

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO**

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

**Construcción de maqueta a escala del MOTOR JET  
JT8D con sistemas de combustible, ignición, arranque  
y aire de impacto.**

**POR:**

**Romero Andrade, Michael David**

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para la obtención  
del título de:**

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA**

**2006**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **ROMERO ANDRADE MICHAEL DAVID**, como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN MECANICA AERONAUTICA, ESPECIALIDAD MOTORES.

---

**Ing. Fernando Naranjo H.  
Mayo. Téc. Avc.**

2005- Diciembre- 12.

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de grado lo dedico a Dios y a mi madre que con su esfuerzo me supo brindar su apoyo incondicional para culminar exitosamente esta carrera. Dedico a todas las personas que de manera directa o indirectamente hicieron posible la realización de este proyecto.

**Michael Romero.**

## **AGRADECIMIENTO**

Gratitud es amor y lealtad y por esto quiero dejar constancia de mis más sinceros agradecimientos a todos mis profesores del I.T.S.A, quienes supieron guiar de la mejor manera para aprender y culminar mis estudios.

De manera especial mi agradecimiento al Ing. Fernando Naranjo, Director del presente proyecto.

De igual manera agradezco a la aerolínea Aerogal S.A., por todo su apoyo práctico y de información sobre este tema.

**Michael Romero.**

<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b>	<b>Pág.</b>
Carátula_____	<u>I</u>
Certificación del proyecto de grado_____	<u>II</u>
Dedicatoria_____	<u>III</u>
Agradecimiento_____	<u>IV</u>
Índice de contenidos_____	<u>V</u>
Lista de tablas_____	<u>XIV</u>
Lista de figuras_____	<u>XV</u>
Lista de anexos_____	<u>XVIII</u>
Glosario de términos y abreviaturas_____	<u>XIX</u>
RESUMEN_____	<u>1</u>

## **CAPÍTULO I**

### **introducción**

1.1 Planteamiento del Problema_____	<u>2</u>
1.2 Justificación_____	<u>3</u>
1.3 Objetivos_____	<u>4</u>
1.3.1 Objetivo General_____	<u>4</u>
1.3.2 Objetivos Específicos_____	<u>4</u>
1.4 Alcance_____	<u>5</u>

## CAPÍTULO II.

### Investigación del motor jt8d.

2.1 GENERALIDADES DEL MOTOR JET JT8D	6
2.1.1 Introducción técnica del motor JT8D	7
2.1.2 Aplicación de este motor en la aeronave Boeing 737 y 727	9
2.1.2.1 Funcionamiento del motor jet básico	10
2.1.2.2 Libras de empuje desarrolladas por el motor JT8D	11
2.1.3.1 Sección de entrada de aire	12
2.1.3.1.1 Diagrama P-V-T de la toma de aire	13
2.1.3.2 Sección de compresión de baja presión	14
2.1.3.3 Sección de compresión de alta presión	15
2.1.3.3.1 Diagrama P-V-T en el compresor	15
2.1.3.4 Sección difusora de aire	16
2.1.3.5 Sección de cámaras de combustión	17
2.1.3.5.1 Diagrama P-V-T en cámaras de combustión	19
2.1.3.6 Sección de turbina	20
2.1.3.6.1 Diagrama P-V-T en la turbina	21
2.1.3.7 Sección de toberas de escape	21
2.1.3.7.1 Diagrama P-V-T en la tobera de escape	22

2.2 INVESTIGACIÓN DE LOS SISTEMAS DEL MOTOR	<u>23</u>
2.2.1 Sistema de Combustible	<u>23</u>
2.2.1.1 Funcionamiento	<u>23</u>
2.2.1.1.1 Tanques de combustible	<u>26</u>
2.2.1.1.2 Bomba de alta y de baja presión	<u>27</u>
2.2.1.1.3 Filtros y válvulas de by pass	<u>27</u>
2.2.1.1.4 Unidad de control de combustible (F.C.U.)	<u>28</u>
2.2.1.1.5 Intercambiadores de calor (aire y combustible)	<u>29</u>
2.2.1.1.6 Intercambiadores de calor ( aceite y combustible)	<u>30</u>
2.2.1.1.7 Válvula de presurización	<u>31</u>
2.2.1.1.8 Inyectores de combustible	<u>32</u>
2.2.1.2 Componentes eléctricos	<u>33</u>
2.2.1.2.1 Sensores de filtro obstruido	<u>33</u>
2.2.1.2.2 Sensor de flujo de combustible	<u>34</u>
2.2.1.2.3 Operación de la válvula de corte de combustible (shutoff valve)	<u>35</u>
2.2.1.3 Componentes mecánicos	<u>35</u>
1.2.1.3.1 Acoplamiento de la palanca de aceleración con la unidad de control de combustible y palanca de corte de combustible	<u>35</u>

2.2.2	Sistema de Ignición	36
2.2.2.1	Descripción y funcionamiento	36
2.2.2.2	Excitador de encendido	37
2.2.2.3	bujías de ignición	39
2.2.3	Sistema de arranque	40
2.2.3.1	Descripción y operación	40
2.2.3.2	Válvula neumática de arranque (Pneumatic start valve)	43
2.2.3.3	Motor de arranque (Starter)	44
2.2.4	Aire de impacto	45
2.2.4.1	Presión ambiental	46
2.2.4.2	Altitud de aeropuerto	47
2.2.4.3	Temperatura ambiente	47
2.2.4.4	Selección de la relación de presión del motor (E.P.R)	48
2.2.4.5	Condiciones de operación durante despegue, vuelo y aterrizaje	49
2.3	INSTRUMENTOS DE INDICACIÓN DEL MOTOR	50
2.3.1	Relación de presión del motor (E.P.R)	50
2.3.2	Indicación de movimiento del compresor de alta presión (N2) y de baja presión (N1)	52
2.3.3	Indicación de temperatura de salida de gases (E.G.T)	53
2.3.4	Indicación de flujo de combustible	54

2.4 PANEL DE CONTROL DEL MOTOR	55
2.4.1 Tablero de control neumático para el arranque del motor	55
2.4.2 Interruptor de arranque neumático del motor	56
2.4.3 Interruptor de control de ignición (engine ignition)	56
2.4.4 Tablero de control de paso de combustible al motor	57
2.4.5 Palanca de aceleración y desaceleración del motor	58
2.4.6 Palanca de corte de combustible cut off	58

## **CAPÍTULO III.**

### **Estudio de alternativas**

3.1 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS	60
3.1.1 Estudio técnico	60
3.1.1.1 Primera Alternativa	61
3.1.1.2 Segunda alternativa	62
3.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	63
3.2.1 Primera alternativa ( Ventajas / desventajas)	64
3.2.2 Segunda alternativa ( Ventajas / desventajas)	65
3.3 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	66

3.3.1 Factor técnico	67
3.3.2 Factor financiero	68
3.3.3 Factor complementario	68
2.3.4 Matriz de evaluación de alternativas	69
3.4 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	70

## **CAPÍTULO VI.**

### **Construcción de la maqueta a escala**

4.1 Herramientas y maquinaria utilizada en la construcción de la maqueta	72
4.1.1 Herramienta Manual	72
4.1.2 Herramienta eléctrica	72
4.1.3 Maquinaria industrial	73
4.1.4 Herramienta y material de adhesión	73
4.2 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUETA	73
4.2.1. Insumos y materiales de ensamblaje	73
4.2.2. Materiales electrónicos	74
4.2.3 Elementos mecánicos	75

4.3 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN	75
4.3.1 Construcción de la base del motor	77
4.3.2 Construcción del motor	78
4.3.2.1 Fase externa	78
4.3.2.1.1 Construcción de costillas del forro del motor	79
4.3.2.1.2 Construcción del forro externo del motor	80
4.3.2.1.3 Instalación de costillas y forro externo	80
4.3.2.2. Fase interna	81
4.3.2.2.1 Construcción del conjunto rotor	82
4.3.2.2.2 Construcción del conjunto estator	83
4.3.3 Instalaciones mecánicas	84
4.3.3.1 Construcción de riostras de montaje	84
4.3.3.2 Construcción del eje central del motor	85
4.3.3.3 Construcción del conjunto rotor al eje central	86
4.3.3.4 Acoplamiento banda polea a los motores eléctricos	87
4.3.3.5 Instalación del conjunto rotor y estator	88
4.3.3.6 Instalación del forro externo del motor	88
4.3.4 Instalaciones electrónicas	89
4.3.4.1 Instalación de fuentes de alimentación eléctrica para los motores	90
4.3.4.2 Instalación de circuito de luz de velocidad variable	91
4.3.4.3 Instalación de circuito integrado temporizador de luz con zumbador	92
4.3.5 Construcción del tablero de control	93

## **CAPÍTULO V**

### **Elaboración de manuales**

5.1 GENERALIDADES_____	95
5.2. MANUAL DE OPERACIÓN_____	96
5.3. MANUAL DE MANTENIMIENTO_____	98
5.4 MANUAL DE VERIFICACIÓN_____	99
5.5 REGISTROS DE MANTENIMIENTO, PRÁCTICAS Y REPORTE DE AVERÍAS_____	101

## **CAPÍTULO VI**

### **estudio económico**

6.1. PRESUPUESTO_____	104
6.2. ESTUDIO ECONÓMICO_____	104
6.2.1. Materiales_____	105
6.2.1.1 Materiales de ensamblaje_____	105
6.2.1.2 Materiales electrónicos_____	107
6.2.1.3 Elementos mecánicos_____	108
6.2.2 Mano de obra_____	108
6.2.3 Maquinaria_____	109
6.2.4 Otros_____	110
6.2.5 Costo total del proyecto_____	111

## CAPÍTULO VII

### Conclusiones y recomendaciones

7.1 OBSERVACIONES	<u>112</u>
7.2 CONCLUSIONES	<u>113</u>
7.3 RECOMENDACIONES	<u>114</u>

Bibliografía

Anexos

Hoja de vida

Certificación

## LISTA DE TABLAS.

<b>Tabla</b>	<b>Fuente</b>	<b>Capítulo.</b>	<b>Contenido</b>	<b>No. de Página.</b>
Tabla 2.1	www.b737.org.uk	2	Versiones de motores JT8D con sus características	11
Tabla 2.2	Manual de entrenamiento del motor JT8D para el operador.	2	Equivalencias de revoluciones en porcentajes del motor	52
Tabla 3.1	Autor	3	Matriz de evaluación de alternativas.	54
Tabla 3.2	Autor	3	Matriz de decisión de alternativas.	55
Tabla 4.1	Autor	4	Herramienta Manual utilizada en el proyecto.	72
Tabla 4.2	Autor	4	Herramienta eléctrica utilizada en el proyecto.	72
Tabla 4.3.	Autor	4	Maquinaria Industrial utilizada en el proyecto.	73
Tabla 4.4	Autor	4	Maquinaria Industrial utilizada en el proyecto.	73
Tabla 4.5	Autor	4	Insumos y materiales de construcción	58
Tabla 4.6	Autor	4	Materiales electrónicos	59
Tabla 4.7.	Autor	4	Elementos mecánicos.	60
Tabla 5.1.	Autor	5	Categorización de los manuales	95
Tabla 6.1	Autor	6	Costo de materiales e insumos utilizados	105
Tabla 6.2.	Autor	6	Costo de materiales electrónicos	107
Tabla 6.3	Autor	6	Costo de elementos mecánicos.	108
Tabla 6.4	Autor	6	Costo de mano de obra empleada.	108
Tabla 6.5	Autor	6	Costo de Maquinaria utilizada.	109
Tabla 6.6	Autor	6	Costo de recursos de investigación.	110
Tabla 6.7	Autor	6	Costo total del proyecto	111

## LISTA DE FIGURAS.

<b>Figura</b>	<b>Fuente</b>	<b>Capítulo</b>	<b>Contenido</b>	<b>No. de Página.</b>
Figura 2.1	www.boeing.com	2	Motor jet JT8D.	7
Figura 2.2	Autor	2	Acción y reacción de una aeronave	8
Figura 2.3	www.todoaviones.com aerocontinente	2	Boeing 727-200.	9
Figura 2.4	www.todoaviones.com american airlines	2	Boeing 737-200.	9
Figura 2.5	Autor	2	Secciones principales de un motor jet	10
Figura 2.6	www.b737.org.uk	2	Motor seccionado.	12
Figura 2.7	Libro motor a reacción. SÁINZ Valentin.	2	Toma de aire del motor JT8D	12
Figura 2.8	Libro motor a reacción. SÁINZ Valentin.	2	Diagrama PVT en la sección de toma de aire	13
Figura 2.9	Autor	2	Compresor de baja presión acoplado con Fan	14
Figura 2.10	Autor	2	Compresor de alta presión.	15
Figura 2.11	Libro motor a reacción. SÁINZ Valentin	2	Diagrama P-V-T en la sección del Compresor.	16
Figura 2.12	Manual de mantenimiento Boeing 737-200.	2	Cámara de combustión.	18
Figura 2.13	Manual de mantenimiento Boeing 737-200.	2	Configuración de las cámaras de combustión.	19
Figura 2.14	Libro motor a reacción. SÁINZ Valentin	2	Diagrama P-V-T en cámaras de combustión.	20
Figura 2.15	Autor	2	Turbina de alta y de baja presión.	20
Figura 2.16	Libro motor a reacción. SÁINZ Valentin	2	Diagrama P-V-T en la turbina.	21
Figura 2.17	Autor	2	Configuración de la tobera de escape	22
Figura 2.18	Libro motor a reacción. SÁINZ Valentin	2	Diagrama P-V-T en la tobera de escape.	22
Figura 2.19	Manual interactivo Boeing 737-200.	2	Interruptor de paso de aire al intercambiador de calor del sistema de combustible	24
Figura 2.20	Autor	2	Diagrama del sistema de combustible.	26
Figura 2.21	Manual interactivo Boeing 737-200.	2	Configuración de los tanques de combustible	27

			de la aeronave Boeing 737.	
<b>Figura</b>	<b>Fuente</b>	<b>Capítulo</b>	<b>Contenido</b>	<b>No. de Página.</b>
Figura 2.22	Libro Motor a reacción. por Valentín SÁINZ Diez	2	Configuración interna de la unidad de control de combustible	28
Figura 2.23	Manual de mantenimiento Boeing 737-200.	2	Configuración de control de la unidad de control de combustible	29
Figura 2.24	Manual de entrenamiento del motor JT8D para el operador.	2	Intercambiador de calor (aceite / combustible).	30
Figura 2.25	Manual de entrenamiento del motor JT8D para el operador.	2	Intercambiador de calor (aire / combustible).	31
Figura 2.26	Manual de entrenamiento del motor JT8D para el operador.	2	Válvula de presurización	32
Figura 2.27	Manual de mantenimiento Boeing 737-200.	2	Distribución de los inyectores de combustible en las cámaras de combustión.	33
Figura 2.28	Manual interactivo Boeing 737-200.	2	Indicación de filtro de combustible obstruido.	34
Figura 2.29	Manual interactivo Boeing 737-200.	2	Palanca de corte de combustible	35
Figura 2.30	Guía de entrenamiento del motor JT8D para el operador.	2	Diagrama de control del motor.	36
Figura 2.31	Manual de mantenimiento Boeing 737-200.	2	Configuración del sistema de ignición del motor	37
Figura 2.32	Manual de mantenimiento Boeing 737-200.	2	Localización de la caja excitadora de encendido	38
Figura 2.33	Manual de mantenimiento Boeing 737-200	2	Bujía de ignición	39
Figura 2.34	Guía de entrenamiento del motor JT8D para el operador	2	Diagrama del sistema de arranque neumático	43
Figura 2.35	Guía de entrenamiento del motor JT8D para el operador	2	Válvula neumática de arranque	44
Figura 2.36	Manual de mantenimiento Boeing 737-200	2	Motor de arranque	45
Figura 2.37	Manual interactivo Boeing 737-200	2	Aire de impacto sobre el motor	46
Figura 2.38	www.b737.org.uk	2	Presión ambiental aeropuerto	46
Figura 2.39	www.b737.org.uk	2	Altitud de operación	47
Figura 2.40	www.todoaviones.com	2	Temperatura de operación	48
Figura 2.41	Manual interactivo Boeing 737-200	2	Indicador de relación de presión del motor	52
Figura 2.42	Manual de mantenimiento	2	Configuración de los	52

	Boeing 737-200		puntos de presión del E.P.R.	
<b>Figura</b>	<b>Fuente</b>	<b>Capítulo</b>	<b>Contenido</b>	<b>No. de Página.</b>
Figura 2.43	Manual interactivo Boeing 737-200	2	Indicadores de porcentaje de revoluciones del compresor de baja presión (N1) y compresor de alta presión (N2)	53
Figura 2.44	Manual de mantenimiento Boeing 737-200	2	Generador tacómetro	53
Figura 2.45	Manual interactivo Boeing 737-200.	2	Indicador de temperatura de gases de salida.	54
Figura 2.46	Manual interactivo Boeing 737-200.	2	Indicador de flujo de combustible.	54
Figura 2.47	Manual de mantenimiento Boeing 737-200. Ata 36.	2	Tablero de control de aire neumático para el arranque del motor	55
Figura 2.48	Manual de mantenimiento Boeing 737-200. Ata 80.	2	Interruptor de arranque neumático del motor	56
Figura 2.49	Manual de mantenimiento Boeing 737-200. Ata 74.	2	Interruptor de control de ignición del motor	56
Figura 2.50	Manual de mantenimiento Boeing 737-200. Ata 73.	2	Tablero de control de combustible	57
Figura 2.51	Manual interactivo Boeing 737-200.	2	Palanca de aceleración y desaceleración del motor	58
Figura 2.52	Manual interactivo Boeing 737-200.	2	Palanca de corte de combustible cut off.	59
Figura 3.1	Autor	3	Visualización del motor y componentes de manera estática.	51
Figura 3.2	Autor	3	Visualización del motor y componentes de manera dinámica.	52

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO	Tema
ANEXO A	Planos de la maqueta
ANEXO B	Diagrama electrónico de la maqueta
ANEXO C	Tabla de limitaciones técnicas del motor JT8D
ANEXO D	Proceso de construcción de maqueta del motor JT8D a escala 1:10
ANEXO D.1	Herramienta Manual
ANEXO D.2	Herramienta eléctrica
ANEXO D.3	Maquinaria industrial
ANEXO D.4	Herramienta y material de adhesión
ANEXO D.5	Construcción de la base del motor
ANEXO D.6	Construcción de costillas del forro del motor
ANEXO D.7	Construcción del forro externo del motor
ANEXO D.8	Instalación de costillas y forro externo
ANEXO D.9	Construcción el conjunto rotor
ANEXO D.10	Construcción del conjunto estator
ANEXO D.11	Construcción de riostras de montaje
ANEXO D.12	Construcción del eje central del motor
ANEXO D.13	Construcción del conjunto rotor al eje central
ANEXO D.14	Materiales de Acoplamiento banda polea a los motores eléctricos
ANEXO D.15	Instalación del conjunto rotor y estator
ANEXO D.16	Instalación del forro externo del motor
ANEXO D.17	Instalación de fuentes de alimentación eléctrica para los motores
ANEXO D.18	Instalación de circuito luces de velocidad variable ( animación del sistema de ignición)
ANEXO D.19	Instalación de circuito integrado temporizador de luz con zumbador ( animación de sistemas de arranque)
ANEXO D.20	Construcción del tablero de control
ANEXO D.21	Configuración virtual de la maqueta
ANEXO E.1	Respaldo técnico de Proyecto CEKIT No.2 ( Circuito Temporizador para luces de velocidad variable).
ANEXO E.2	Respaldo técnico de Proyecto CEKIT No.3 (Fuente de alimentación de salida de +5, +12 Y -12 VDC de 0,5 A).

## **GLOSARIO DE TERMINOS Y ABREVIATURAS.**

**APU:** unidad de poder auxiliar; provee de energía eléctrica y neumática a la aeronave.

**Conducto convergente:** Conducto tendiente a unirse al final según la dirección del flujo de un fluido.

**Conducto divergente:** Conducto tendiente a separarse al final según la dirección del flujo de un fluido.

**Cut off valve:** Válvula de corte de combustible

**Diagrama P-V-T:** Representación gráfica de aumento o disminución de parámetros como Presión- Velocidad – Temperatura.

**EGT :** temperatura de gases de salida.

**EPR :** relación de presión del motor  $pt7/pt2$

**FCU :** unidad de control de combustible

**FOD:** Objetos extraños dañinos ( Foreign objects damage)

**FUEL HEAT:** Combustible caliente.

**Fuel flow:** flujo de combustible

**LOW PRESSURE:** Baja presión.

**N1:** velocidad de rotación del compresor de baja presión

**N2 :** velocidad de rotación del compresor de alta presión

**Po** : presión del día estándar. 29,92 pul Hg, 14,7 P.S.I, 760 mm Hg.

**PPH** : libras por hora (pounds per hour).

**PSI** : Unidad de presión (libras por pulgada cuadrada).

**Ps4**: Presión estática de la estación 4 (salida del compresor de alta presión).

**Pt2** : Presión total en la estación 2, entrada del compresor.

**QTY** : cantidad.

**Shutoff valve**: válvula de paso de combustible desde el tanque.

**START**: Arranque.

**To** : Temperatura del día estándar. 59 °F, 15 ° C.

**Tt2** : Temperatura total a la entrada del compresor.

**Tubo de llama**: Pared interna de la cámara de combustión.

**Trust** : empuje.

**Válvula by-pass**: Válvula alterna de operación.

## RESUMEN

El presente proyecto de grado tiene como propósito la construcción de la maqueta a escala del motor jet JT8D con sistemas de arranque, combustible, ignición y aire de impacto, con la finalidad de identificar y describir los componentes y secciones principales de dicho motor. La maqueta a escala del motor es una representación didáctica, la misma que se compone de diferentes accesorios, dispositivos y sistemas que tienen la función de cumplir una simulación técnica en base al motor real. Por otro lado, el motor JT8D que se representa a escala en la maqueta, se emplea en los aviones Boeing 737-100/200Adv, Boeing 727-100/200Adv y MD-83.

Para el desarrollo del proyecto se investiga y se recopila información de los manuales de la casa fabricante, en este caso Pratt & Whitney, cuyos manuales de mantenimiento, motor, reparaciones y catálogo de partes son importantes para conocer el funcionamiento del mencionado motor. Dentro del marco teórico del proyecto, se describen los sistemas de arranque, combustible e ignición, para la simulación de la maqueta en base al motor real. Seguidamente se emplean las alternativas de construcción así como también el estudio económico del proyecto a ejecutarse.

A continuación se indica el procedimiento de construcción de la maqueta junto con la elaboración de manuales a fin de tener un óptimo funcionamiento de la misma y finalmente se establecen los resultados del proyecto en base a los objetivos y alcances planteados al inicio del proyecto.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La Carrera de Mecánica Aeronáutica dentro de su malla curricular, contiene la cátedra de Motores a reacción II, la misma que contempla en su programa analítico el estudio del motor jet JT8D, mediante un libro de manera teórica y no práctica, para lo cual planteo la construcción de una maqueta a escala del motor JT8D, identificando las secciones principales, sistemas y componentes específicos.

La construcción de esta maqueta a escala esta encaminada satisfacer inquietudes de la operación practica del motor JT8D, como complemento didáctico del programa analítico que contempla la mencionada cátedra y en consecución de la Licencia Tipo II (Motores), previo el rendimiento del examen en la D.G.A.C.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN.**

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico I.T.S.A, al estar vinculado con la actividad técnica aeronáutica del país como establecimiento educativo de formación de profesionales en el campo aeronáutico, requiere contar con materiales didácticos que desarrollen y asistan al aprendizaje de sus alumnos.

Por tanto, la construcción de una maqueta a escala 1:10 del motor jet JT8D con sus respectivos sistemas de combustible, ignición, arranque y aire de impacto, contribuirá a reforzar todos los conocimientos adquiridos en clase y llevarlos a la practica mediante operaciones demostrativas el laboratorio de Motores de aviación del ITSA.

## **1.3 OBJETIVOS.**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Construir una maqueta del motor JT8D, en escala 1:10, con los sistemas de combustible, ignición, arranque y aire de impacto, con el fin de conocer su funcionamiento.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- 1) Recopilar información pertinente al motor JT8D.
- 2) Analizar el funcionamiento y puesta en marcha del motor.
- 3) Sintetizar las condiciones de operación, en las fases de despegue, vuelo crucero y aterrizaje.
- 4) Comprobar de manera didáctica el sistema de combustible, ignición, arranque y aire de impacto para la activación del motor.
- 5) Determinar la función que cumplen cada uno de los accesorios, componentes y partes principales del motor.

#### **1.4 ALCANCE.**

El presente proyecto de grado, plantea la construcción de una maqueta didáctica del motor JT8D, con el finalidad de satisfacer inquietudes de funcionamiento de este motor.

Inicialmente se recopila datos técnicos del motor JT8D, mediante manuales del motor, mantenimiento y operación del mismo.

A continuación se identifican las secciones principales, accesorios y componentes para la posterior simulación en maqueta.

Luego se analizan los sistemas de combustible, arranque, ignición y aire de impacto, con sus respectivos componentes y accesorios.

Finalmente se procede a construir la maqueta del motor JT8D, efectuando una analogía en base al funcionamiento del motor en su escala real.

La presentación de este proyecto esta enfocado hacia los tecnólogos en formación, especialmente en la Carrera de Mecánica Aeronáutica, dado que este motor se estudia en la cátedra de Motores de aviación II, con el propósito de utilizar este recurso técnico didáctico en demostraciones prácticas de operación.

## **CAPITULO II.**

### **INVESTIGACIÓN DEL MOTOR JT8D.**

#### **2.1 GENERALIDADES DEL MOTOR JET JT8D.**

La casa constructora del motor JT8D es Pratt & Whitney de origen canadiense, es uno de los motores más utilizados dentro de la línea de los aviones Boeing y Douglas, por ejemplo se utiliza estos motores en los aviones Boeing 737-100/200, Boeing 727-100/200 y los Douglas MD-83.

La nomenclatura técnica de este motor esta dada de la siguiente manera:

#### **JT8D - XXXXX.**

**J** : motor jet.

**T** : trust ( empuje ) .

**8** : versión.

**D**: Casa fabricante (Pratt & Whitney).

**XXXXX**: Numero de libras de empuje que genera.

**Ejemplo:** JT8D – 17000

Significa que se trata de un motor jet puro de la constructora Pratt & Whitney de versión ocho, que su empuje máximo es de 17000 lbs.

Este motor es de flujo de aire axial dado que este fluye desde adelante hacia atrás, comenzado desde la sección del fan hacia la tobera de salida de los gases de escape.



Figura 2.1. Motor jet JT8D.

Además se encuentra equipado con sistema de combustible avión / motor, sistema de arranque neumático, sistemas de ignición, eléctrico e hidráulico y sistemas de aire de sangrado.

### **2.1.1 Introducción técnica del motor JT8D.**

Este tipo de motor es un turbo reactor puro de doble compresión axial y provee un empuje máximo hasta 17.400 lbs dependiendo de la versión.

La operación de este motor jet, se deriva de la tercera Ley de Newton, conocida como *“ley de acción y reacción”*, la misma que formula *“cuando dos partículas interactúan, la fuerza sobre una partícula es igual y opuesta a la fuerza sobre la otra”*.<sup>1</sup>

En el caso del motor a reacción, la trayectoria de los gases de escape es dirigida hacia atrás e impulsan a la aeronave hacia adelante con la misma magnitud de fuerza, en este caso se evalúa en Libras de empuje.



Figura 2.2 Fuerza de acción y reacción en una aeronave

Este principio se logra cuando los motores de una aeronave generan una cantidad de empuje igual a la que se requiere para el movimiento de la aeronave en sentido contrario.

Debido a que el aire al ser un gas, se puede comprimir por lo que al quemarlo se expande, obteniendo una gigantesca expansión de gases (energía térmica), el cual al dirigirlo por una tobera, se convierte en energía de movimiento o cinética, logrando así aumentar la velocidad de salida de los gases con la finalidad de trasladar al avión hacia adelante.

---

<sup>1</sup> *El motor a reacción.*, por Valentín Sainz Diez. Página 12. Editorial Paraninfo; Madrid 1989. Dentro de Mecánica, el estudio de la relación entre fuerzas y movimiento se denomina Dinámica.

### 2.1.2 Aplicación de este motor en la aeronave Boeing 737 y 727.

La aeronave Boeing 727 100/200, dispone de tres motores jet JT8D, generalmente el empuje generado cada motor es 17.000 lbs de empuje en marcha máxima, dependiendo de su respectiva versión y compatibilidad.

Los tres motores se localizan en la parte posterior del avión, distribuido dos de ellos a los lados del fuselaje y un motor en la parte superior del fuselaje.



Figura 2.3. Boeing 727 – 200

En el avión Boeing 737-100/200/Advance se dispone de dos motores JT8D, con un empuje máximo por motor de 15.500 lbs en su marcha máxima.

La ubicación de los motores se dispone bajo las alas izquierda y derecha respectivamente.



Figura 2.4. Boeing 737-200

### 2.1.2.1 Funcionamiento del motor jet básico.

El aire que ingresa en el motor se comprime por etapas de compresión tales como; fan, compresor de baja y alta presión, luego el aire es dirigido hacia las cámaras de combustión por medio de un difusor que reduce la velocidad del aire, una vez el aire admitido en las cámaras de combustión, se inyecta combustible y la chispa de ignición, los tres elementos realizaran la combustión y elevan la temperatura y presión, liberando gran cantidad de energía térmica en las turbinas tanto de alta como de baja presión.

El choque térmico sobre las turbinas, producen energía cinética con la finalidad de mover el compresor y los accesorios del motor, dado que los rotores de la turbina de alta y de baja presión están acoplados a los compresores de altas y de baja presión respectivamente, posteriormente en la tobera de escape se aprovechan el resto de energía liberada acelerando la corriente de gases de escape generando empuje.

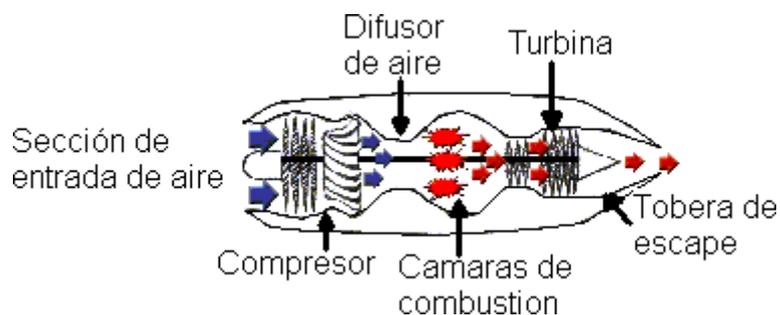


Figura 2.5. Secciones principales de un motor jet

### 2.1.2.2 Libras de empuje desarrolladas por el motor JT8D.

Según la versión del motor JT8D se tiene diferentes versiones tanto de motores como de aviones:

Tabla 2.1. Versiones de motores JT8D con sus características

<b>MOTOR</b>	<b>VERSIONES DE AVIONES 737</b>	<b>LIBRAS DE EMPUJE ( Lbs).</b>	<b>RELACION DE PRESIÓN E.P.R</b>
JT8D-7/7A/7B	737-100/200	14,000	1.10
JT8D-9/9A	737-100/200	14,500	1.04
JT8D-15/15A	737- 200Adv	15,500	1.04
JT8D-17/17A	727-200Adv	16,000	1.02
JT8D-17R	727-200Adv	17,400	1.00

### 2.1.3 Secciones principales del motor JT8D.

El motor JT8D esta conformado de estaciones secuenciales que son las siguientes:

- 1) Dos etapas de Fan, en la parte delantera.
- 2) Cuatro etapas de compresor de baja presión.
- 3) Siete etapas de compresor de alta presión.
- 4) Una sección del difusor de aire.
- 5) Nueve cámaras de combustión tipo canulares.
- 6) Una etapa de turbina de alta presión.
- 7) Tres etapas de turbina de baja presión.
- 8) Sección de la tobera de escape y cono difusor.

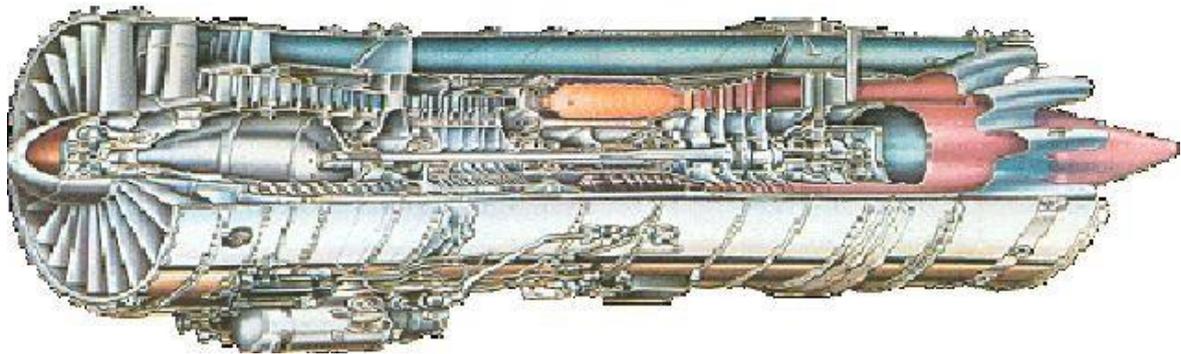


Figura 2.6. Corte seccionado del motor JT8D

### 2.1.3.1 Sección de entrada de aire.

La entrada de aire en este motor es de carácter subsónico debido a que la velocidad de la aeronave no sobre pasa el mach o velocidad del sonido; por esta razón la forma de la entrada es divergente, por consiguiente cambia la energía de velocidad en energía de presión como se indica a continuación:

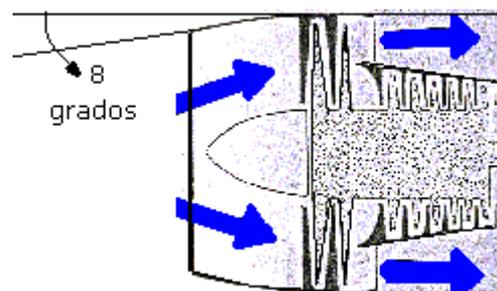


Figura 2.7. Toma de aire del motor JT8D

El ángulo de divergencia de la toma de aire es máximo de 8 grados, para evitar que exista turbulencia.

Las velocidades del motor varían independientemente de la velocidad de la aeronave, por lo cual es ideal mantener una constante de velocidad y presión a la entrada del motor.<sup>2</sup>

En la toma de aire del motor se encuentra un rotor llamado Fan que tiene un mayor diámetro que los rotores del compresor.

El Fan tiene por función admitir gran cantidad de la masa de aire que se lo enviara la sección de compresión del motor.

#### 2.1.3.1.1 Diagrama P-V-T de la toma de aire.

La siguiente representación de Presión- Velocidad - Temperatura, se basa a las condiciones físicas que suceden en la toma de aire del motor.

Se observa que la Presión y la Temperatura Aumenta mientras que la Velocidad Disminuye.



Figura 2.8. Diagrama P-V-T en la toma de aire.

#### 2.1.3.2 Sección de compresión de baja presión.

---

<sup>2</sup> "El motor a reacción". por Valentín Sainz Diez. Página 37.

La función principal de un conducto de entrada de aire es recuperar al máximo la presión de aire y enviarla al compresor con un mínimo de pérdidas.

El motor JT8D se compone de dos compresores de alta y de baja presión, en el compresor de baja presión se acopla el fan que es de mayor diámetro que el compresor.

En general tanto en el compresor de alta como en el de baja se trata de aumentar la presión de aire de impacto para que llegue de forma optima hacia las cámaras de combustión.

Este compresor se compone de 6 etapas, entendiéndose por etapa a una sección de estator y otra de rotor.

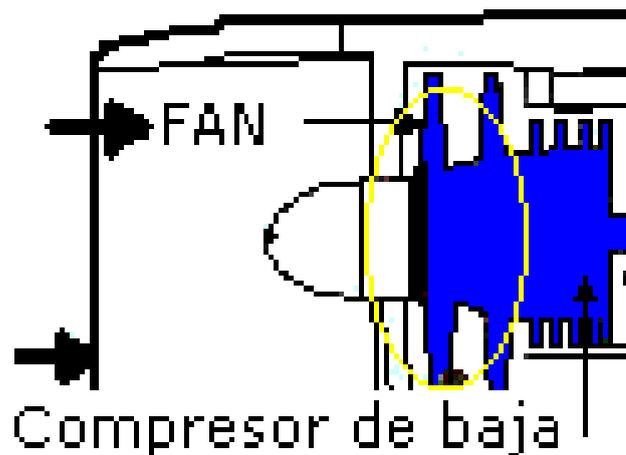


Fig.2.9. Compresor de baja presión acoplado con Fan

### 2.1.3.3 Sección de compresión de alta presión.

El compresor de alta presión se constituye de 7 etapas que aumentan la presión. Tanto el compresor de alta como de baja presión se acoplan por ejes coaxiales a las turbinas de alta y de baja presión respectivamente.

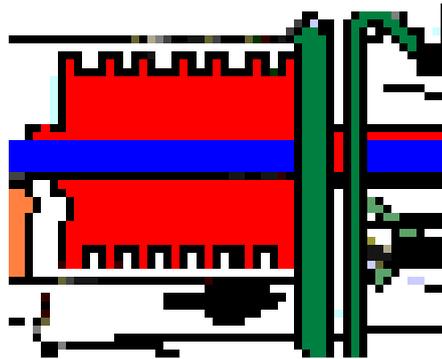


Fig.2.10. Compresor de alta presión

#### 2.1.3.3.1 Diagrama P-V-T en el compresor.

Se aprecia para cada sección rotor y estator un comportamiento diferente de la presión, velocidad y temperatura, tratando siempre de aumentar la presión y temperatura mientras que la velocidad tiende a bajar en los estatores.

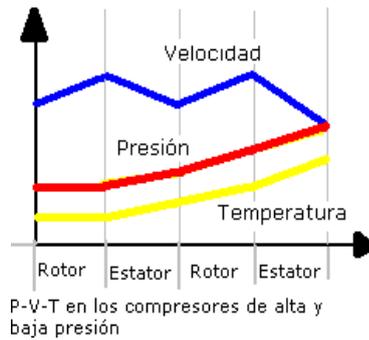


Fig.2.11. Diagrama P-V-T en la sección del Compresor.

#### 2.1.3.4 Sección difusora de aire.

Después que el aire atraviesa la última etapa del compresor de alta, este ingresa por una zona divergente que provoca la reducción de la velocidad hasta un valor adecuado para su mezcla del combustible en las cámaras de combustión.

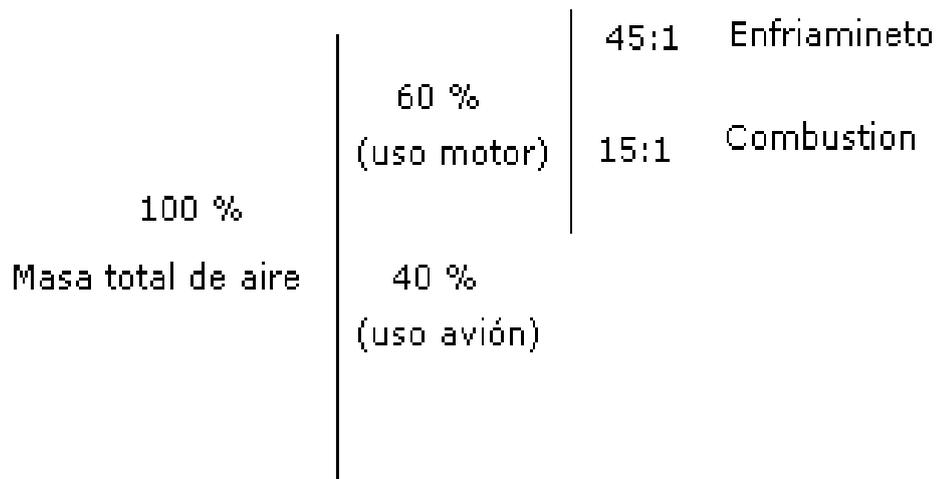
Las altas velocidades a la entrada de la cámara de combustión pueden producir que se apague la llama, la velocidad se reduce de 120 m/seg a 20 m/seg.<sup>3</sup>

#### 2.1.3.5 Sección de cámaras de combustión.

<sup>3</sup> “El motor a reacción”. por Valentín Sainz Diez. Página 54. La sección difusora de aire en el motor JT8D, es al final de la etapa 13 de compresor, en donde el aire se encuentra a 400 ° C.

El motor del 100% de aire se divide en dos porcentajes como se indica a continuación:

- a) El 60 % se utiliza en el motor para la combustión y su enfriamiento.
- b) El 40 % se utiliza para usos generales en el avión.



La cámara de combustión es de forma cilíndrica, la cual esta conformada de una pared interna, conocida como “*tubo de llama*”<sup>4</sup> por estar en contacto directo con la combustión como se indica en la figura 2.12.

El tubo de llama posee una serie de ventanillas por las cuales ingresa el aire secundario reduciendo la temperatura aproximadamente a 1000° C, que puede admitir la turbina, ya que la temperatura de combustión alcanza hasta 1800°C.

---

<sup>4</sup> El motor a reacción., por Valentín Sainz Diez. Página 12. Editorial Paraninfo; Madrid 1989. Un material muy utilizado en las cámaras de combustión es el Nimonic 75, el cual es una aleación de níquel, cromo, titanio, aluminio y cobalto) con el fin de mejorar las características de resistencia de altas temperaturas.

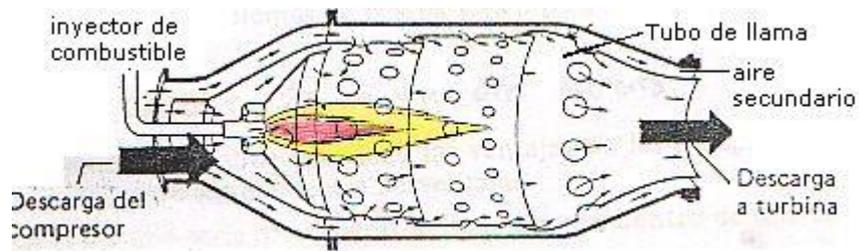


Figura 2.12. Cámara de combustión.

En este motor se dispone de nueve cámaras de combustión tipo canulares, cada cámara lleva su propio inyector de combustible, dos cámaras de combustión están provistas de dos bujías o quemadores las mismas que se ubican en la cámara numero 4 y 7 ( Vista desde atrás).

El motivo de llevar dos bujías es por seguridad, pues con una sola es suficiente.

La propagación de la combustión se la realiza mediante tubos de conexión de llama, los cuales están distribuidos en todas las cámaras como se aprecia en la figura 2.13.

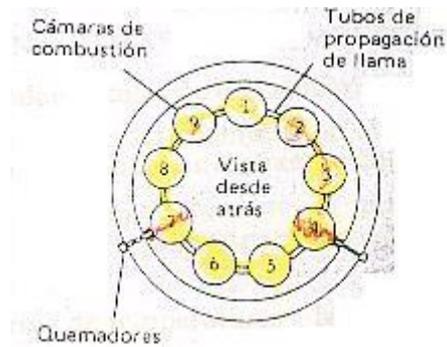


Figura 2.13. Configuración de las cámaras de combustión.

El motor a reacción no necesita de un encendido continuo, solo se prendera una sola vez, la combustión se mantendrá durante toda la operación del motor.

Se conectara el sistema de ignición cuando en condiciones de despegue, turbulencia, vuelo en lluvia, etc; y se desconectara en vuelo normal.

#### 2.1.3.5.1 Diagrama P-V-T en cámaras de combustión.

Se observa que la temperatura aumenta bruscamente ya que se produce en encendido de la llama, tanto la velocidad como la presión permanece constante para no apagar la llama y mantener en equilibrio las presiones entre las paredes internas y externas de la cámara de combustión.

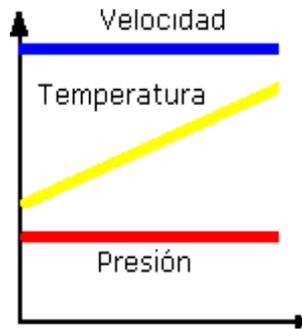


Figura 2.14. Diagrama P-V-T en cámaras de combustión.

### 2.1.3.6 Sección de turbina.

Se compone de dos secciones tanto de baja como de alta presión.

En la turbina de alta presión se dispone de una etapa ( estator / rotor ) la cual tiene que soportar un gran choque térmico y esfuerzos de termo fluencia.

En la turbina de baja presión se dispone de tres etapas, la cual esta conectada con el compresor de baja presión mediante un eje interno.

Las turbinas tanto de alta como de baja presión soportan esfuerzos de tracción y flexión, así como también esfuerzos de termo fluencia.

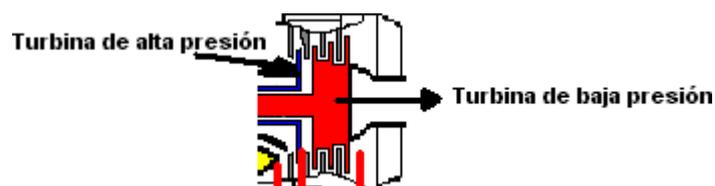


Figura 2.15. Turbina de alta y baja presión

### 2.1.3.6.1 Diagrama P-V-T en la turbina.

Se puede apreciar que la velocidad aumenta en el estator de la turbina y se reduce en el rotor, mientras que la presión y temperatura disminuyen.

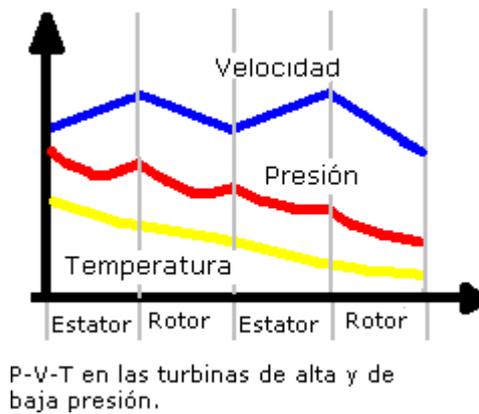


Figura 2.16. Diagrama P-V-T en la turbina.

### 2.1.3.7 Sección de toberas de escape.

La tobera de escape tiene por función expandir los gases desde la turbina hasta la atmósfera, de manera que produzca un máximo empuje.

De esta manera la tobera de escape es el dispositivo propulsor del motor de reacción y se aplica para una tobera subsónica, que se configura como se indica en el Figura 2.17.

En la parte interna de la tobera se dispone de soportes que sirven para sostener al eje posterior del motor y actúan como alabes guías para orientar los gases de escape en la dirección más axial posible.

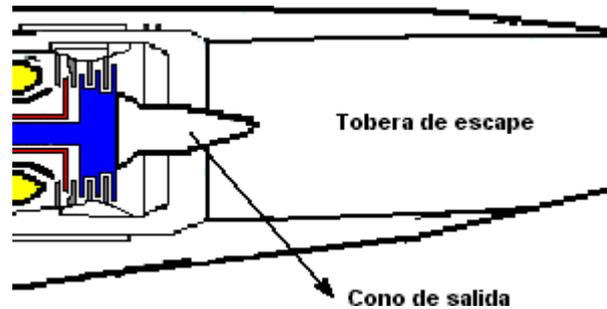


Figura 2.17. Configuración de la tobera de escape

#### 2.1.3.7.1 Diagrama P-V-T en la tobera de escape.

Dado que el área de salida de gases en la tobera es divergente, provoca que la velocidad de salida del aire aumente, mientras la presión y temperatura se reducen.

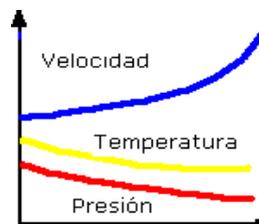


Figura 2.18. Diagrama P-V-T en la tobera de escape.

## **2.2 INVESTIGACIÓN DE LOS SISTEMAS DEL MOTOR.**

### **2.2.1 Sistema de Combustible.**

#### **2.2.1.1 Funcionamiento.**

El combustible utilizado en estos motores es JP-1, dentro de los tanques de combustible se dispone de dos bombas sumergidas que se activan por 115V AC, 400 Hz, trifásicas, las cuales tienen por función enviar el combustible hacia el motor, la presión de envío de combustible oscila entre 15 y 30 p.s.i.

Por otro lado el combustible es succionado desde el motor por las propias bombas de combustible del mismo, por lo cual en la primera etapa de la bomba de combustible del motor es de 15 p.s.i., si esta presión cae por debajo de 15 p.s.i, se activa en el panel de combustible una luz indicadora de baja presión de combustible (Low pressure).a menos de 15 p.s.i.

A continuación el combustible es dirigido hacia un intercambiador de calor (aire caliente / combustible frío) luego pasa al filtro. Si por alguna razón el filtro se obstruye por la formación de hielo se procede a energizar el Interruptor de paso de aire al intercambiador de calor del sistema de combustible ( FUEL HEAT).



Figura 2.19. Interruptor de paso de aire al intercambiador de calor del sistema de combustible.

La función principal del intercambiador de calor es para diluir el hielo formado en el combustible durante un minuto de operación, si la luz indicadora de filtro obstruido continua prendida, el combustible pasa al motor sin ser filtrado mediante la válvula by-pass.

Luego que el combustible atraviesa el filtro, llega a la bomba de alta presión, en la cual se incrementa la presión de combustible hasta 800-1000 p.s.i aproximadamente y continua hacia unidad de control de combustible (F.C.U), el cual es un dispositivo capaz de dosificar, medir y enviar el combustible adecuado a los inyectores en las cámaras de combustión de acuerdo a parámetros de operación del motor tales como:

- a) Presión estática en estación 4 del motor ( $P_{s4}$ ).
- b) Temperatura total en estación 2 del motor ( $T_{t2}$ ).
- c) Revoluciones del compresor de alta presión ( $N_2$ ).
- d) Palanca de mando de gases.
- e) Palanca de corte de combustible.

Enseguida el combustible ingresa a un sensor de flujo de combustible (fuel flow), el mismo que indica la cantidad de flujo de combustible que esta pasa al motor, luego se dispone de un intercambiador de calor (aceite / combustible), por lo cual se enfría el aceite y calienta el combustible.

Continuando con el sistema de combustible, se dispone de una válvula de presurización que funciona como distribuidora de combustible, enviando el combustible a los colectores tanto primario como secundario.

Finalmente el combustible llega hacia los inyectores e ingresa a las cámaras para realizar la combustión.

Los componentes del sistema de combustible se ubican en la parte inferior delantera del motor.

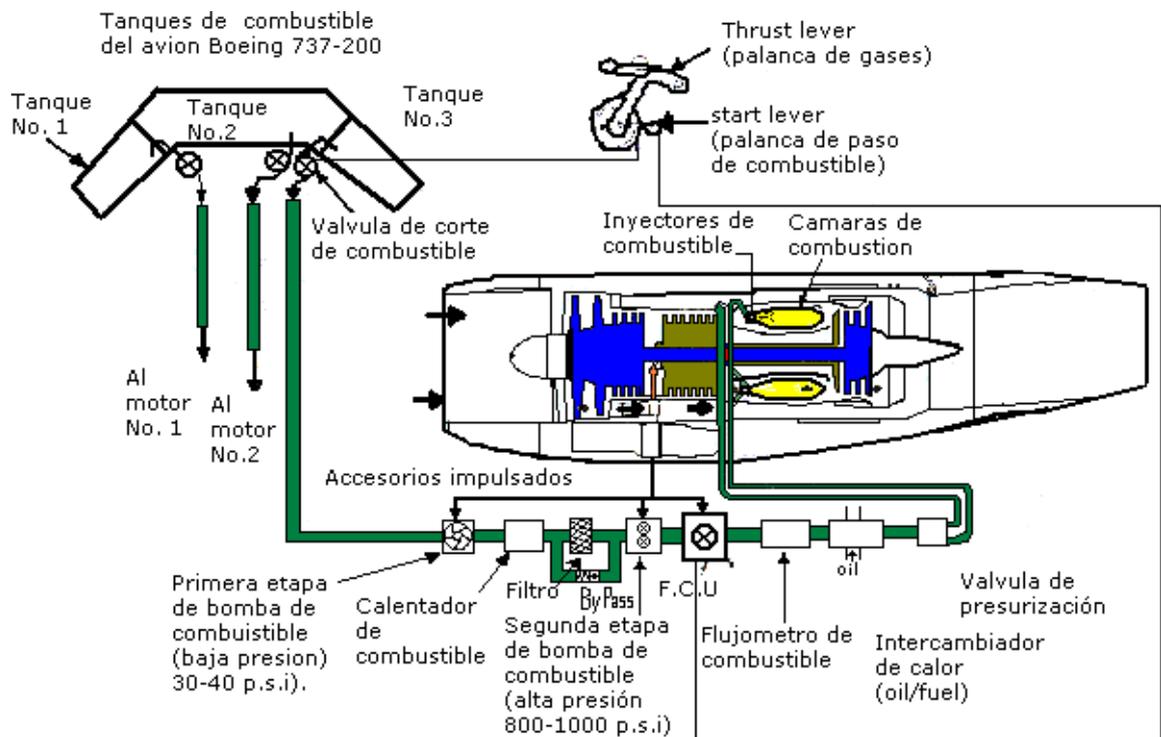


Figura 2.20 Diagrama del sistema de combustible del motor jet JT8D.

### 2.2.1.1.1 Tanques de combustible.

El combustible es almacenado en los tres tanques del avión ( Fig. 2.20) que forman parte de la estructura del avión, pasa a través de varios accesorios y componentes de tal forma que el combustible pase de forma adecuada hacia el motor.



Figura 2.21 Configuración de los tanques de combustible de la aeronave Boeing 737.

#### **2.2.1.1.2 Bomba de alta y de baja presión.**

La activación de estas bombas dependen únicamente de las revoluciones del motor, ya que se conecta con la caja de engranajes del mismo, de esta manera las bombas de alta y de baja presión de combustible, se constituyen como parte de la misma.

#### **2.2.1.1.3 Filtros y válvula de by pass.**

El filtro retiene a limallas o partículas diminutas hasta de 40 micrones, razón por la cual existe un riesgo de obstruirse por la formación de hielo en el combustible por el descenso de temperatura, por lo cual se dispone de una válvula de by pass para que fluya el combustible sin ser filtrado hacia el motor.

#### 2.2.1.1.4 Unidad de control de combustible (F.C.U).

La unidad de control de combustible, es un importante dispositivo del sistema de combustible, ya que se encarga de regular la cantidad optima y exacta de combustible para la operación del motor en diversas condiciones de presión ambiental y temperatura, este dispositivo forma parte del conjunto de accesorios activados por el motor.

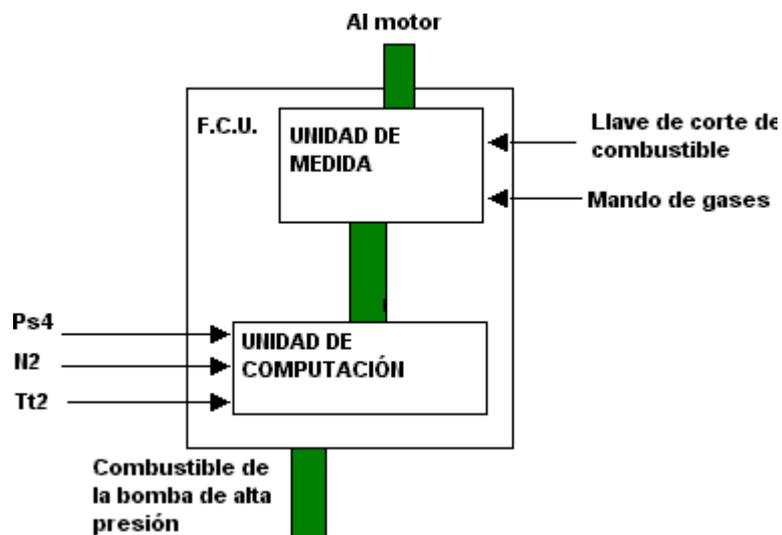
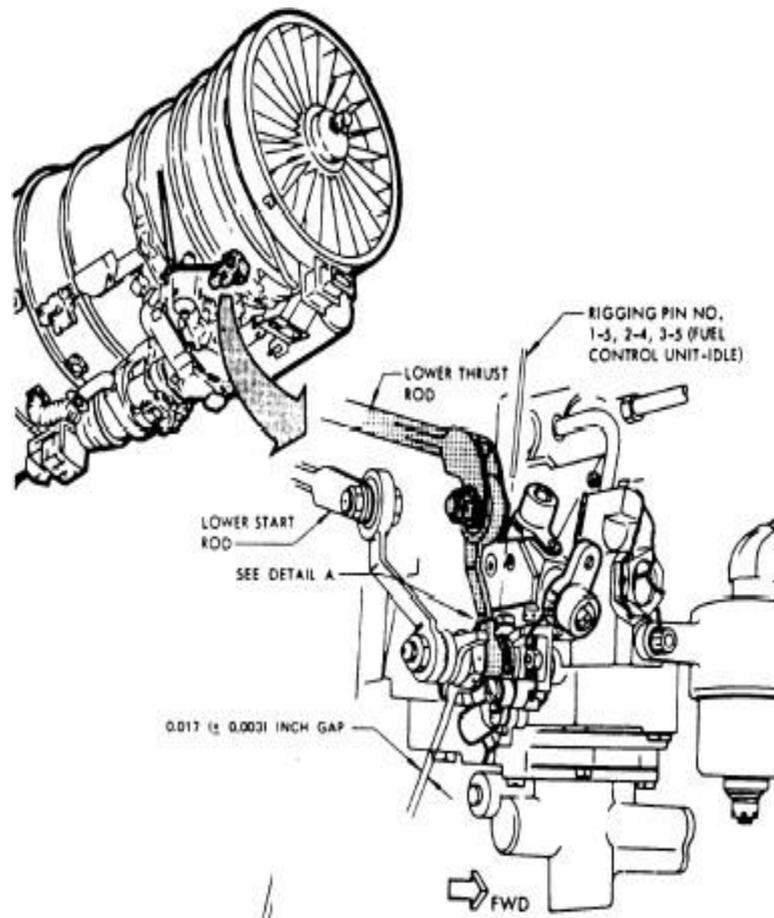


Figura 2.22 Configuración interna de la unidad de control de combustible

La unidad de control de combustible en el motor se ubica en la parte lateral derecha como se aprecia en la figura 2.23, la cual se gobierna desde la cabina de mando por un sistema de cableado para cada motor, el mismo que debe estar calibrado para su correcta operación.



Sistema de cableado para control de potencia de los motores desde la cabina de mando.



Figura 2.23 Configuración de control de la unidad de control de combustible.

### 2.2.1.1.5 Intercambiador de calor (aire y combustible).

En el caso de obstrucción del filtro por la formación de hielo se toma aire caliente desde la etapa 13 del compresor de alta presión con una temperatura aproximada de 400 ° C.

Este intercambiador tiene por función derretir el hielo formado por las bajas temperaturas atmosféricas.

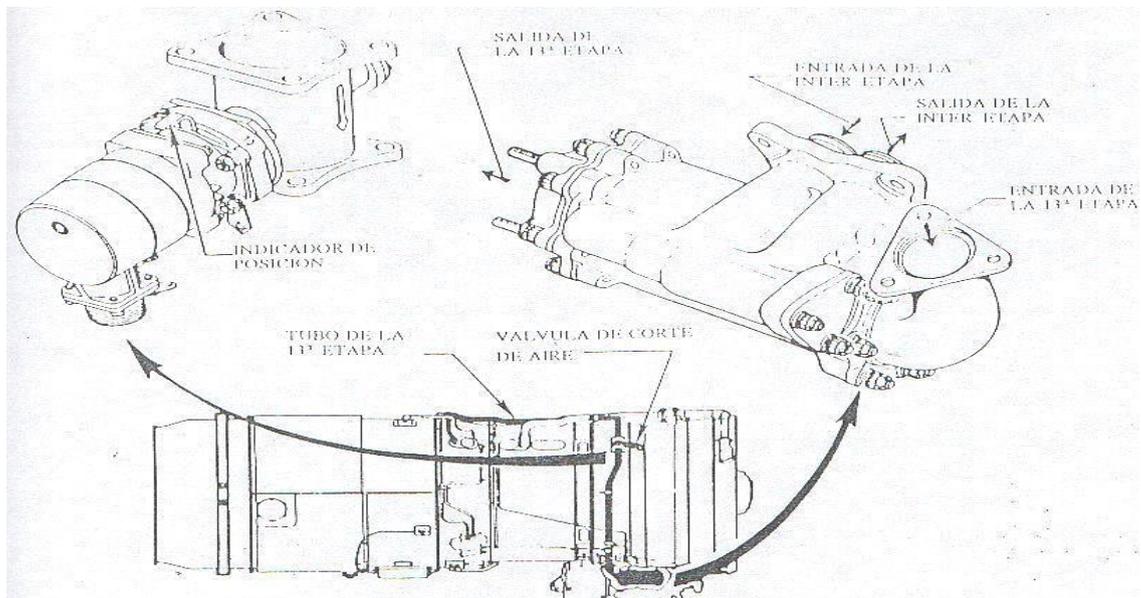


Figura 2.24 Intercambiador de calor (aire y combustible)

### 2.2.1.1.6 Intercambiador de calor ( aceite y combustible).

Para el funcionamiento óptimo del motor, el aceite que lubrica al mismo tiene que disminuir su temperatura y esto se lo realiza por un intercambiador de calor, enfriando al aceite y calentando al combustible.

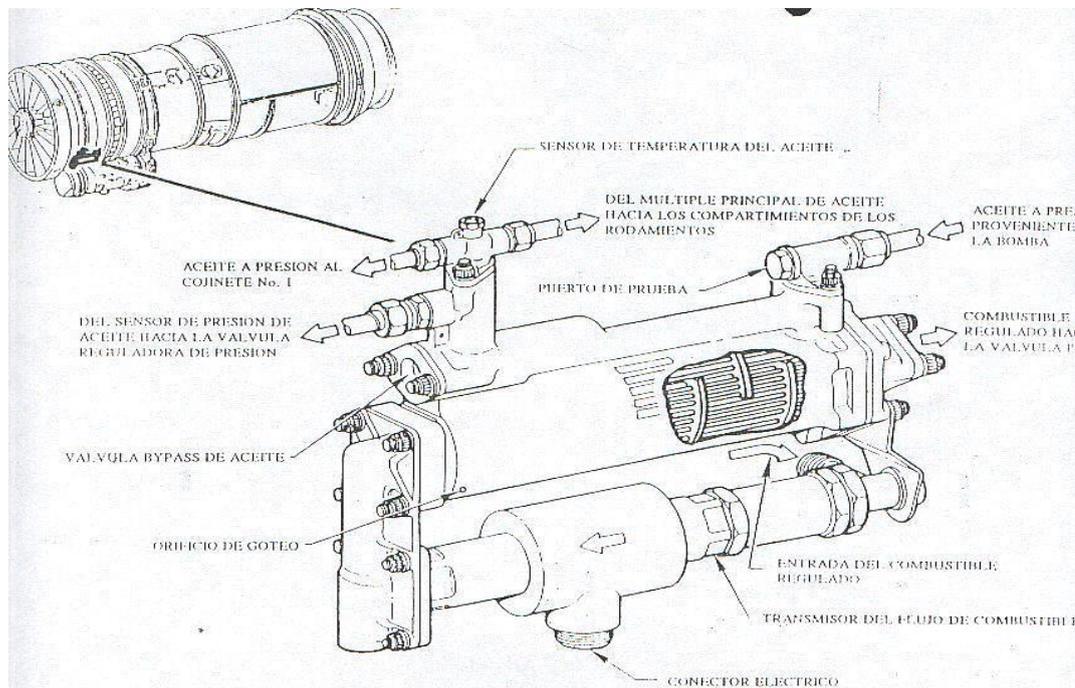


Figura 2.25 Calentador de combustible (aceite y combustible).

### 2.2.1.1.7 Válvula de presurización.

Esta válvula se encarga de dividir el flujo de combustible en dos partes, siendo estas de flujo primario y flujo secundario, para enviarlo hacia los inyectores de combustible mediante colectores de combustible.

Cuando la presión de combustible es baja, la válvula de presurización, distribuye el combustible hacia el colector primario, a medida que se incrementa la presión se la distribuye a los colectores tanto primarios como secundarios.

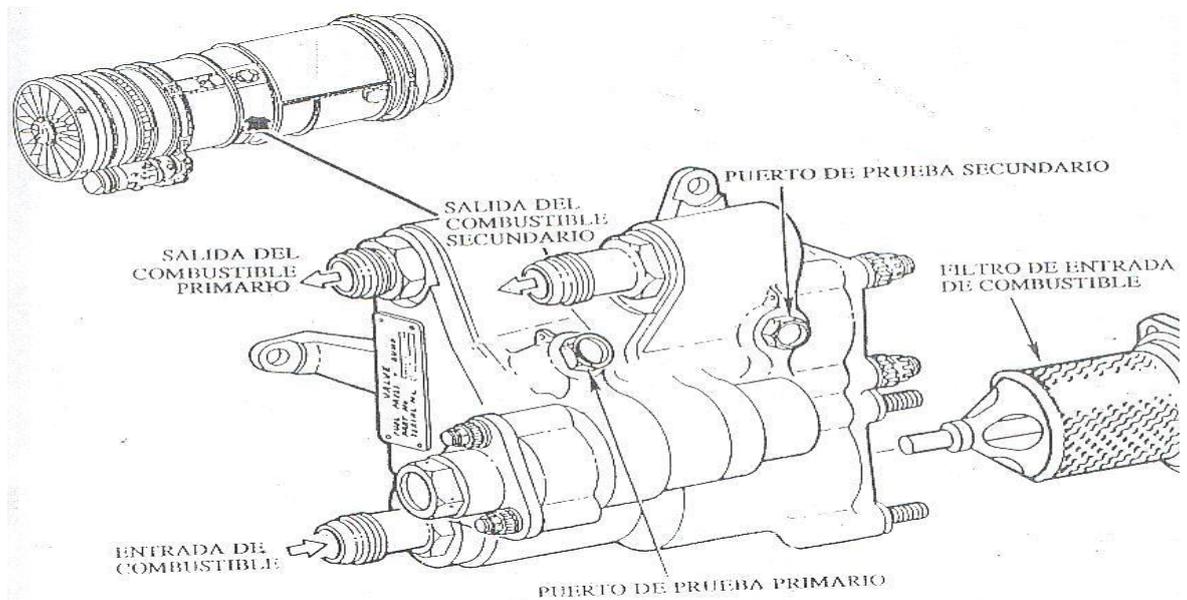


Figura 2.26 Válvula de presurización

#### 2.2.1.1.8 Inyectores de combustible.

Tienen por función inyectar el combustible en las cámaras de combustión de forma pulverizada o atomizada para que se produzca una combustión de manera óptima sin pérdidas ni deficiencias.

Para la inyección de combustible hacia todas las cámaras se dispone de un múltiple de inyección de combustible que distribuirá el combustible de forma equitativa tanto del flujo secundario como del primario.

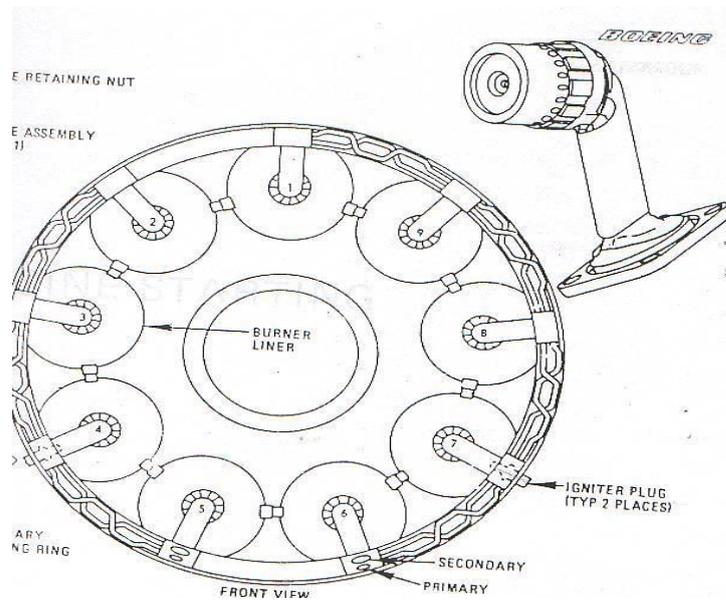


Figura 2.27 Distribución de los inyectores de combustible en las cámaras de combustión.

## 2.2.1.2 Componentes eléctricos.

### 2.2.1.2.1 Sensores de filtro obstruido.

Se dispone de dos sensores de diferencia de presiones que se encargan de medir la presión antes del ingreso de combustible al filtro y después de que lo atravesó al mismo; si se ingresa con 30 p.s.i, tendrá que salir con la misma presión; caso contrario el sensor emite una señal al indicador del panel de combustible con una luz ámbar indicando que el filtro se halla obstruido.



Figura 2.28 Indicación de filtro de combustible obstruido

#### 2.2.1.2.2 Sensor de flujo de combustible.

Tiene por función indicar en cabina el flujo de combustible que se envía a cada motor.

Este sensor se activa por 115 V AC, 400 Hz; mediante un sistema de paletas radiales se envía la indicación de acuerdo al número de revoluciones realizadas con el flujo de combustible.

### 2.2.1.2.3 Operación de la válvula de corte de combustible del tanque.

Esta válvula es activada desde cabina por medio de la palanca de paso de combustible ubicado en el pedestal de mando del motor; con esta palanca se habilitan dos válvulas primero la de paso de combustible desde el tanque y luego las válvulas internas de paso de combustible del F.C.U.

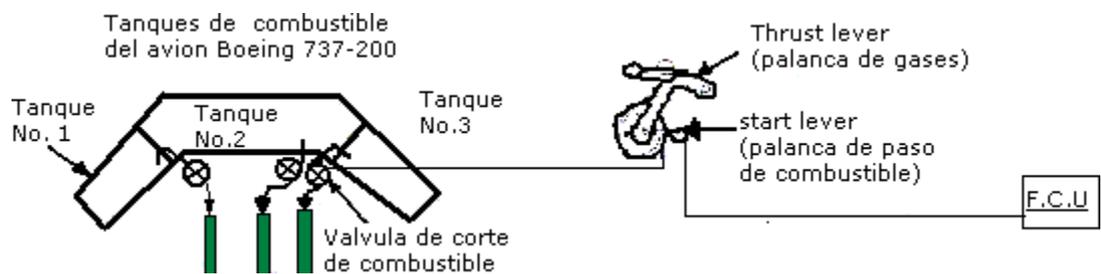


Figura 2.29 Palanca de corte de combustible.

### 2.2.1.3 Componentes mecánicos.

#### 2.2.1.3.1 Acoplamiento de la palanca de aceleración con la unidad de control de combustible y palanca de corte de combustible.

Mediante un sistema de cableado se acoplan la palanca de gases con el F.C.U y la palanca de corte de combustible con las válvulas de corte de combustible de los tanques y el F.C.U, y se configura como se muestra en la figura 2.30.

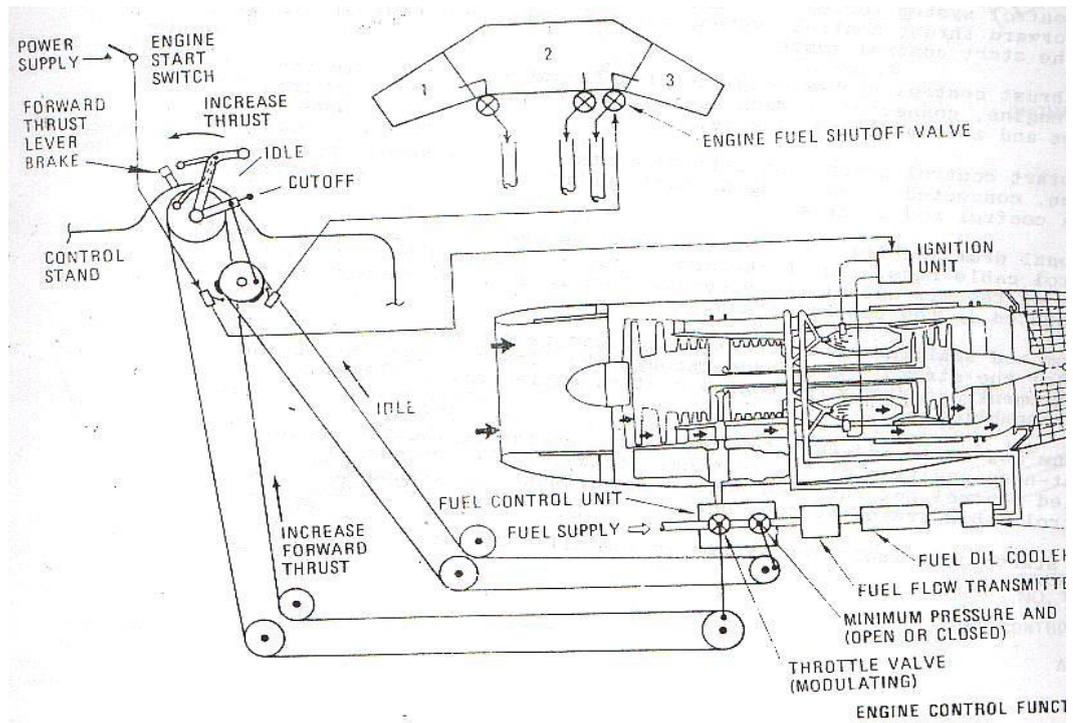


Figura 2.30. Diagrama de control del motor

## 2.2.2 Sistema de Ignición.

### 2.2.2.1 Descripción y funcionamiento.

El propósito del sistema de ignición es producir por medio una corriente de pulsación una chispa de ignición en la cámara de combustión dar lugar a la combustión de la mezcla aire-combustible.

El sistema se energiza de corriente alterna con 20 julios para activar una o ambas bujías.

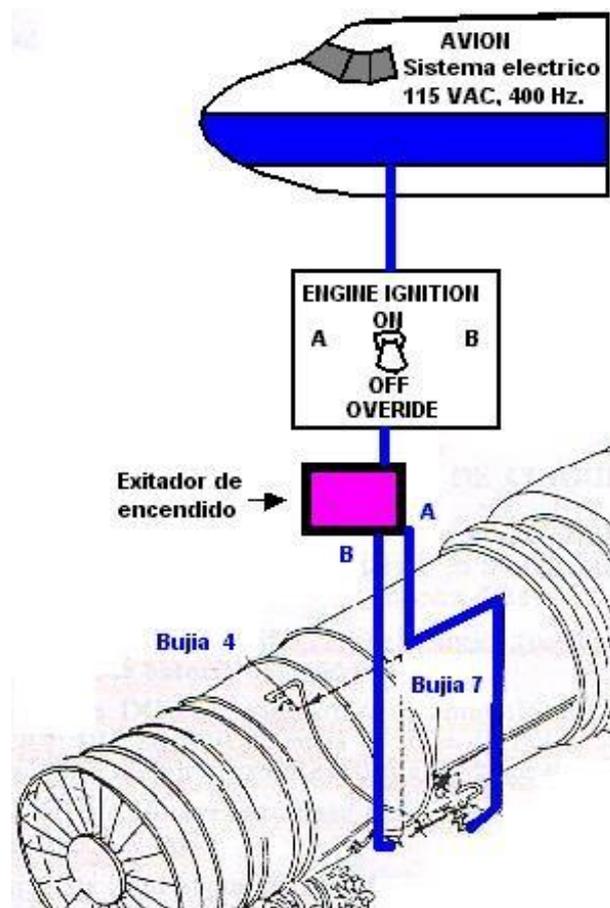


Figura 2.31 Configuración del sistema de ignición del motor.

### 2.2.2.2 Excitador de encendido.

El sistema se compone de un excitador de encendido que se compone de filtro anti ruidos, transformador, duplicador de voltaje y rectificador, condensador de almacenamiento, tubos de descarga, transformador de alta y por ultimo salida a la bujía.

El excitador de encendido se activa por corriente alterna ó continua y produce corriente pulsatoria con las siguientes características:

- a) Tensión de alimentación 24 voltios.
- b) Tensión en bujías 28.000 V.
- c) Energía de 20 Julios.

El régimen de frecuencia de chispa es de una por cada 2 segundos.

Como recomendación se debe tener sumo cuidado al trabajar con este equipo dado que emana altos índices de radiación por la energía que transforma y produce.

Este dispositivo se localiza en la parte lateral izquierda del motor como se indica en el siguiente grafico de la figura 2.32.

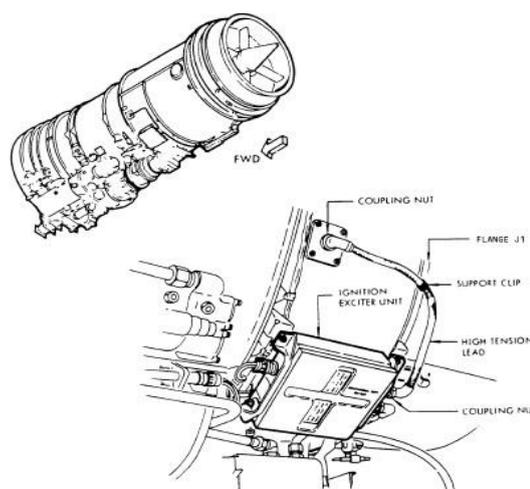


Figura 2.32 Localización de la caja excitadora de encendido

### 2.2.2.3 bujías de ignición.

El componente encargado de producir el chispazo de alta tensión dentro de la cámara de combustión es la bujía.

Se dispone de dos bujías, se localizan en las cámaras 4 y 7.

El motivo de llevar dos bujías es por seguridad, pues con una sola es suficiente.

La propagación de la combustión se la realiza mediante tubos conectores de llama distribuidos en todas las cámaras.

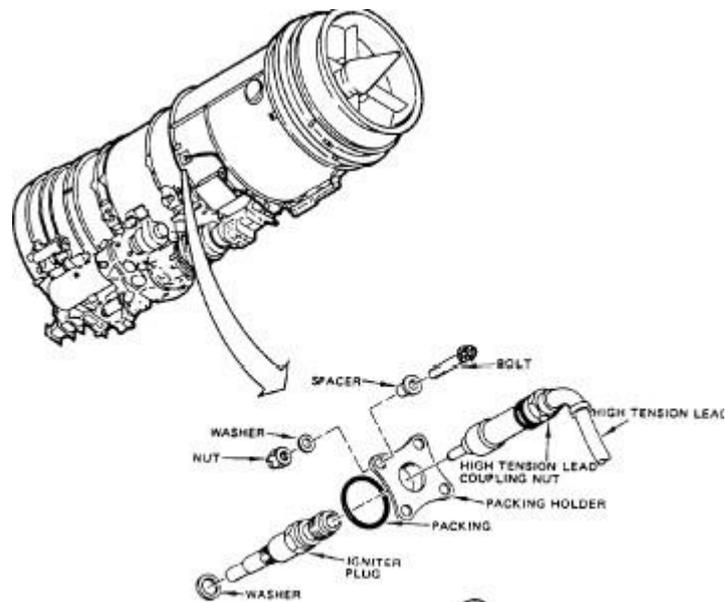


Figura 2.33 Bujía de ignición

### **2.2.3 Sistema de arranque.**

#### **2.2.3.1 Descripción y operación.**

Para el arranque del motor se lo realiza mediante un sistema neumático, es decir, se usa aire a presión par generar las primeras revoluciones del motor hasta valores que el motor sé auto sustente.

Para lo cual se usa una fuente de aire que suministre una presión 36 p.s.i, y las fuentes neumáticas son:

- a) Planta externa neumática.
- b) APU (Unidad de poder auxiliar).
- c) Aire desangrado de otro motor al 80% de operación.

El aire a presión es censado desde las fuentes ya descritas con 36 p.s.i. que se indica en un manómetro ubicado en el panel de control neumático.

Una vez selectada la fuente que nos proveerá el aire, este será enviado desde su fuente hacia la start valve (válvula de arranque) y se mantendrá selectado el interruptor de START, la cual deja pasar aire hacia el Starter (motor de arranque) que es una turbina pequeña que se mueve por la presión de aire que atraviesa sobre sus álabes.

El starter (motor de arranque) esta conectado por una serie de engranajes hacia el compresor de alta presión N2, y por consiguiente el compresor comenzara a moverse, en el panel de control del sistema de arranque se observa que la presión disminuye dado que se utiliza la presión de aire en el motor de arranque, cuando el compresor de alta presión comienza a moverse, en cabina se observa el indicador tacómetro del compresor de alta presión (N2) que se indica en porcentaje, el cual ya comienza a censar las primeras revoluciones debido a que esta provisto de un generador tacómetro, el cual genera su propia corriente para la indicación, sin necesidad de electricidad externa.

Por otro lado los alabes del compresor de alta presión están instalados con un cierto ángulo de ataque, de tal manera que realizan un efecto de absorción de aire, con lo cual genera suficiente una suficiente fuerza aerodinámica para mover al compresor de baja presión (N1) sin tener ninguna conexión mecánica, mas que un efecto aerodinámico.

Durante el arranque, cuando N2, indique que esta en 20 %, N1 deberá estar en un 5% de revoluciones para un arranque normal, y se procede abrir la llave de corte de combustible desde el 15 al 20 % de N2, durante el arranque se deberá comprobar los paramentos de aumento de E.G.T (temperatura de los gases de escape) y Fuel flow (flujo de combustible).

Al 30 – 40 % de N2 se suelta el interruptor de ENGINE START, debido a que el motor se auto sustenta por el aire de impacto que absorbe y ya no es necesario de aire a presión para mover el compresor de alta presión, por lo cual se cierra la start valve y por consiguiente disminuye revoluciones del motor de arranque neumático (Starter) hasta apagarse.

Finalmente se estabilizan los parámetros de relanti del motor que a nivel del mar y temperatura estándar de 15°C son:

E.P.R = 1,04.

N1 = 32%.

E.G.T = 300 °C.

N2 = 55%.

Las condiciones y parámetros de operación difieren de acuerdo a la altitud de aeropuerto, temperatura y presión ambiental.

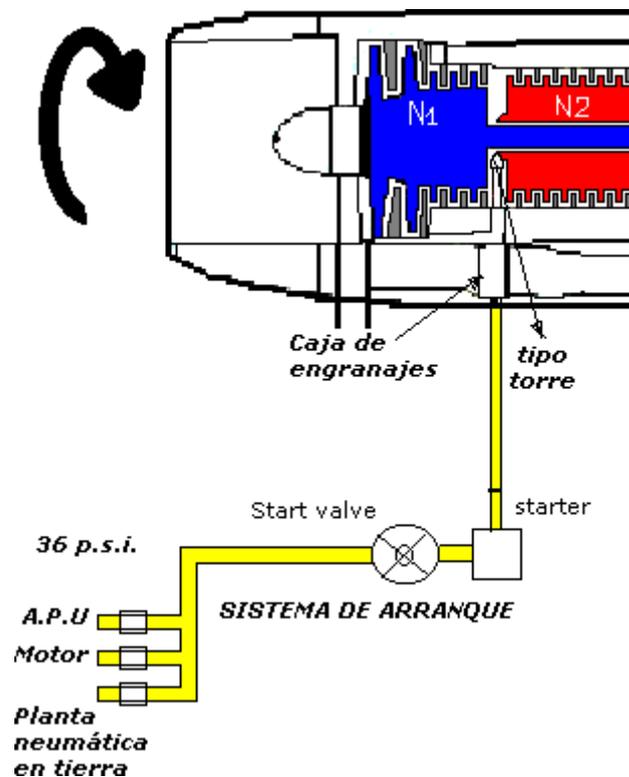


Figura 2.34 Diagrama del sistema de arranque neumático

### 2.2.3.2 Válvula neumática de arranque.

Mediante esta válvula se permite el paso de aire a presión (36 p.s.i) desde la fuente hacia el Starter ( motor de arranque); esta se activa en cabina cuando se selecciona el interruptor ENGINE START.

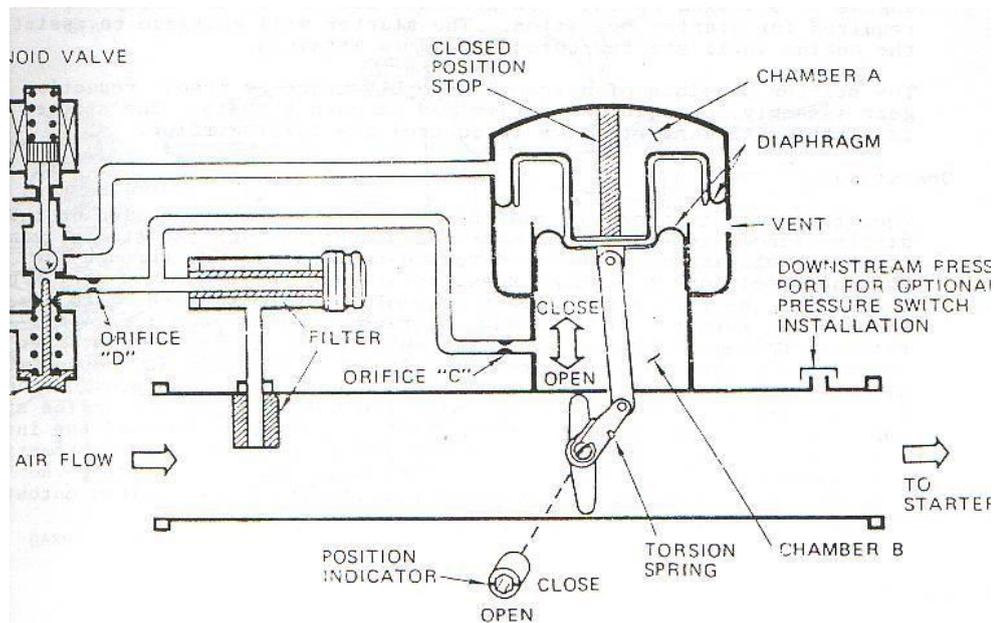


Figura 2.35 Válvula neumática de arranque.

### 2.2.3.3 Motor de arranque neumático (Starter).

Se trata de una pequeña turbina instalada en la sección de accesorios del motor que tiene una conexión con la caja de engranajes la misma que se conecta con el compresor de alta presión (N2) mediante un engranaje con extensión tipo torre durante la operación de arranque.

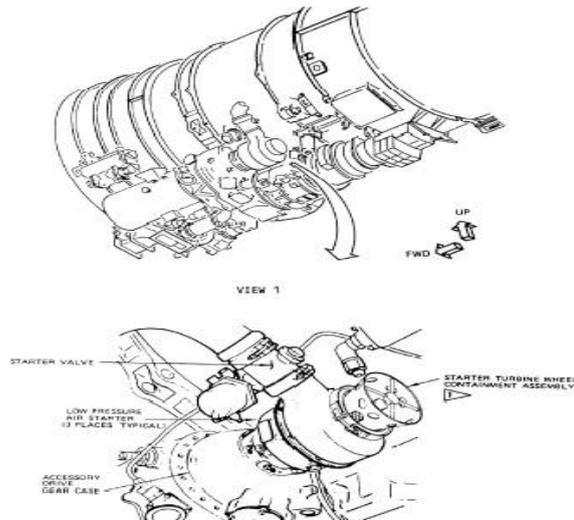


Figura 2.36 Motor de arranque neumático (starter).

#### 2.2.4 Aire de impacto.

Mediante la presión atmosférica existente al rededor de la operación de la aeronave; el aire de impacto es el aire que atraviesa toda la aeronave y por ende al motor, el cual puede estar acompañado de ciertas condiciones metereológicas adversas como humedad, tormentas, temperaturas excesivas, lluvia, etc.

Estas condiciones adversas, afectan esencialmente a la aeronavegabilidad de la aeronave así como también afecta a restricciones de operación.

Para eliminar estos problemas el motor dispone de sistemas anti hielo, sistemas de enfriamiento, sistemas de aviso / precaución en caso de algún desperfecto y emergencia.

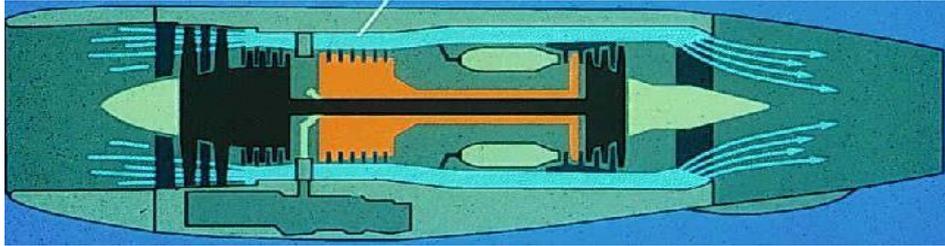


Figura 2.37 Aire de impacto sobre el motor JT8D

#### 2.2.4.1 Presión ambiental.

Como parámetro estándar se determina la presión ambiental a nivel del mar de 29,92 pulgadas de Mercurio.

Se conoce por física que a medida que se aumenta la altura disminuye la presión atmosférica, razón por la cual se debe calibrar adecuadamente al motor mediante tablas de operación, con la finalidad de tener un óptimo rendimiento del motor sin sobre pasar los límites de operación del mismo.

La operación del motor puede ser a nivel del mar o en la altura.



Figura 2.38 Presión ambiental aeropuerto.

#### **2.2.4.2 Altitud de aeropuerto.**

Es proporcionada por la indicación del altímetro y la torre de control, debido a que la altura y presión van de la mano, la torre de control informara la presión barométrica que se procederá a seleccionar en el altímetro y por consiguiente variara la altitud.

Por otro lado el F.C.U. ( Unidad de control de combustible), recibe la señal de presión de aire en la entrada del motor, para computarizar la cantidad optima paso de combustible para el motor.



Figura 2.39 Altitud de operación.

#### **2.2.4.3 Temperatura ambiente.**

Otro factor determinante para la operación del motor, es la temperatura que la unidad de control de combustible (F.C.U) realizara un computo para enviar la cantidad optima de combustible hacia el motor.



Figura 2.40 Temperatura de operación

#### 2.2.4.4 Selección de la relación de presión del motor (E.P.R).

La selección de E.P.R, es la relación de presión del motor, que es un factor de relación entre la presión de aire de entrada al motor ( $p_{t2}$ ) y la presión de salida de la turbina ( $p_{t7}$ ), por ejemplo:

$$P_{t2} = 29,93 \text{ pul Hg.}$$

$$P_{t7} = 31,11 \text{ pul Hg.}$$

$$E.P.R = p_{t7} / p_{t2}$$

$$E.P.R = 29,93 \text{ pul Hg.} / 31,11 \text{ pul Hg.}$$

$$E.P.R = 1,04$$

Con la selección de E.P.R, en 1,04; representa la relación de compresión del motor que se aplicara para el vuelo planeado.

Los valores de pt7 y pt2 se derivan de tablas ya establecidas en el libro de operación del motor y estos dependerán de presión de aeropuerto, temperatura, humedad que determine la torre de control para la operación normal.

#### **2.2.4.5 Condiciones de operación durante despegue, vuelo y aterrizaje.**

El piloto al mando de la aeronave asumirá una opinión decisiva en cuanto a la operación segura de la aeronave en su conjunto y más aún con el grupo motor propulsor, y es el responsable de realizar el vuelo de forma segura de manera que no afecte a la seguridad de la aeronave; para lo cual se cuenta con un manual de límites de operación para cada motor y aeronave, lo cual adjunto en el Anexo C.

## **2.3 INSTRUMENTOS DE INDICACIÓN DEL MOTOR.**

Para el monitoreo del funcionamiento del motor en la aeronave 737-200 Advance se dispone de los siguientes instrumentos:

- a) Indicador de la relación de presión del motor (E.P.R).
- b) Indicador porcentual de las revoluciones del compresor de baja presión (N1).
- c) Indicador de la temperatura de los gases de salida (E.G.T).
- d) Indicador porcentual de las revoluciones del compresor de alta presión (N2).
- e) Indicador de flujo de combustible hacia los inyectores.

Por otro lado se tiene paneles de control de combustible, arranque neumático e ignición de dicho motor.

### **2.3.1 Relación de presión del motor (E.P.R).**

Como ya se explico este instrumento se lo tiene que seleccionar en cabina de acuerdo a la tabla de operación emitida por el fabricante de acuerdo a la altitud de aeropuerto, presión ambiental, temperatura, y es de uso exclusivo para el motor.

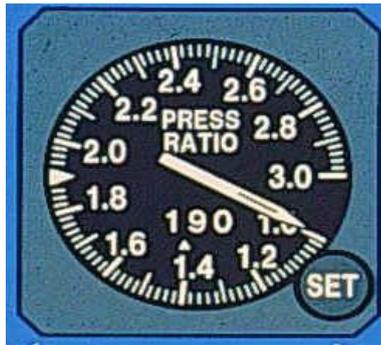


Figura 2.41 Indicador de relación de presión del motor.

El sistema de relación de presión del motor trabaja con dispositivo que censa la presión pt2 a la entrada del motor y pt7 a la salida de la turbina como se indica en la figura 2.42; Se procederá a selectara el valor E.P.R de acuerdo a los datos de operación del fabricante y el motor funcionara de manera optima de acuerdo a los parámetros establecidos.

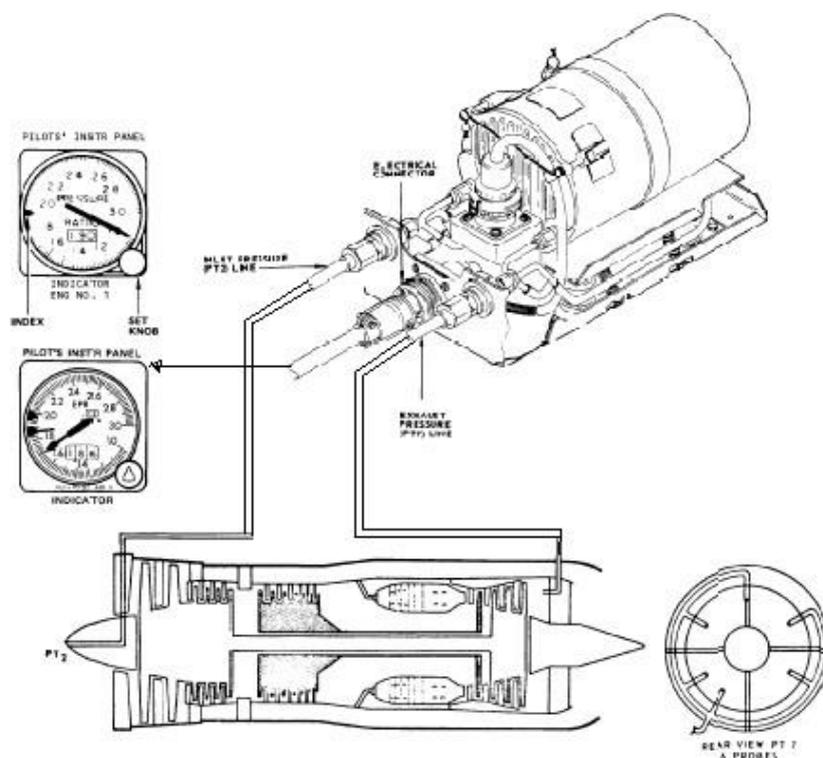


Figura 2.42 Configuración de los puntos de presión del E.P.R

### 2.3.2 Indicación de movimiento del compresor de alta presión (N2) y de baja presión (N1).

Los instrumentos indicadores se aprecian en forma de porcentajes.

Tabla 2.2. Equivalencias de revoluciones en porcentajes del motor

Porcentaje en el indicador	Revoluciones desarrolladas aproximada
(N1)100 %	8600 r.p.m.
(N2) 100 %	12250 r.p.m



Figura 2.43 Indicadores de porcentaje de revoluciones del compresor de baja (N1) izquierda, compresor de alta (N2) derecha.

El sistema de indicación se alimenta de energía eléctrica generada por el tacómetro por las revoluciones dadas por el motor, sin necesidad de sistemas de electricidad del avión.

### INDICACIÓN EN CABINA

Revoluciones del  
compresor de alta  
y baja presión.

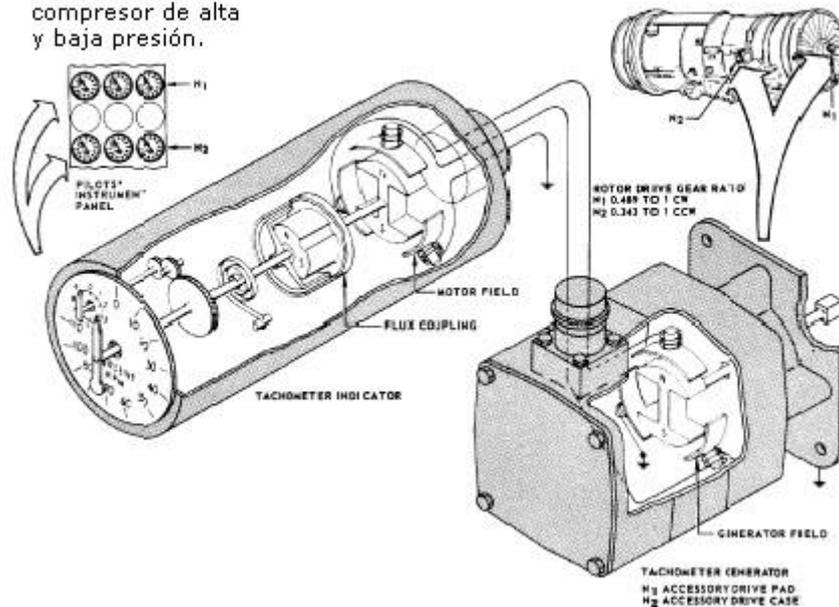


Figura 2.44 Generador tacómetro

### 2.3.3 Indicación de temperatura de salida de gases (E.G.T).

El dispositivo de recepción física de la temperatura de los gases es llamado Termocuplex, que es un conjunto de dos metales que constituye un par termoeléctrico, que tiene la capacidad de transformar la temperatura existente en la salida de la turbina en corriente eléctrica la cual se amplifica y se modula para que provea una indicación en la cabina de la temperatura de los gases de escape.



Figura 2.45 Indicador de temperatura de gases de escape

### 2.3.4 Indicación de flujo de combustible.

Para comprobar si el combustible enviado al motor en realidad está fluyendo se dispone de un flujómetro que por un sistema interno de paletas se agitan de acuerdo al choque del combustible contra sus paletas, y de acuerdo al número de revoluciones aumenta o disminuye el caudal indicado, por ejemplo a marcha máxima en el indicador se observará casi 10 PPH x 1000 (libras por hora de flujo por mil y en régimen de relanti o marcha mínima 0,5 PPH x 1000).

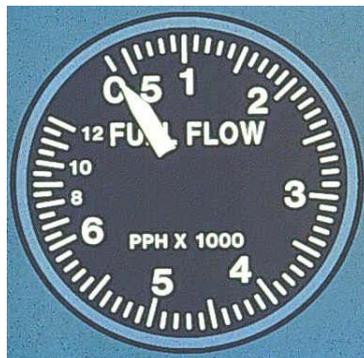


Figura 2.46 Indicador de flujo de combustible

## 2.4 PANEL DE CONTROL DEL MOTOR.

### 2.4.1 Tablero de control de neumático para el arranque del motor.

En este tablero se controla el paso de aire neumático para el arranque, desde las fuentes como el APU, Planta externa en tierra u otro motor al 80% de operación.

Así también se visualiza la presión que se dispone para el arranque, todo el panel es activado por corriente eléctrica de 115V AC.



Figura 2.47 Tablero de control de aire neumático para el arranque del motor

### 2.4.2 Interruptor de arranque neumático del motor.

Al seleccionar el interruptor en la posición START se abre la start valve (válvula de arranque) una vez que se ha chequeado que hay suficiente presión de aire para mover al compresor de alta presión y sus accesorios.

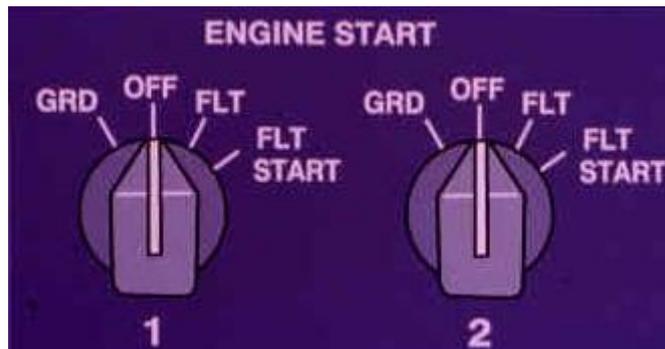


Figura 2.48 Interruptor de arranque neumático del motor

### 2.4.3 Interruptor de control de ignición.

Mediante este interruptor se puede energizar a las bujías para el encendido pulsatorio de chispa de 1 chispa cada dos segundos; este sistema eléctrico funciona con 115 V AC.

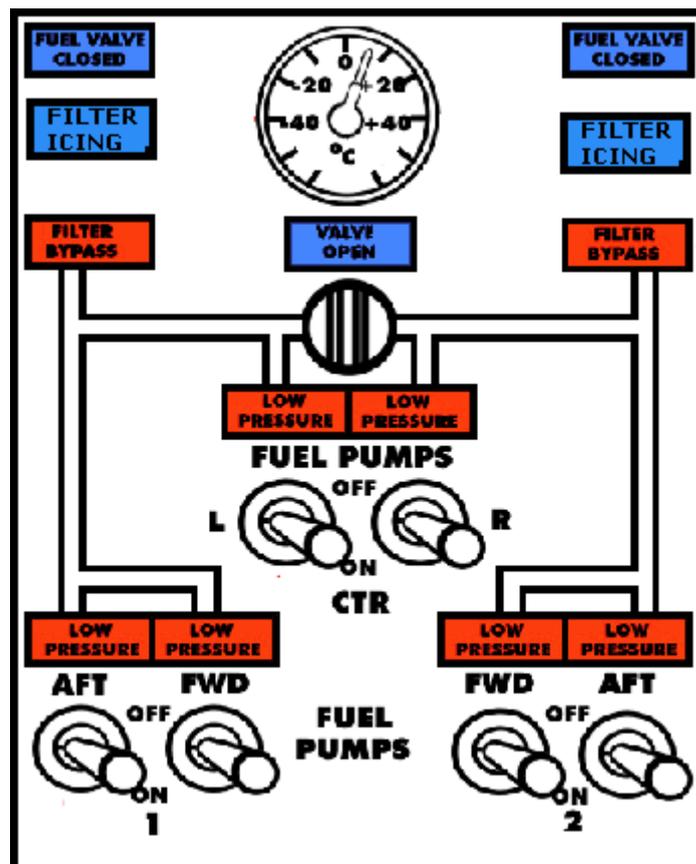
#### ENGINE IGNITION



Figura 2.49 Tablero de control de ignición del motor.

#### 2.4.4 Tablero de control de paso de combustible al motor.

En este panel se controla la activación de las bombas sumergibles dentro del paso de combustible hasta que llegue al sistema de combustible del motor antes de la etapa de alta presión. De igual manera se visualiza los interruptores de las bombas tanto delanteras como posteriores por cada tanque de combustible, la temperatura de combustible y las indicaciones de filtro obstruido, y el interruptor de activación para calentar el combustible.



2.50 Tablero de control de combustible

#### **2.4.5 Palanca de aceleración y desaceleración del motor.**

Mediante este elemento mecánico, el piloto acelera y desacelera el motor, ya que se inyecta mayor o menor cantidad de combustible a las cámaras según la potencia requerida en los diferentes regímenes de despegue, vuelo crucero, aterrizaje, hasta condiciones de emergencia.

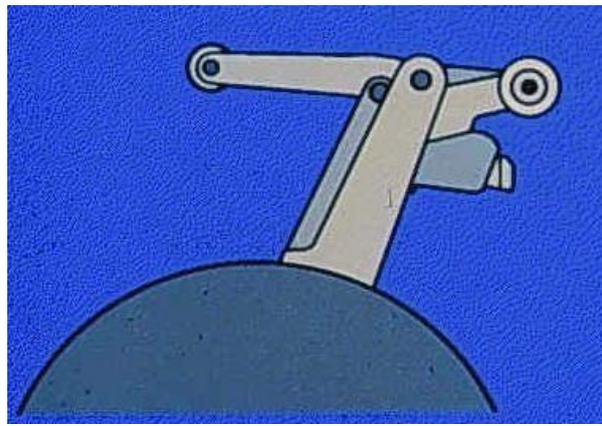


Figura 2.51 Palanca de aceleración y desaceleración del motor.

#### **2.4.6 Palanca de corte de combustible cut off.**

Se ubica en el pedestal de mando del motor en la cabina, y al abrir esta palanca se permite el paso de combustible del tanque hacia el motor y también se abre la válvula de paso del F.C.U internamente.

Cuando exista una condición de emergencia como fuego en el motor, se cierra la llave hacia abajo impidiendo el paso de combustible de forma total hacia el motor.

Las conexiones desde la cabina de mando hacia el motor, tanto de la palanca de gases de aceleración como la de corte de combustible es por medio de un sistema de cableado que se debe calibrar periódicamente.

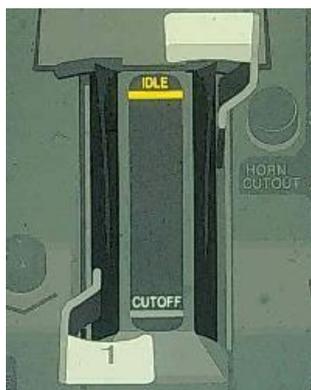


Figura 2.52 Palanca de corte de combustible

## **CAPÍTULO III**

### **ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.**

#### **3.1. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS.**

Mediante la identificación de alternativas propuestas para la construcción del motor, se ha realizado un balance de acuerdo a los siguientes parámetros como es su diseño, tamaño, costo y materiales utilizados.

- Visualización del motor y componentes de manera estática.
- Visualización del motor y componentes de manera dinámica.

### 3.1.1. ESTUDIO TÉCNICO.

#### 3.1.1.1. Primera alternativa.

Se realiza un seccionamiento a escala del motor JT8D, Identificando las secciones principales mediante colores y los componentes se representan de manera estática, el cual posee las siguientes características:

- Partes seccionadas del motor.
- Pedestal de madera.
- Domo de acrílico transparente.
- Representación de secciones a color.

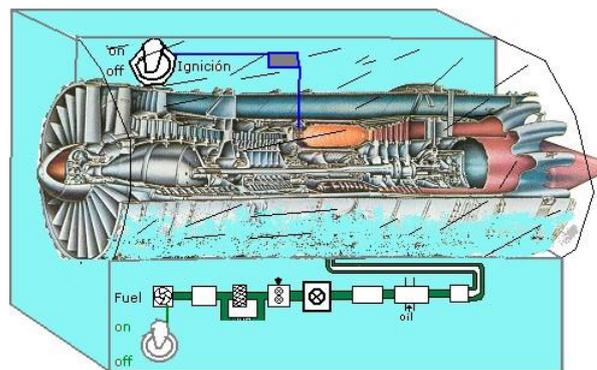


Figura 3.1. Visualización del motor y componentes de manera estática.

### **3.1.1.2. Segunda alternativa.**

Identifica las partes principales del motor realizando una analogía con el motor en escala real y algunos componentes se representan de forma dinámica, y tiene las siguientes características:

- Panel de control de movimiento del conjunto rotor.
- Tablero de control de sistemas ( combustible e ignición).
- Luces de animación del sistema de combustible, ignición y arranque.
- Interruptores de control de luces de animación.
- Compartimiento de los equipos electrónicos para el movimiento y animación ( motores eléctricos, transformadores, conjunto de cables para el sistema de luces y conexiones de alimentación eléctrica.)
- Carcasa de protección de acrílico transparente el seccionamiento del motor.

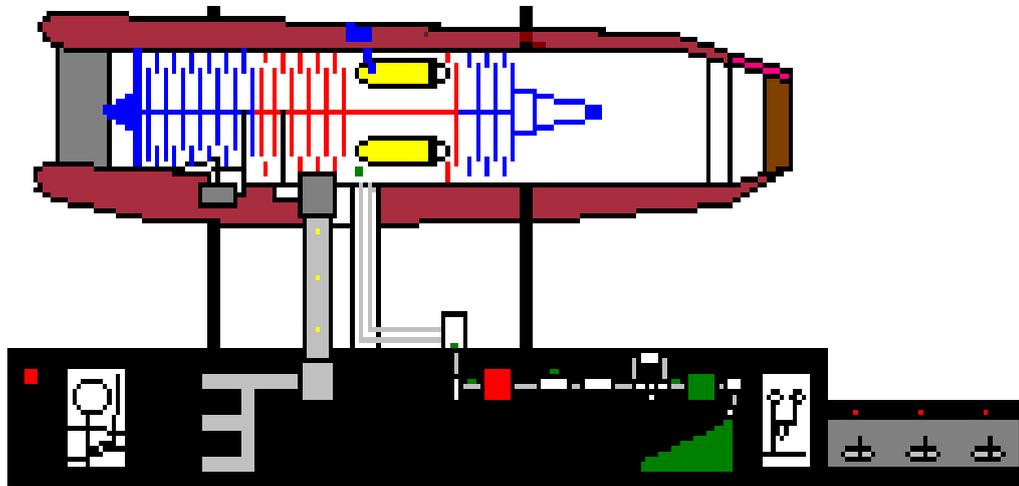


Figura 3.2. Visualización del motor y componentes de manera dinámica.

### 3.2. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.

En este análisis, se consideran las ventajas y desventajas de las alternativas para determinar cual de las dos es la mas optima o conveniente de acuerdo a requerimientos de los objetivos planteados.

### **3.2.1 Primera alternativa.**

Visualización del motor y componentes de manera estática.

#### **Ventajas :**

- Visualiza las partes internas del motor.
- Describe el sistema de combustible e ignición.
- El costo es menor.

#### **Desventajas:**

- No permite el movimiento de sus partes.
- No se puede operar los interruptores.

### **3.2.3. Segunda alternativa.**

Visualización del motor y componentes de manera dinámica.

#### **Ventajas :**

- Visualiza las partes internas del motor.
- Describe el sistema de combustible e ignición.
- Permite el movimiento del conjunto rotor.
- Se puede operar los interruptores de control del motor.
- Se visualiza el tablero de control propio del avión.
- Se identifican las partes constitutivas del sistema de combustible, ignición y arranque neumático.
- Permite la simulación de los sistemas por medio de luces (leds).
- Permite la funciónabilidad de sus componentes.

#### **Desventajas:**

- El costo es mayor que la primera alternativa.
- Complejidad en el moldeo y corte del domo de protección.

### **3.3 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.**

De acuerdo con las alternativas planteadas se considera en una alta ponderación prioritaria a las ventajas y desventajas, y la alternativa que adquiera el mayor puntaje será seleccionada para ser construida.

El valor para cada uno de los parámetros de selección "X", comprende un rango entre 0 a 10. Los parámetros de evaluación estarán en función de los siguientes factores como:

#### **Factor técnico:**

- Material.
- Proceso de construcción.
- Mantenimiento.
- Operación.
- Funcionabilidad.
- Seguridad.

#### **Factor financiero:**

- Costo de construcción.
- Mano de obra.

#### **Factor Complementario:**

- Tamaño.
- Tiempo.

### 3.3.1 Factor técnico.

- **Material:** Se establece a la calidad y cantidad de materiales necesarios para el proceso de construcción de manera optima y eficiente.
- **Proceso de construcción:** Este procedimiento requiere de material y herramienta adecuada para el montaje, corte, instalación necesaria con el fin de tener una construcción eficiente.
- **Mantenimiento:** Se refiere a mantener las partes y elementos del motor en optimas condiciones de operación dado que es un equipo con movimiento.
- **Operación:** Se determina por que se busca la manera mas optima de control del motor y sus sistemas.
- **Funcionabilidad:** Con el fin de buscar la manera de manejar y controlar el motor, se identifican los diferentes paneles de control como aparecen en la realidad en el avión Boeing 737-200 Adv.
- **Seguridad:** Se basa en el mantenimiento que se provea al motor y sus accesorios, para la realización de una operación segura y que se alargue el tiempo de vida útil.

### 3.3.2 Factor financiero.

- **Costo de construcción:** Es un factor de suma importancia por la elección mas adecuada al motor que se desea construir, ya que debe cumplir con los objetivos y expectativas planteadas.
- **Mano de obra:** Se refiere al asesoramiento profesional y a las horas-hombre para la culminación del proyecto.

### 3.3.3. Factor complementario.

- **Tamaño:** Se determina por la escala mas adecuada utilizada para la construcción del motor en base al motor real.
- **Tiempo:** Se establece por el tiempo requerido para la realización de todo el proceso de construcción y pruebas funcionales de la maqueta.

### 3.3.4 Matriz de evaluación de alternativas.

La siguiente tabla se indica los valores de ponderación y calificación de cada alternativa con fin de escoger la alternativa mas optima que satisfaga nuestros objetivos, la calificación esta dada sobre 10 puntos.

Tabla 3.1: Matriz de evaluación de alternativas.

<b>PARAMETROS DE EVALUACIÓN</b>	<b>Ponderación %</b>	<b>Xi</b>	<b>Alternativa 1</b>		<b>Alternativa 2</b>	
<b>Factor técnico:</b>			<b>Calificación (X)</b>	<b>Puntos</b>	<b>Calificación(X)</b>	<b>Puntos</b>
Material	15%	0,15	7	1,05	8	1,2
Proceso de construcción	8%	0,08	5	0,4	6	0,48
Mantenimiento	10%	0,1	4	0,4	8	0,8
Operación.	9%	0,09	1	0,09	10	0,9
Funcionabilidad	7%	0,07	5	0,35	9	0,63
Seguridad	6%	0,06	6	0,36	8	0,48
<b>Factor financiero:</b>						
Costo de construcción	20%	0,2	6	1,2	7	1,4
Mano de obra	8%	0,08	5	0,4	4	0,32
<b>Factor Complementario:</b>						
Tamaño.	8%	0,08	5	0,4	5	0,4
Tiempo	9%	0,09	8	0,72	9	0,81
<b>TOTAL:</b>	<b>100%</b>	<b>1</b>		<b>5,37</b>		<b>7,42</b>

### 3.4 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.

Tabla 3.2 Matriz de decisión de alternativas.

PARAMETROS DE EVALUACIÓN	Ponderación %	Xi	Alternativa 1		Alternativa 2	
Factor técnico:			Calificación (X)	Puntos	Calificación(X)	Puntos
• Material.	15%	0,15	7	1,05	8	1,2
• Proceso de construcción.	8%	0,08	5	0,4	6	0,48
• Mantenimiento.	10%	0,1	4	0,4	8	0,8
• Operación.	9%	0,09	1	0,09	10	0,9
• Funcionabilidad.	7%	0,07	5	0,35	9	0,63
• Seguridad.	6%	0,06	6	0,36	8	0,48
<b>Sub- Total. F. Técnico</b>	<b>55%</b>	<b>0,55</b>		<b>2,65</b>		<b>4,49</b>
<b>Factor financiero:</b>						
• Costo de construcción.	20%	0,2	6	1,2	7	1,4
• Mano de obra.	8%	0,08	5	0,4	4	0,32
<b>Sub- Total. F. Financiero</b>	<b>28%</b>	<b>0,28</b>		<b>1,6</b>		<b>1,72</b>
<b>Factor Complementario:</b>						
• Tamaño.	8%	0,08	5	0,4	5	0,4
* Tiempo.	9%	0,09	8	0,72	9	0,81
<b>Sub- Total. F. Complementario</b>	<b>17%</b>	<b>0,17</b>		<b>1,12</b>		<b>1,21</b>
<b>TOTAL:</b>	<b>100%</b>	<b>1</b>		<b>5,4</b>		<b>7,4</b>

Luego de analizar los parámetros de evaluación para la selección de la mejor alternativa a fin de construir la maqueta del motor JT8D, en escala 1:10, se toma la decisión de construir la Maqueta con componentes móviles y simulación de luces en los sistemas de combustible, arranque e ignición, dado que es la alternativa más adecuada para efectuar una demostración didáctica y cumplir con los objetivos planteados al inicio del proyecto.

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR A ESCALA

La escala que se empleara en la construcción de la maqueta es 1:10, es decir que se redujo 10 veces al motor real JT8D ya que con esta dimensión se visualiza apropiadamente todas las secciones y componentes propios del motor.

#### 4.1. HERRAMIENTAS Y MAQUINARIA UTILIZADA EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUETA.

##### 4.1.1. Herramienta manual:

Tabla 4.1. Herramienta Manual utilizada en el proyecto.

No.	HERRAMIENTA	CÓDIGO
01	Martillo	HM-01
02	Sierra	HM-02
03	serrucho.	HM-03
04	Desarmadores estrella	HM-04
05	Desarmadores plano	HM-05
06	Escuadra 90 °	HM-06

( Véase Anexo D.1)

##### 4.1.2. Herramienta eléctrica.

Tabla 4.2. Herramienta eléctrica utilizada en el proyecto.

No.	HERRAMIENTA	CÓDIGO
01	Taladro portátil	HE-01
02	Cautín	HE-02

( Véase Anexo D.2)

#### 4.1.3. Maquinaria industrial.

Tabla 4.3. Maquinaria Industrial utilizada en el proyecto.

No.	MAQUINARIA	CÓDIGO
01	Caladora	MI-01

( Véase Anexo D.3)

#### 4.1.4. Herramienta y material de adhesión.

Tabla 4.4. Maquinaria Industrial utilizada en el proyecto.

No.	HERRAMIENTA / MATERIAL	CÓDIGO
01	<b>Pistola de silicón.</b>	HE-01
02	Silicón liquido	MA-02
03	Cemento de contacto	MA-02

( Véase Anexo D.4)

## 4.2 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUETA.

### 4.2.1. Insumos y materiales de ensamblaje.

En la siguiente tabla se determinan los materiales empleados en el proceso de construcción de la maqueta.

Tabla 4.5. Insumos y materiales de ensamblaje

Material	Especificación	Cantidad	Unidad
Lijas	80	2	-
Estaño	-	3 m	m
Pomada de suelda	-	1	-
Cemento de contacto.	1/16	1	-
Masilla	Epoxica	4 Lb.	Lb
Barras de silicón	Barra gruesa de 20 cm.	5	cm
Pega UHU.	1 barra.	1	-
Acrílico transparente moldeado	(18 x 40 cm)	1	cm
Madera de balsa	( 20 x 60 cm), 2 mm de espesor.	1 plancha.	cm/mm
Madera playwood	(1,22 x 2,44) m x 10 mm de espesor.	1 plancha.	m/mm
Madera de balsa	(20 x 80 cm), 5 mm de espesor.	1 plancha	cm/mm
Clavos	½ pul.	½ lb.	lb
Equipo de suero.	Uso de tubos plásticos ( Representación de cámaras de combustión).	3	-
Acrílico transparente	18 cm x 40 cm	1	cm
Inyectores de tinta	(uso en la salida de cámaras de combustión)	3	-
Plástico de forma cilíndrica	( Representa los compresores y turbinas de alta y de baja presión).	10	-
Plástico de formas rectangulares	( Representa a elementos del sistema de combustible y arranque).	12	-
Cartulina de ilustración	(1m x 1.5m) color blanco esmaltada.	1 pliego.	m
Cartulina de ilustración	(1m x 1.5m) color negro esmaltada.	1 pliego	m
Cartulina de ilustración	(1m x 1.5m) color rojo.	1 pliego	m
Cartulina de ilustración	(1m x 1.5m) color azul.	1 pliego	m
Cartulina de ilustración	(1m x 1.5m) color vino.	1 pliego	m
Cartulina de ilustración	(1m x 1.5m) color vino.	1 pliego	m
Tuerca hexagonal	Φ ½ pul x 1 ½ pul (L).	2	m
Tornillos	Diámetro 2.9 mm x 1.2 mm longitud	8	mm
Resina	1/2 galon.	1	Gal.
Taipe	13 mm x 18 yardas color plomo.	3 rollos	mm/yardas
Cinta adherible	12 mm.	1 rollo.	Mm
Regleta para cables	Plástico	2m	m

#### 4.2.2. Materiales electrónicos

Para la visualización de los sistemas de combustible e ignición se utilizaron circuitos electrónicos y elementos que se indican en la tabla 4.6

Tabla 4.6 Materiales electrónicos.

<b>Material</b>	<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Lets	Color Verde	5	-
Lets	Color rojo	2	-
Lets	Color amarillo	3	-
Lets	Color azul	1	-
Potenciómetros	100 k $\Omega$ ( rojo, azul y amarillo).	3	$\Omega$
Fuente de alimentación Transformador 1	Proyecto No. 4 de CEKIT. Salida de +5, +12 Y -12 VDC de 0,5 A	1	-
Fuente de alimentación Transformador 2	Proyecto No. 4 de CEKIT. Salida de +5, +12 Y -12 VDC de 0,5 A	1	-
Circuito de luces de velocidad variable.	Proyecto No. 2 de CEKIT (Animación del sistema de ignición)	1	-
Circuito integrado de temporizador de luces de velocidad variable con zumbador piezoeléctrico.	Proyecto de CEKIT. (Animación de sistema de arranque)	1	-
Motor eléctrico	Corriente continua	1	VCC
Motor eléctrico	Corriente continua	1	VCC
Conectores separables	Jack	10	-
Borneras	6 pares	2	-
Borneras	2 pares	2	-
Alambre	22 AWG	10 m	m
Alambre	3/18 AWG	2 m	m
Lámpara señalizadora de paso de corriente	Color rojo	1	-
Interruptores de control	2 posiciones (on/off).	5	-

#### 4.2.3. Elementos mecánicos.

Se basa en el tipo de ensamble para la transmisión de movimiento entre los motores y los rotores del motor, para lo cual se optó por el sistema

Banda-polea.

Tabla 4.7 Elementos mecánicos utilizados en la construcción

<b>Material</b>	<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Bandas de transmisión de fuerza.	10 y 12 cm.	2	cm
Tubo Aluminio	Diámetro exterior 0,7 cm x 15 cm de longitud.	1	cm
Tubo Aluminio	Diámetro exterior 0,5 cm x 25 cm de longitud.	1	cm
Rodamientos	Diámetro exterior 2 cm.	2	cm

### 4.3 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN.

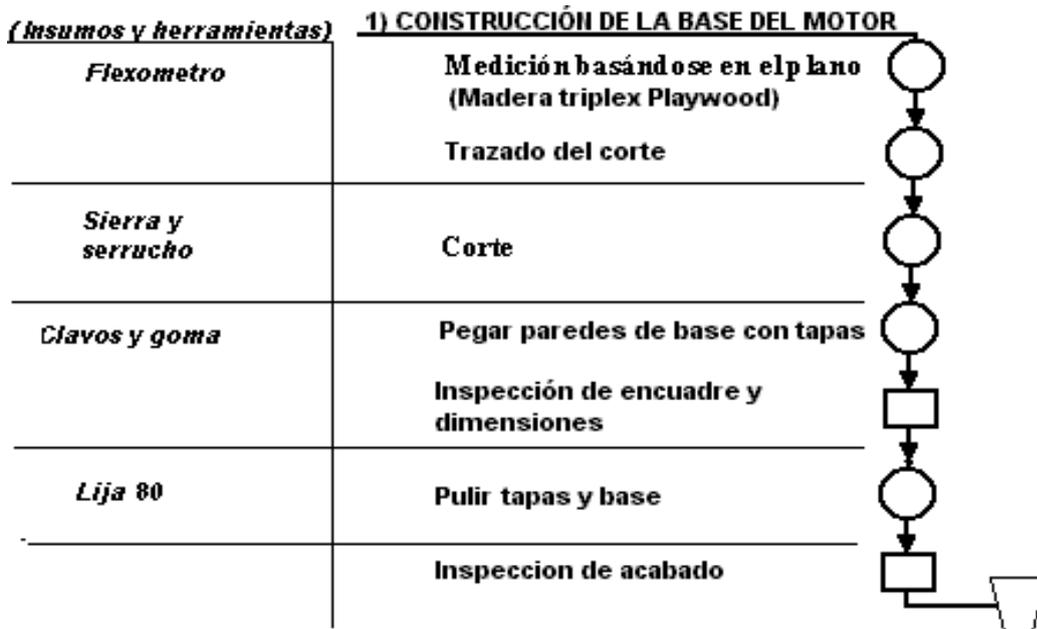
A continuación se detalla el proceso de construcción desde su inicio, mediante el uso de recursos como materiales, herramienta, maquinaria y procesos de construcción (Véase Anexo D), como se explica a continuación:

Tabla 4.4 Simbología utilizada en los procesos

<b>PROCESO</b>	<b>SÍMBOLO</b>
OPERACIÓN:	
INSPECCIÓN / VERIFICACIÓN	
CONECTOR	
CONECTOR AL SIGUENTE PROCESO	

### 4.3.1 Construcción de la base del motor.

Para la construcción de la base del motor se realizó un trabajo en madera triplex, Playwood utilizando herramientas e insumos como y se indica de la siguiente manera:



(Véase anexo D.5)

### **4.3.2. Construcción del motor.**

En este proceso se ha dividido en dos fases que son:

- a) FASE EXTERNA
- b) FASE INTERNA

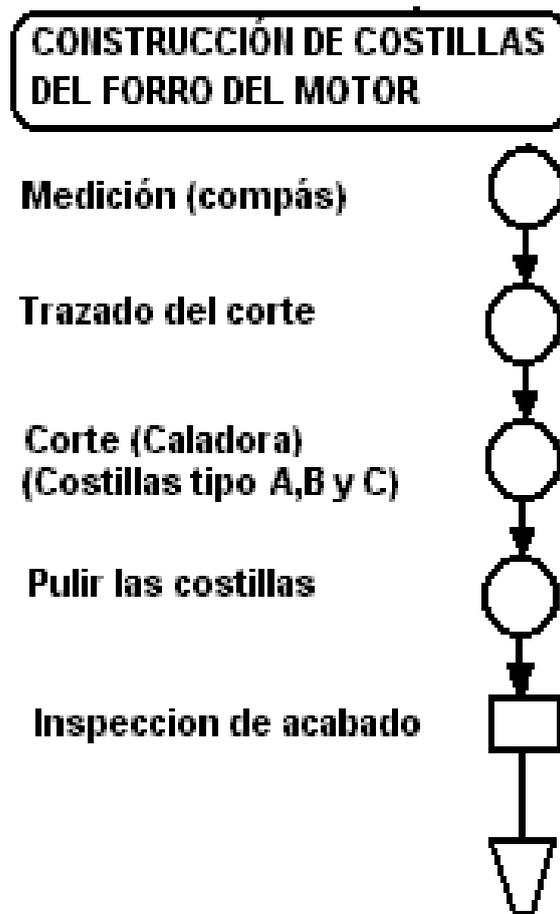
#### **4.3.2.1. Fase externa.**

Consiste en la construcción del forro externo del motor, la estructura se construye con dos procesos :

- Construcción de costillas del forro del motor.
- Construcción del forro externo del motor.

#### 4.3.2.1.1 Construcción de costillas del forro del motor.

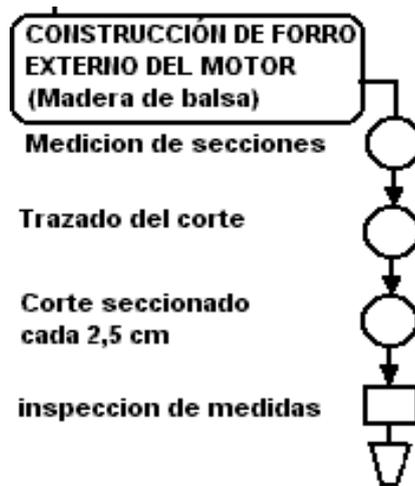
La estructura se constituye de madera de balsa que se representa a continuación:



( Véase anexo D.6)

#### 4.3.2.1.2 Construcción del forro externo del motor.

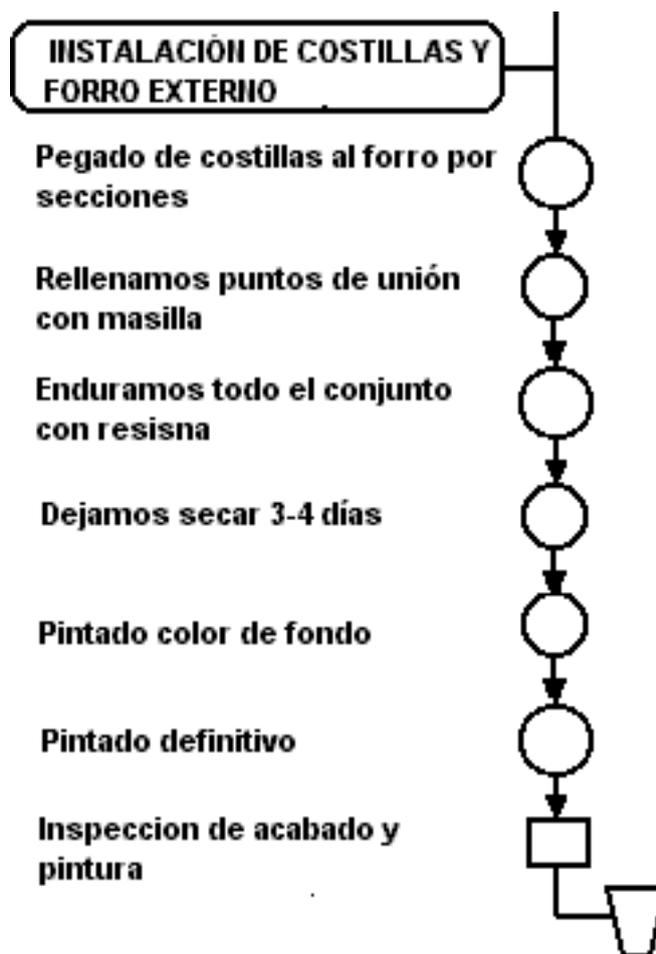
Consiste en el seccionamiento de madera (balsa) para unirla a las costillas y realizar el cobertor externo del motor para lo cual se ejecuto el siguiente proceso:



( Véase anexo D.7)

#### 4.3.2.1.3 Instalación de costillas y forro externo.

En este proceso se acoplan las costillas con el forro seccionado, mediante el uso de pegamentos, masilla y resina como se indica a continuación:



(Véase anexo D.8)

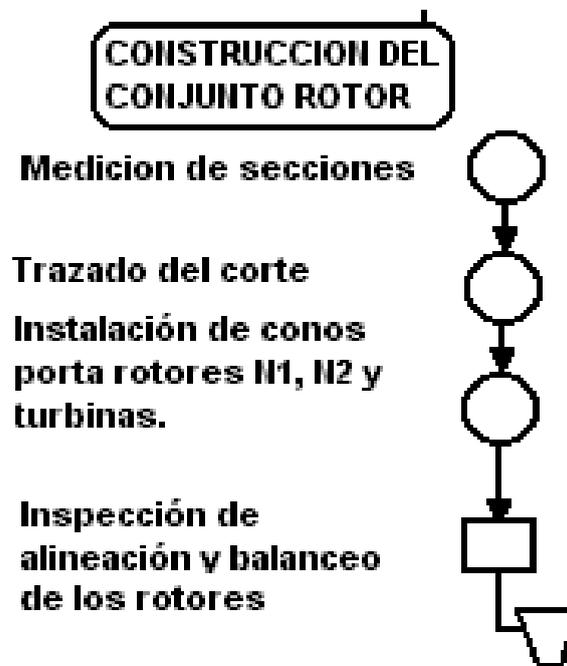
#### 4.3.2.2. Fase interna.

Radica en la construcción del carter interno del motor, la estructura se establece de dos procesos:

- Construcción del conjunto rotor.
- Construcción del conjunto estator.

#### 4.3.2.2.1 Construcción del conjunto rotor.

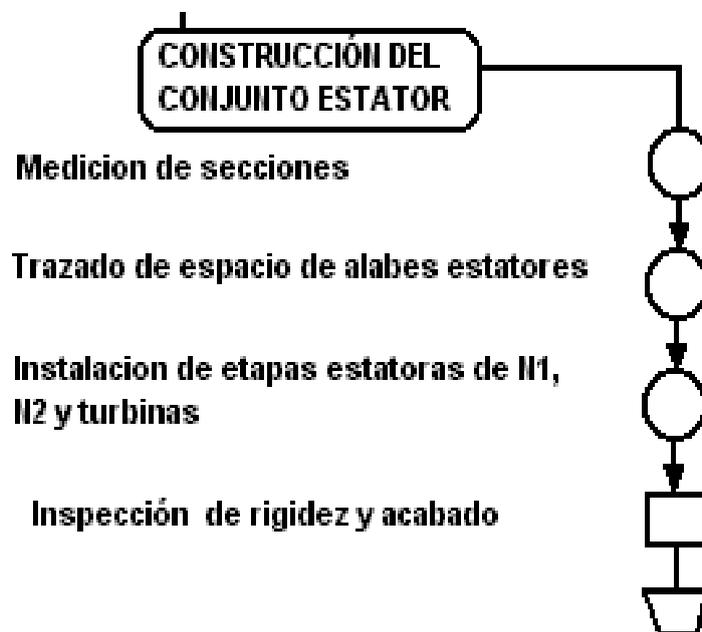
Se construye los compresores y turbinas que son el conjunto rotor, dado que este motor se compone de dos compresores, se adquirió 17 ejes en plástico, los mismos que sujetaran a los rotores tanto en turbina como en compresores, el proceso se define de la siguiente manera:



( Véase anexo D.9)

#### 4.3.2.2.2 Construcción del conjunto estator.

Este proceso consistió en pegar y trazar las etapas estatoras dentro de la turbina de tal manera que no tengan ningún rozamiento con el conjunto rotor, para lo cual se realizó el siguiente proceso:



( Véase anexo D.10)

### **4.3.3. Instalaciones mecánicas.**

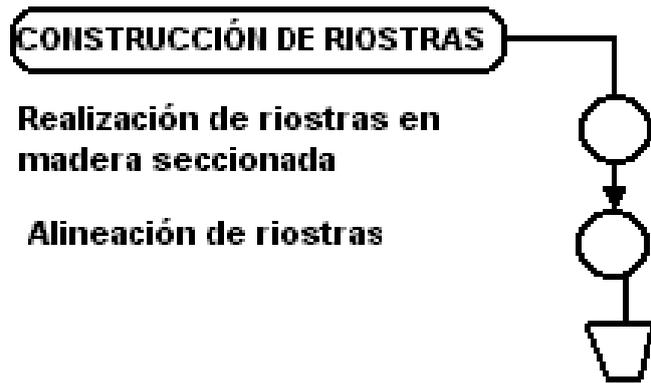
Continuando con el proceso, se procede a la construcción de los soportes del eje del motor donde se colocara los conjuntos estatores y rotores para lo cual se realizaron los siguientes procesos:

- Construcción del eje central del motor.
- Construcción de riostras de montaje.
- Acoplamiento del conjunto rotor al eje central.
- Acoplamiento banda polea a los motores eléctricos.
- Instalación del conjunto rotor y estator.
- Instalación del forro externo del motor.

#### **4.3.3.1 Construcción de riostras de montaje.**

El proceso se determina en la instalación de los rodamientos en el motor y en los soportes que articula el motor con la base del mismo.

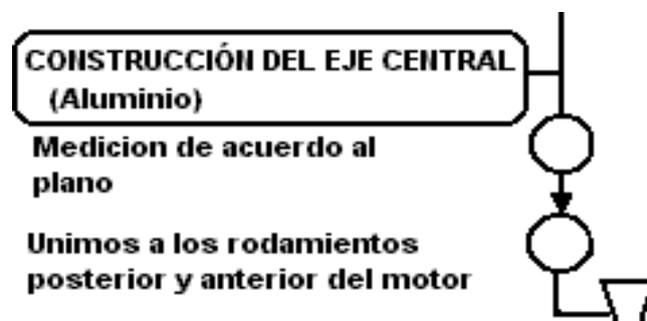
El paso de construcción se detalla en lo siguiente:



( Véase anexo D.11)

#### 4.3.3.2 Construcción del eje central del motor.

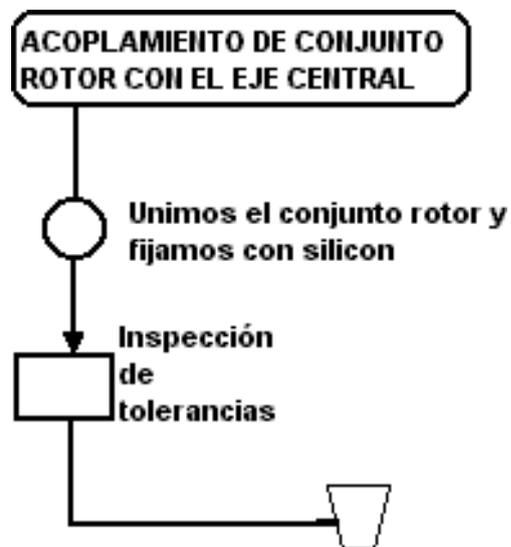
Se basa en la fabricación del eje central de aluminio de acuerdo a las especificaciones del plano detallado en el Anexo A, por otro lado se instalan los rodamientos tanto posterior (turbina) y anterior (compresor), el proceso se detalla en lo siguiente:



( Véase anexo D.12)

#### 4.3.3.3. Construcción del conjunto rotor al eje central.

Se procede a instalar conjunto rotor con el eje del motor, para lo cual se tiene dos ejes de diferente diámetro para sostener a los rotores de N1 y N2, teniendo cuidado de no remover rodamientos ya que se necesita una alta rigidez para soportar las velocidades de rotación.

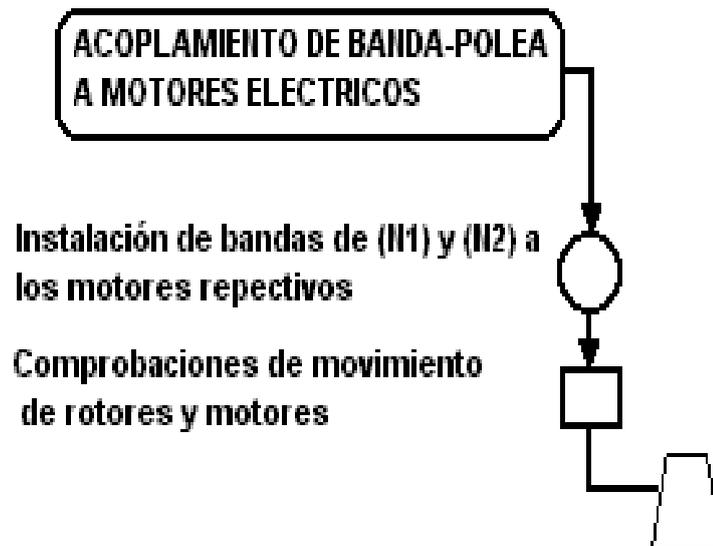


( Véase anexo D.13)

#### 4.3.3.4 Acoplamiento banda polea a los motores eléctricos.

Una vez que se tiene el rotor se acopla las bandas de transmisión del movimiento hacia los motores respectivos (N1 y N2).

Se dispone de dos motores eléctricos activado por corriente continua, los motores se encuentran instalados en la sección de accesorios propios del motor, el proceso es el siguiente:



( Véase anexo D.14)

#### 4.3.3.5 Instalación del conjunto rotor y estator.

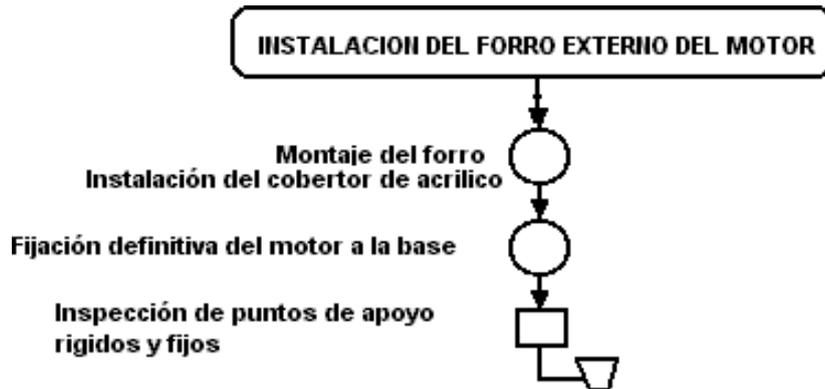
Para la instalación del conjunto estator se realiza dejando cierta tolerancia en cada etapa (estator-rotor), con el fin de que no exista rozamiento entre etapas, el ensamble se lo realiza de la siguiente manera:



( Véase anexo D.15)

#### 4.3.3.6 Instalación del forro externo del motor.

Seguidamente se coloca el forro externo de madera de balsa, de la construcción del motor, el procedimiento se representa en lo siguiente:



( Véase anexo D.16)

#### 4.3.4 Instalaciones electrónicas.

Dado que la animación de la maqueta tanto en la partes móviles, como en luces; requiere de circuitos electrónicos que permitan la visualización de sistemas y componente, se instalaron circuitos como, circuito temporizador de luz, fuentes de alimentación para motores, fusibles e interruptores de control.

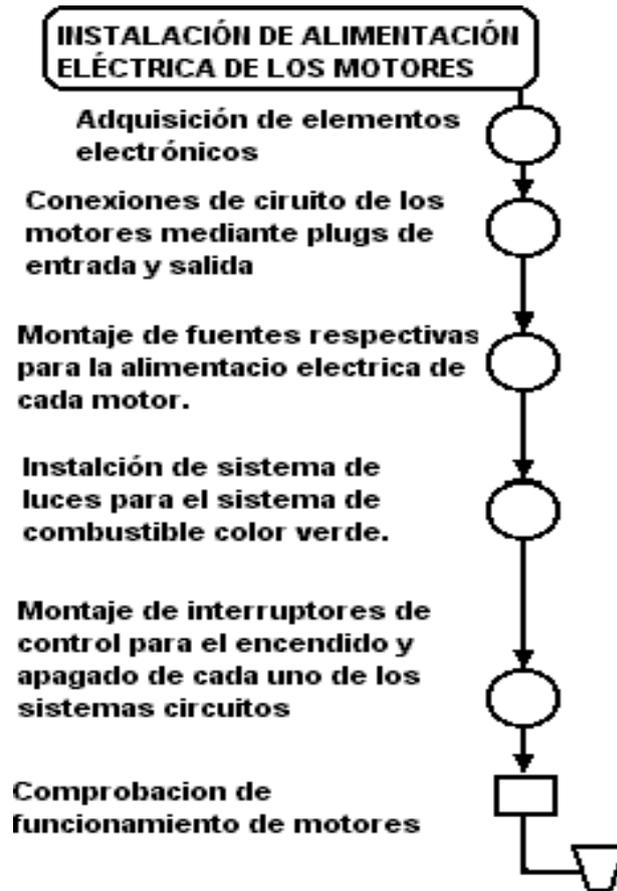
El proceso se divide en dos partes como:

- Instalación de fuentes de alimentación eléctrica para los motores.
- Instalación de circuito temporizador de luz  
( Animación de sistema de ignición).
- Instalación de circuito integrado temporizador de luz con zumbador  
( Animación de sistema de arranque).

#### **4.3.4.1 Instalación de fuentes de alimentación eléctrica para los motores.**

Para este proceso se adquirió dos fuentes de alimentación con Salida de +5, +12 Y –12 VDC de 0,5 A, para cada motor respectivamente.

Las conexiones eléctricas se distribuyen desde una toma de alimentación de 110VAC, 60 Hz pasando hacia las fuentes de alimentación, el sistema se controla en el tablero de control por medio de interruptores y se lo energiza con una resistencia variable (potenciómetros) para obtener un a máxima y mínima velocidad de rotación de los motores, seguidamente se conecta a los circuitos de los motores respectivos mediante plugs de entrada y salida que transportan hasta el tablero de control para su monitoreo, existe una derivación para alimentar al sistema de luces de color verde del sistema de combustible, el proceso de instalación es el siguiente:



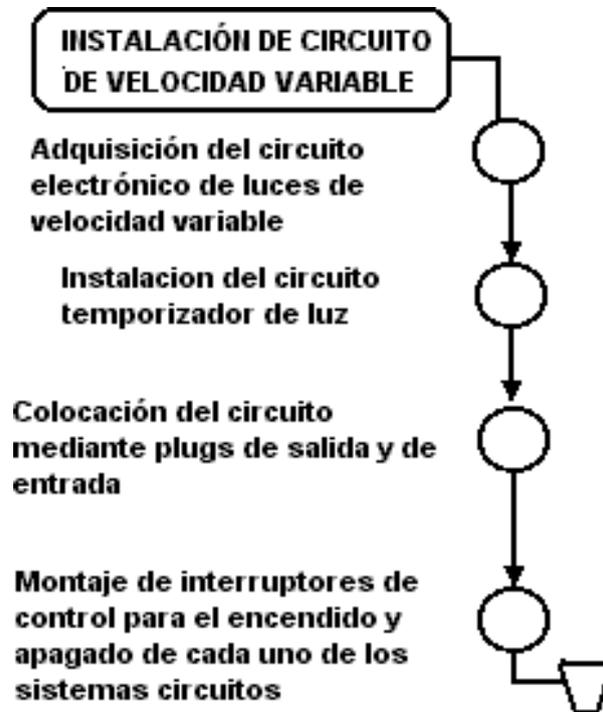
( Véase anexo D.17)

#### 4.3.4.2 Instalación de circuito de luces de velocidad variable

( Animación de sistema de ignición).

Se procede a instalar el circuito temporizador de luces de velocidad variable (CEKIT, Proyecto No. 2), para lo cual se lo instala en la base del motor, la alimentación del sistema se realiza mediante plugs desde una derivación desde la fuente de alimentación 9 VCC de uno de los motores.

Este proceso radica en lo siguiente:



(Véase anexo D.18)

#### **4.3.4.3 Instalación de circuito integrado temporizador de luz con zumbador ( Animación de sistema de arranque).**

Luego de adquirir el proyecto electrónico de CEKIT, se lo instala en la maqueta, el mismo que sirve para animación del sistema de arranque, el proceso de montaje es el siguiente:



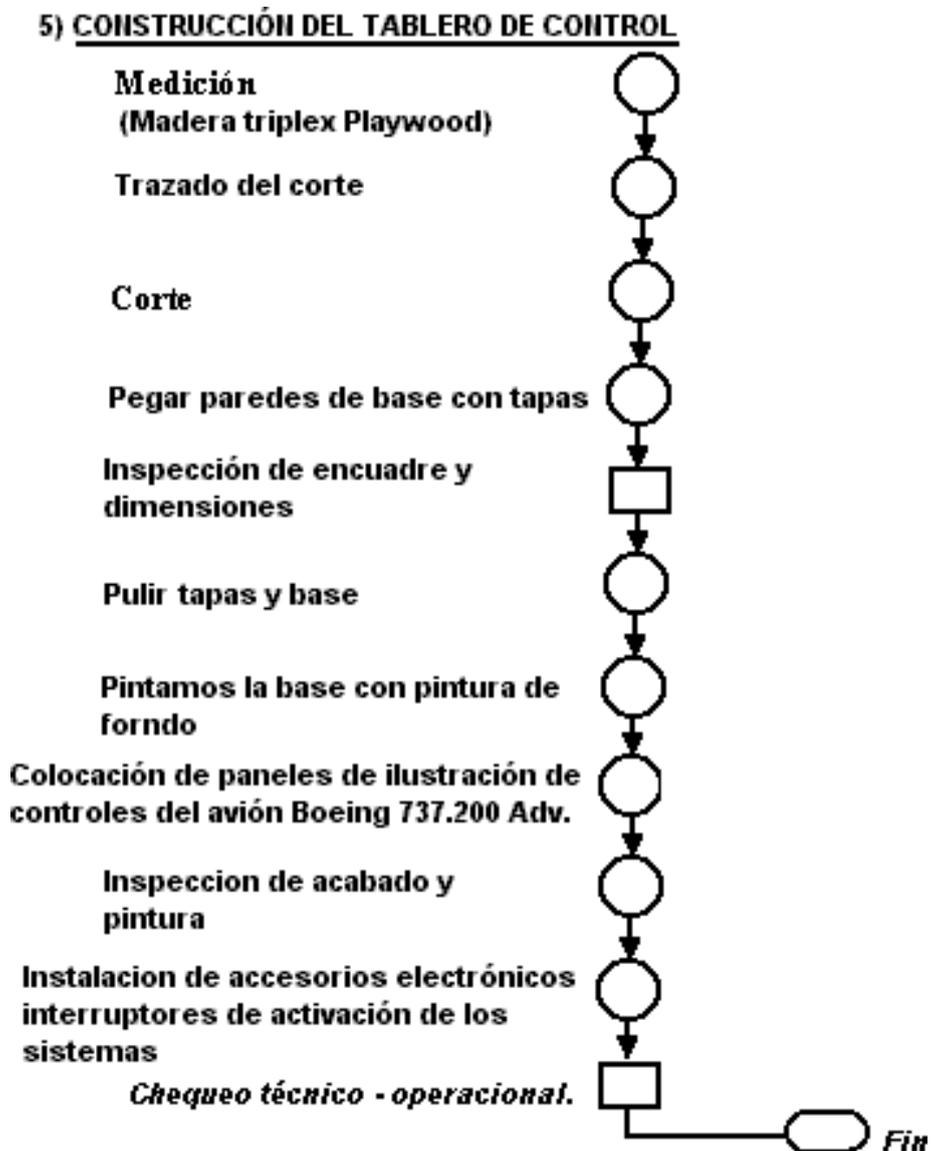
( Véase anexo D.19)

#### 4.3.5 Construcción del tablero de control.

Se establece que el tablero de control es una caja de madera, en la cual se colocan los interruptores de activación y potenciómetros para la velocidad de rotación de los motores respectivos.

Por otro lado se simboliza el tablero de manera ilustrativa tal como se ve en la realidad en el avión Boeing 737-200 Adv.

El proceso que se describe a continuación hasta obtener la maqueta en su totalidad en condiciones óptimas de operación.



( Véase anexo D.20)

## CAPÍTULO V

### ELABORACIÓN DE MANUALES

#### 5.1 GENERALIDADES.

Para la realización de los manuales se determinan diferentes parámetros para el procedimiento de operación, mantenimiento, operación en fases de vuelo, registros mantenimiento para la correcta operación del la motor JT8D durante practicas didácticas, registros de elementos electrónicos y mecánicos para la reparación de posibles reportes de fallas.

Tabla 5.1. Categorización de los manuales.

<b>Manual</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Codificación</b>
Manual de operación	Lista de chequeo para la activación de la maqueta del motor JT8D.	MRA-AM
Manual de operación	Lista de chequeo para desactivar la maqueta del motor y los sistemas.	MRA-BM
Manual de mantenimiento	Manual de mantenimiento y preservación general de la maqueta.	MRA-CM
Manual de verificación.	Verificación de elementos electrónicos y mecánicos de la maqueta	MRA-DM
Registro de mantenimiento	libro de vida de mantenimiento de la maqueta del motor JT8D	MRA-EM.
Registro de prácticas.	libro de vida de mantenimiento de la maqueta del motor JT8D	MRA-FM.
Registro de daños y averías.	libro de vida de mantenimiento de la maqueta del motor JT8D	MRA-GM

## 5.2. MANUAL DE OPERACIÓN.

	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>		Pág : 1 de 7.
	<b>Lista de chequeo para la activación de la maqueta del motor JT8D.</b>		<b>Código:</b> MRA – AM
	<b>Elaborado por:</b> Michael Romero.		<b>Revisión No:</b>
	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mayo. Naranjo.	<b>Fecha:</b> 2005-12-03	<b>Fecha:</b> 2005-12-03.
<p><b>1) Objetivo general:</b></p> <p>Identificar el procedimiento de activación de la maqueta del motor JT8D.</p> <p><b>2) Procedimiento:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Conectar a la fuente eléctrica 110VAC, 60 Hz.</li> <li>2) Comprobar el paso de corriente eléctrica a través de una luz de señalización.</li> <li>3) Activar el interruptor ENGINE IGNITIÓN del panel de control.</li> <li>4) Activar el interruptor ENGINE FUEL del panel del control.</li> <li>5) Energizar los interruptores de cada motor eléctrico.</li> <li>6) Estabilizar las velocidades de los motores a baja potencia (Relanti) con el potenciómetro.</li> <li>7) Aumentar continuamente la potencia de los dos motores según se requiera hasta (máx.) con los potenciómetros respectivos.</li> <li>8) Chequeo de luces de animación de los sistemas y rotación de los compresores.</li> </ol> <p>NOTA: El motor M1 moverá al compresor de baja presión N1.  El motor M2 moverá al compresor de alta presión N2.  El interruptor ENGINE START, se desactivara automáticamente.</p> <p><b>3) Firma de responsabilidad:</b> _____.</p>			

	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>		<b>Pág. : 2 de 7.</b>
	<b>Lista de chequeo para desactivar la maqueta del motor y los sistemas.</b>		
	<b>Elaborado por:</b> Michael Romero		<b>Revisión No:</b>
	<b>Aprobado por:</b> Mayo. Naranjo Fernando.	<b>Fecha:</b> 2005-11-03.	<b>Fecha:</b> 2005-11-03.

**1. Objetivo:**

Determinar el procedimiento para desactivar la maqueta del motor JT8D.

**2. PROCEDIMIENTO:**

- 1) Disminuir gradualmente la potencia de los motores hasta relanti mediante los potenciómetros.
- 2) Selectar en off el interruptor de ENGINE FUEL del panel del control.
- 3) Selectar en off el interruptor ENGINE IGNITIÓN del panel de control.
- 4) Comprobar que no se prendan luces de animación de los sistemas de combustible e ignición.
- 5) Activar la palanca de corte de combustible (cut off).
- 6) Desconectar a la fuente eléctrica 110VAC, 60 Hz.
- 7) Cubrir el motor mediante un cobertor de plástico.

NOTA: El interruptor ENGINE START, se desactivara automáticamente.

**3) Firma de responsabilidad:** \_\_\_\_\_

### 5.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO.

	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>		<b>Pág :</b> 3 de 7.
	<b>Manual de mantenimiento y preservación general de la maqueta.</b>		<b>Código:</b> MRA – CM
	<b>Elaborado por:</b> Michael Romero.		<b>Revisión No:</b>
	<b>Aprobado por:</b> Ing. Mayo. Naranjo.	<b>Fecha:</b> 2005-12-03	<b>Fecha:</b> 2005-12-03.
<p><b>1) Objetivo general:</b></p> <p>Mantener en las mejores condiciones de operación a la maqueta y su conjunto.</p> <p><b>2) Procedimiento:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>NOTA: Este procedimiento se lo realiza cada mes.</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1) Remover el cobertor plástico de protección de la maqueta del motor JT8D y del tablero del control.</li><li>2) Mediante una franela húmeda, limpiar el forro externo del motor, el tablero, sin ningún tipo de diluyentes y disolventes.</li><li>3) Dejar secar la humedad hasta 5 minutos.</li><li>4) El sistema electrónico se limpiara con contact cleaner o WD-40, evitando de esta forma de formación de corrosión y deterioro del sistema electrónico.</li><li>5) Instalar el cobertor plástico de protección de la maqueta del motor y del tablero del control.</li></ol> <p><b>3) Firma de responsabilidad:</b> _____</p>			

## 5.4 MANUAL DE VERIFICACIÓN.

	<b>MANUAL DE VERIFICACIÓN</b>		<b>Pág. : 4 de 7.</b>
	<b>VERIFICACIÓN DE MATERIALES Y ELEMENTOS ELECTRÓNICOS Y MECÁNICOS DE LA MAQUETA.</b>		<b>Código:</b> MRA-DM.
	<b>Elaborado por:</b> Michael Romero		<b>Revisión No:</b>
	<b>Aprobado por:</b> Mayo. Naranjo Fernando.	<b>Fecha:</b> 2005-12-03.	<b>Fecha:</b> 2005-12-03.
<b>Material</b>	<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>	
Lets	Color Verde	5	
Lets	Color rojo	2	
Lets	Color amarillo	3	
Lets	Color azul	1	
Domo acrílico	Transparente	1	
Potenciómetros	100 k $\Omega$ ( rojo, azul y amarillo).	3	
Fuente de alimentación Transformador 1	Proyecto No. 4 de CEKIT. Salida de +5, +12 Y –12 VDC de 0,5 A	1	
Fuente de alimentación Transformador 2	Proyecto No. 4 de CEKIT. Salida de +5, +12 Y –12 VDC de 0,5 A	1	
Circuito de luces de velocidad variable.	Proyecto No. 2 de CEKIT (Animación del sistema de ignición)	1	
Circuito integrado de temporizador de luces de velocidad variable con zumbador piezoeléctrico.	Proyecto de CEKIT. (Animación de sistema de arranque)	1	
Motor eléctrico	Corriente continua	1	
Motor eléctrico	Corriente continua	1	
Conectores separables	Jack	10	
Borneras	6 pares	2	
Borneras	2 pares	2	
Alambre	22 AWG	10 m	
Alambre	3/18 AWG	2 m	
Foco señalizador de paso de corriente	Color rojo	1	
Interruptores de control	2 posiciones (on/off).	5	

**Elementos mecánicos:**

<b>Material</b>	<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>
Bandas de transmisión de fuerza.	10 y 12 cm.	2
Tubo Aluminio	Diámetro exterior 0,7 cm x 15 cm de longitud.	1
Tubo Aluminio	Diámetro exterior 0,5 cm x 25 cm de longitud.	1
Rodamientos	Diámetro exterior 2 cm.	2

**ITSA**



**MECANICA**

**REGISTRO DE MANTENIMIENTO.**

**Libro de vida de Mantenimiento de la maqueta del motor JT8D.**

**Código:**  
MRA-EM

**Registro No.:**  
Pág: 5 de 7.

Hoja: de

No.	Fecha inicio	Fecha finalización	Trabajo Realizado	Material y/o Repuesto Utilizado	Responsable	Observaciones
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				

\_\_\_\_\_  
Jefe del Taller

 <b>ITSA</b> <b>MECANICA</b>	<b>REGISTRO DE PRÁCTICAS.</b>	<b>Código:</b> MRA-FM.
	<b>Libro de vida de Mantenimiento de la maqueta del motor JT8D.</b>	<b>Registro No.:</b> <b>Pág:</b> 6 de 7.

Hoja: de

<b>Fecha</b>	<b>Motivo</b>	<b>Pruebas Realizadas</b>	<b>Horas de Funcionamiento</b>	<b>Novedades/Observaciones</b>
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				

\_\_\_\_\_ Responsable

	<b>REGISTRO DE DAÑOS Y AVERIAS.</b>	<b>Código:</b> MRA-GM
	<b>Libro de vida de Mantenimiento de la maqueta del motor JT8D.</b>	<b>Registro No.:</b> <b>Pág:</b> 7 de 7.

Hoja: de

No.	Fecha	Daño Producido	Causa del daño	Acción Correctiva	Novedades/Observaciones
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				
	/ /				

\_\_\_\_\_ Responsable

**ITSA**



**MECANICA**

**REGISTRO DE MANTENIMIENTO.**

**Libro de vida de Mantenimiento de la maqueta del motor JT8D.**

**Código:**  
MRA-EM

**Registro No.:**  
Pág: 5 de 7.

Hoja: de

No.	Fecha inicio	Fecha finalización	Trabajo Realizado	Material y/o Repuesto Utilizado	Responsable	Observaciones
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				

\_\_\_\_\_  
Jefe del Taller

 <b>ITSA</b> <b>MECANICA</b>	<b>REGISTRO DE PRÁCTICAS.</b>	<b>Código:</b> MRA-FM.
	<b>Libro de vida de Mantenimiento de la maqueta del motor JT8D.</b>	<b>Registro No.:</b> <b>Pág:</b> 6 de 7.

Hoja: de

<b>Fecha</b>	<b>Motivo</b>	<b>Pruebas Realizadas</b>	<b>Horas de Funcionamiento</b>	<b>Novedades/Observaciones</b>
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				
/ /				

\_\_\_\_\_ Responsable

## **CAPÍTULO VII**

### **OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Una vez finalizado el proyecto de construcción de maqueta del motor JT8D, se obtuvo los siguientes resultados del proyecto.

#### **7.1 OBSERVACIONES.**

- Todas las partes y componentes construidos estuvieron sometidos a pruebas operacionales y de precisión con el fin de seleccionar los materiales óptimos para el ensamblaje de la maqueta.
- Toda la información técnica desarrollada en el proyecto esta de acuerdo con los manuales, guías, y procedimientos de operación del motor JT8D, en base al avión Boeing 737-200 Adv.
- Los manuales de operación y mantenimiento fueron desarrollados de acuerdo a requerimientos para su optima preservación.

## 7.2 CONCLUSIONES.

- Mediante la maqueta del motor jet JT8D, se determina la función específica que cumplen los sistemas de combustible, ignición, arranque y aire de impacto.
- Se podrá utilizar este recurso técnico didáctico en la cátedra de Motores a reacción II, para demostraciones prácticas de operación.
- A través del conocimiento del conocimiento del motor jet JT8D, se puede optar por la consecución de la Licencia Tipo II (Motores), previo el rendimiento del examen de la D.G.A.C.

### 7.3 RECOMENDACIONES.

- Para la operación de la maqueta del motor JT8D, se deberá utilizar los manuales de operación, especificados en el capítulo V, del presente proyecto.
- Se debe tener sumo cuidado con todos los elementos electrónicos y mecánicos por su sensibilidad.
- En función de las experiencias vividas como estudiante de la materia de Motores de aviación II,
- Utilizar la maqueta del motor JT8D, frecuentemente para mantenerla en adecuadas condiciones de operación.
- Cuando no se utilice la maqueta, se deberá emplear el manual de mantenimiento que se establece en el capítulo V, del presente proyecto.