Volume 1. Obtenido de

https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/media/FAA-H-8083-32-AMT-Powerplant-Vol-1.pdf

- GUIA, A. (s.f.). *Indicador de EGT*. Recuperado el 25 de 02 de 2021, de <https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/instrument-system-temperature-measuring.html>
- Guide, A. (2017). *Aircraft Temperature Measuring Instruments*. Recuperado el 25 de 02 de 2021, de <https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/instrument-system-temperature-measuring.html>
- Guide, A. (2017). *Thermocouple Temperature Indicators*. Obtenido de <https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/instrument-system-temperature-measuring.html>
- Guide, A. (10 de 11 de 2017). *Thermocouple Temperature Indicators*. Obtenido de <https://www.flight-mechanic.com/wp-content/uploads/2017/11/10-71.jpg>
- GUIDE, A. (s.f.). *Engine Fire Detection Systems and Fire Zones - Aircraft Engine Fire Protection Systems*. Recuperado el 16 de 03 de 2021, de <https://www.aircraftsystemstech.com/p/engine-fire-detection-systems.html>
- Gulfstream. (2005). *COMPUTERIZED MAINTENANCE PROGRAM*. Fuerza Aerea Ecuatoriana, Gulstream II, Latacunga. Recuperado el 18 de 03 de 2021
- handbook. (2018). *componentes de un compresor centrífugo*. Obtenido de recogido de https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/media/FAA-H-8083-32-AMT-Powerplant-Vol-1.pdf
- Handbook, F. (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1*.

Handbook, F. (2018). *Entrada de Aire*. Obtenido de

https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/media/FAA-H-8083-32-AMT-Powerplant-Vol-1.pdf

handbooks. (2018). *Los elementos de un estator*. Obtenido de

https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/media/FAA-H-8083-32-AMT-Powerplant-Vol-1.pdf

Harris, D. (s.f.). *how Products are made.Jet Engine*. Obtenido de

<http://www.madehow.com/Volume-1/Jet-Engine.html>

II, G. (2005). *771510 Turbine Gas Temperature (TGT) Indicating and Control Circuit -*

Resistance Check (Engine Position 1). PROGRAM MAINTENECE. Recuperado el 16 de 03 de 2021

II, R.-R. S. (02 de 06 de 2007). *Rolls-Royce Spey Maintenance Data Gulfstream II*.

II/III, R. R. (02 de 06 de 2007). *Sistema de escape*. Recuperado el 18 de 02 de 2021

ITP-AERO. (s.f.). *TOBERA DE ESCAPE*. Recuperado el 08 de 03 de 2021, de

<https://www.itpaero.com/es/productos-y-servicios/productos/toberas/>

jet Engine. (17 de 02 de 2021). Obtenido de <http://www.madehow.com/Volume-1/Jet-Engine.html#:~:text=The%20parts%20of%20a%20jet,titanium%20in%20a%20hot%20press.&text=The%20turbine%20disc%20is%20made,are%20both%20made%20by%20casting>.

<http://www.madehow.com/Volume-1/Jet-Engine.html#:~:text=The%20parts%20of%20a%20jet,titanium%20in%20a%20hot%20press.&text=The%20turbine%20disc%20is%20made,are%20both%20made%20by%20casting>.

KG, R.-R. D. (10 de 07 de 2017). *TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET*. Obtenido de

<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDS%20E.064%20iss%2002>

_10.07.17.pdf

KZ1300.COM. (s.f.). Recuperado el 2021, de

<https://www.kz1300.com/index.php/forum/electrical-ignition/78-aw82-tr1-coil-upgrade-for-z1300-kz1300-how-to?start=84>

MANUAL, G. P. (2004). *G1159 PILOT TRAINING MANUAL*.

Mind, F. H. (29 de Enero de 2005). *Aeropassion*. Recuperado el 4 de 01 de 2021, de

<https://hiveminer.com/Tags/125,bae/Recent>

Multimetro. (s.f.). *Multimetro*. Recuperado el 07 de 03 de 2021, de [https://como-](https://como-funciona.co/un-multimetro/)

[funciona.co/un-multimetro/](https://como-funciona.co/un-multimetro/)

OMEGA. (s.f.). *Termopar*. Recuperado el 19 de 02 de 2021, de recogido de

<https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>

Parlante. (2016). *Motor Cohete*. Obtenido de [https://elparlante.com.py/ingenieria-](https://elparlante.com.py/ingenieria-espacial/tipos-de-motores-cohete-iv/)

[espacial/tipos-de-motores-cohete-iv/](https://elparlante.com.py/ingenieria-espacial/tipos-de-motores-cohete-iv/)

PROS, A. (01 de 03 de 2007). *thermocouples*. Obtenido de

<https://www.aviationpros.com/home/article/10381911/thermocouples>

Rivas, A. G. (2003). *ESCAPE* . Obtenido de recogido de

[file:///C:/Users/usuario/Downloads/Escape%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/Escape%20(4).pdf)

Rivas, A. G. (2003). *tobera de escape* . Obtenido de recogido de:

[file:///C:/Users/usuario/Downloads/Escape%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/Escape%20(2).pdf)

termocupla, s. d. (s.f.). *sonda de una termocupla*. Recuperado el 24 de 2 de 2021, de

<https://es.omega.com/pptst/TJ36-ICIN.html>

termopares, L. (s.f.). *Los termopares*. Recuperado el 19 de 02 de 2021, de <https://www.indiamart.com/proddetail/thermocouples-temperature-sensors-9882608073.html>

Tester de motor. (06 de 03 de 2021). Obtenido de <https://www.aeroexpo.online/es/prod/howell-instruments/product-184407-32327.html>

Thermometrics. (s.f.). *termocuplas*. Recuperado el 23 de 02 de 2021, de <https://www.thermometricscorp.com/thertypk.html>

Thermometrics. (s.f.). *Thermometrics*. Recuperado el 19 de 02 de 2021, de <https://www.thermometricscorp.com/thertypk.html>

Thermometrics. (s.f.). *Type K Thermocouple (Chromel/Alumel)*. Recuperado el 19 de 02 de 2021, de <https://www.thermometricscorp.com/thertypk.html>

Thermometrics. (s.f.). *TYPE K THERMOCOUPLE JUNCTIONS*. Recuperado el 25 de 02 de 2021, de <https://www.thermometricscorp.com/thertypk.html>

Turbinas. (s.f.). *turbinas*. Recuperado el 16 de 02 de 2021, de <https://www.itpaero.com/es/productos-y-servicios/productos/turbinas/>

turbohélice, T. a. (14 de 04 de 2014). *transicion al turbohélice*. Obtenido de <https://defensanacional.foroactivo.com/t8097-transicion-al-turbohelice>

turbohélice, T. a. (s.f.). *Transición al turbohélice*. Recuperado el 17 de 02 de 2021, de <http://takeoffbriefing.com/transicion-al-turbohelice/>

Valbona, E. (2011). *Motor de turbina*. Obtenido de compresores centrifugos:

http://www.aviaco-va.es/WP/motor_de_turbina.pdf

Valencia, S. (2018). *caja de accesorios*. Obtenido de <https://prezi.com/nyzjfoe-dki/caja-de-accesorios/>

VALLBONA, E. (2011). *TOBERA DE ESCAPE*. Obtenido de http://www.aviaco-va.es/WP/motor_de_turbina.pdf

Vilajosana, E. V. (2011). *El motor de turbina*. Obtenido de http://www.aviaco-va.es/WP/motor_de_turbina.pdf

VOLAR, A. P. (s.f.). *Pulsorreactores*. Recuperado el 08 de 03 de 2021, de <https://www.pasionporvolar.com/motores-de-aviacion-reactores/>

Yébenes, J. (02 de 07 de 2020). *Motor a reacción*. Obtenido de <https://www.gacetaeronautica.com/gaceta/wp-101/?p=35668>

Yébenes, J. (02 de 07 de 2020). *Motor a reacción*. Obtenido de <https://www.gacetaeronautica.com/gaceta/wp-101/?p=35668>

Yébenes, J. (2020). *Motor a reacción*. Recuperado el 02 de 07 de 2021, de recogido de <https://www.gacetaeronautica.com/gaceta/wp-101/?p=35668>

Yébenes, J. (2020). *Motor Turbofán*. Obtenido de <https://www.gacetaeronautica.com/gaceta/wp-101/?p=35668>

Yenenes, J. (2020). *La eolípila de Herón de Alejandría*. Obtenido de <https://www.gacetaeronautica.com/gaceta/wp-101/?p=35668>

Anexos