

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **MONITOREO DE CONDICIÓN DE MOTORES DE AVIÓN**

#### **1. AUTOR.**

Enrique Julián Zavala Pesantes<sup>1</sup>, Ingeniero Mecánico 2001.

Rodolfo Paz Mora<sup>2</sup>, Director de Tópico: Ingeniero Mecánico de la Escuela Superior Politécnica del Litoral en 1978.

#### **2. RESUMEN.**

Este tema es un caso de estudio de una Guía Descriptiva para la introducción al inmenso mundo de la Ingeniería Mecánica que pone al alcance del lector los modelos físicos de un motor de avión gracias a los

sencillos criterios de termodinámica y mecánica de fluidos para poder analizar los parámetros de operación de un motor a más de 20000 pies de altitud, como si el motor operará a condiciones sobre el nivel del mar.

Este proyecto fue desarrollado en la compañía SAETA (Sociedad Ecuatoriana de Transporte Aéreo S.A.); es una compañía que fue fundada por el Sr. Roberto Dunn Barreiro en el año de 1985 y su finalidad es la de transportar pasajeros de un destino a otro a nivel nacional, y a nivel internacional.

La compañía SAETA utiliza los aviones como su herramienta de trabajo y los opera por medio del sistema de arrendamiento mercantil con opción a compra después de determinado tiempo. Dado que la herramienta de trabajo es el avión, el mismo debe recibir un mantenimiento muy prolijo para asegurar que la aeronave se encuentra en buen estado de operación para poder transportar en forma segura a los pasajeros de un destino a otro. Por esta razón el Departamento de Mantenimiento de SAETA que dentro del organigrama general se encuentra como la Vicepresidencia Técnica, la misma que tiene su base principal en el Aeropuerto SIMÓN BOLÍVAR de la ciudad de Guayaquil, la dirección es Avenida de Las Américas Aeropuerto Simón Bolívar entre LAN-ECUADOR y SAETA-CARGO.

### **3. INTRODUCCIÓN.**

#### **Antecedentes del problema de mantenimiento de motores de avión.**

En las aerolíneas latinoamericanas, en especial las aerolíneas locales en vías de desarrollo, sus programas de mantenimiento están basados en recomendaciones del fabricante que se encuentran consignadas en un documento escrito, el cual ha sido elaborado y revisado por el Departamento de Ingeniería en mantenimiento de cada aerolínea, y, a su vez, ese documento ha sido aprobado por las respectivas autoridades aeronáuticas de cada país.

Para el mantenimiento de motores de aviación existe la filosofía "Bajo Condición, que significa realizar las siguientes actividades para controlar la vida útil de los motores:

1. Inspecciones especiales (inspecciones boroscópicas), en las zonas de compresor y turbina cada 5500 horas o 7500 ciclos, lo que ocurra primero, y que sean planificadas en los chequeos de mantenimiento programado para evitar una parada de avión no programada con los consiguientes problemas de pérdidas económicas por dejar de operar.

2. Tomar muestras de aceite del motor cada 1000 horas y realizar un análisis para verificar si existe contaminación y deterioro, además de cambiar los filtros si estos ya se encuentran muy sucios.

3. Control de Componentes/accesorios de vida limitados montados en los motores como lo son: bomba de combustible, unidad de control de combustible, válvulas de control, entre otros, que son indispensables para la operación normal y segura de los motores.

4. Los reportes de los pilotos sobre problemas que se presentan en el avión durante vuelo, que son observados en los instrumentos e indicadores de la cabina; los datos observados son consignados por los pilotos en el libro de mantenimiento que está a bordo del avión, el mismo que es revisado a diario por el Departamento de Ingeniería y estar vigilantes ante la aparición de algún problema para proceder a investigar el origen y tomar acciones correctivas de solución.

En las compañías latinoamericanas que realizan estas cuatro actividades para cumplir con la filosofía "BAJO CONDICIÓN", para mantenimiento de motores se enfrentan en varias dificultades, las cuales provocan que los resultados de las inspecciones especiales revelen daños severos en el interior del motor y se deban tomar acciones emergentes, como son buscar

arrendar un motor, bajar y cambiar motor, y enviar al taller con todos los costos que estas acciones implican.

Estas dificultades son las siguientes:

- Los reportes de los pilotos acerca de novedades observadas en los instrumentos e indicadores de los motores son de mala calidad, es decir, no tienen detalles de lecturas y precisión, o en el peor de los casos no reportan hasta que los indicadores dan las señales en rojo o lecturas que rebasan el límite máximo.
- Los técnicos de mantenimientos al trabajar en tareas para los motores durante los chequeos programados, encuentran problemas y no buscan el origen del mismo para darle solución sino que en base del Manual de Mantenimiento dan solución temporal al problema y dado que el problema persiste en el motor comienza el deterioro del último.

En el mundo de mantenimiento de aviones, el manejo de la información que está consignada en los manuales de mantenimiento debe ser usada para resolver los problemas que se presentan durante los vuelos en el avión. Para poder saber que algún problema está apareciendo, es necesario que la comunicación entre los tripulantes de las aeronaves y los técnicos de mantenimiento sea excelente.

La realidad es que entre los tripulantes y los técnicos existen diferencias de idiosincrasia, lo que provoca que los documentos que permiten el flujo de información entre ambas áreas sean incompletos; y esta falta de información

origina que los problemas que se presentan en los aviones puedan resolverse a tiempo sin comprometer la vida útil de los componentes, equipos, accesorios, y motores.

Para el problema de mantenimiento de motores de avión vamos a proceder a definir las variables de entrada y salida del mismo:

**ESTADO DE ENTRADA:** Información de los tripulantes sobre la operación y funcionamiento de los motores.

**ESTADO DE SALIDA:** Reporte de Resultados de la operación de los motores para tomar acciones de mantenimiento.

**PROBLEMA:** COLECTAR INFORMACIÓN DE LOS TRIPULANTES, PROCESAR, ANALIZAR Y DIAGNOSTICAR EL FUNCIONAMIENTO DE MOTORES.

La solución del problema consiste en diseñar una herramienta para visualizar el funcionamiento, y cuantificar y calificar su condición de operación para tener una Planificación de Mantenimiento y Administración de Motores.

#### **4. CONTENIDO.**

**PROCESO DE CÁLCULOS PARA MONITOREAR LA CONDICIÓN DE MOTORES.**

Los datos en vuelo se corrigen respecto a las condiciones de vuelo actuales con las condiciones de un día estándar a nivel del mar por eso los datos son diferentes en cada vuelo y pueden ser comparados.

Los valores calculados son comparados con líneas - base nominales de cada motor de acuerdo a su fabricante.

### **Factores de corrección a condiciones estándar a nivel del mar.**

\*  $T_o$  = Temperatura estándar a nivel del mar ( $15^{\circ}\text{C}$ )

- $\theta$  = Temperatura relativa absoluta =  $TAT/T_o$
- $\sqrt{\theta}$  = Raíz cuadrada de theta
- $\theta^x$  = Theta elevada a la x potencia

\*  $P_o$  = Presión estándar a nivel del mar (14.7 psia)

### **Factores de corrección en vuelo.**

- La presión absoluta relativa  $\theta T_2$  es calculada en base al número de Mach y la altitud
- el número de Mach proporciona  $P_2/P_{amb}$
- La altitud proporciona la presión estática  $P_{amb}$
- $P_{amb}/P_o$  igual  $P_{amb}/29.92\text{''Hg}$

- $\delta T_2 = (P_2/P_{amb}) \times (P_{amb}/P_o)$
- El factor  $\delta T_2$  es usado en las correcciones de flujo de combustible.
- La temperatura relativa absoluta  $\theta T_2$  es calculada en base a TAT
- $\theta T_2 = (TAT+273)/288$
- $\theta T_2 =$  es frecuentemente usada para las correcciones TGE
- $\sqrt{\theta T_2}$  es usada para las correcciones de las revoluciones
- $\theta T_2^*$  (ó Kc) es usada para las correcciones de TGE y F/C donde el componente x cambia entre valores 0,5 y 0,8 de acuerdo a diversos tipos y modelos de motores, pero para los cálculos estándar de un motor se puede usar el valor promedio 0,65.

### **Línea base de operación del motor.**

- Todos los cuatro parámetros (TGE, N1, N2, F/C) pueden ser corregidos por las condiciones de vuelo:
  - TGE dividido para  $\theta T_2$
  - N1 dividido para  $\sqrt{\theta T_2}$
  - N2 dividido para  $\sqrt{\theta T_2}$
  - F/C dividido para Kc y JT2
  - Kc es calculada en base a la temperatura total de aire (TAT)
  - KC es igual a  $\theta T_2$  elevado al exponente x, anteriormente indicado



- $\delta T_2$  es definido como la presión total relativa en la entrada del aire del motor
- $\delta T_2$  es igual a  $P_{t2}$  dividido para  $P_o$
- $P_{t2}$  es igual a la presión total del flujo de aire dentro del motor,  $P_o$  es igual a la presión atmosférica estándar a nivel del mar (14,69 psia)
- $\delta T_2$  puede también ser expresada  $(P_{s2}/P_o) \times (P_{t2}/P_{s2})$ , ( La cual es igual a  $\delta \times (P_{t2}/P_{s2})$ )
- $\delta$  es igual a la presión relativa (depende únicamente de la presión por altitud)
- $P_{t2}/P_{s2}$  es igual a la razón de presión estacionaria (donde únicamente del número de Mach del avión durante el vuelo).
- Corrigiendo los datos, las unidades de los mismos no cambian:
- TGE esta medida con grados Celsius o Kelvin
- N1 y N2 en % de RPM
- F/C en libras por horas (o kilogramos por hora)

### **Ejemplo.**

➔ DATOS TÍPICOS EN - VUELO:

Uso aplicable para curvas línea - base con el siguiente ejemplo

COMBINACIÓN AVIÓN/MOTOR: 727-200/JT8D-15

Condiciones de Vuelo: Altitud 37.000 Pies

Número Mach 0,80

TAT - 10°C

VIA 265 nudos

Parámetros observados del motor:	EPR	1,75
	N1	81,8%
	N2	85,0%
	TGE	450°C
	F/C	2.150 pph

→ CÁLCULO DE FACTORES DE CORRECCIÓN EN VUELO ( $\theta T_2$ ,  $\sqrt{\theta T_2}$ ,  $K_c$  y  $\delta T_2$  para este motor).

- $\theta T_2 = \frac{TAT}{T_0} = \frac{-10+273}{288} = \frac{263}{288} = 0,91319$  (4-1)

- $\sqrt{\theta T_2} = 0,9556$  (4-2)

- $K_c = (\theta T_2)^{0,65} = 0.975$  (4-3)

- $\delta T_2$  → Con los datos de la cabina del avión Mach, Altitud, EPR, VIA y  $P_o$ ;

buscar en la Tabla 1 los siguientes datos:  $P_{amb}$ ,  $\sqrt{\theta}$ ,  $\delta$ ,  $\sigma$  y  $a_{33000}$ .

Ajustar la altitud en un -10%, ALT ó  $z_a = 33300$  pies = 10090.91 metros

Leer los valores en la Tabla 1 a 37000 pies

$$P_{amb}=3.142 \text{ psi}$$

$$\sqrt{\theta} = 0.8671$$

$$\delta= 0.2138$$

$$\sigma= 0.2843$$

$$a_{33000} = 573.6 \text{ nudos}$$

Calcular la densidad real en el nivel de vuelo  $\rho_{real}$ .

$$\rho_{real} = \sigma(\rho_0) = 0.2843(1.225) = 0.34826 \text{ Kg/m}^3 \quad (4-4)$$

Calcular la velocidad real del sonido  $a_{real}$ .

$$a_{real} = \sqrt{\theta} (a_{33000}) = 0.8671(573.6) = 497.36 \text{ nudos} \quad (4-5)$$

Calcular la velocidad del avión  $V_{avión}$ .

$$V_{avión} = \text{Mach} (a_{real}) = 0.8(497.36) = 397.89 \text{ nudos} \quad (4-6)$$

Calcular la velocidad relativa avión – aire.

$$V_{rel} = V_{avión} - V_{IA} = 397.89 - 265 = 132.89 \text{ nudos} \quad (4-7)$$

Conversión de la velocidad relativa a [m/s].

$$V_{rel} = 0.5144(132.89) = 68.36 \text{ m/s} \quad (4-8)$$

Calcular la presión dinámica del avión.

$$P_d = \rho_{real} (V_{rel}^2)/2 = 813.75 \text{ N/m}^2 \quad (4-9)$$

Calcular la presión estática del avión.

$$P_s = \rho_{real} \times g \times Z_a = 34369.46 \text{ N/m}^2 \quad (4-10)$$

Calcular la presión total del avión.

$$P_t = P_d + P_s = 35183.21 \text{ N/m}^2 \quad (4-11)$$

Conversión de la presión total a [psi].

$$P_t = 0.000145 (35183.21) = 5.10 \text{ psi} \quad (4-12)$$

Calcular  $\delta T_2$ .

$$\delta T_2 = (P_t/P_s) \times (P_s/P_0) = 0,346 \quad (4-13)$$

→ CÁLCULO DE PARÁMETROS CORREGIDOS.

Calcular  $TGE/\theta T_2 = 766.03 \text{ }^\circ\text{K}$ . (4-14)

Calcular  $FC / (\delta T_{2x} Kc) = 6211.6 \text{ pph}$  (4-15)

Calcular  $N2 / \sqrt{\theta T_2} = 88.95 \%$  (4-16)

Calcular  $N1 / \sqrt{\theta T_2} = 85.6 \%$  (4-17)

→ CÁLCULO DE PARÁMETROS BASE.

Utilizando las ecuaciones de las curvas línea-base de los motores modelos JT8D-15 y -17 instalados en los aviones de la compañía SAETA, esta curva de línea-base es proporcionada por el fabricante de los mencionados motores (Pratt & Whitney), se puede calcular los siguientes párametros:

1.  $TGE/\theta T_2 = 787 \text{ }^\circ\text{K}$ . (4-18)

2.  $FC / (\delta T_{2x} Kc) = 6700 \text{ pph}$  (4-19)

3.  $N2 / \sqrt{\theta T_2} = 88.5 \%$  (4-20)

4.  $N1 / \sqrt{\theta T_2} = 86 \%$  (4-21)

→ CÁLCULO DE LAS DESVIACIONES

- TGE, N2 y N1 calculadas sus desviaciones son encontrados por sustracción con los valores base ajustados respecto a los datos observados corregidos.
- El F/C calculada su desviación es encontrada usando porcentajes porque el flujo del combustible es ingresado en pph o Kph:

- Usualmente el porcentaje es encontrado dividiendo la desviación para el valor base.

$$\text{Calcular } \Delta TGE = 766.03 - 787 = -20.97^{\circ}\text{K} \quad (4-22)$$

$$\text{Calcular } \% \Delta F/C = (6211.6-6700) \times (100/6700) = -7.2\% \quad (4-23)$$

$$\text{Calcular } \Delta N2 = 88.95-88.5 = 0.45 \text{ puntos} \quad (4-24)$$

$$\text{Calcular } \Delta N1 = 85.6-86 = -0.4 \text{ puntos} \quad (4-25)$$

## **5. MANUAL DE USUARIOS DEL PROGRA DE MONITOREO DE FUNCIONAMIENTO DE MOTORES.**

### **OBJETIVO:**

Ingresar la información sobre el funcionamiento de motores a un banco de datos y proceder a los cálculos y los resultados gráficos correspondientes.

En el campo Control Estadístico de Motores que se encuentra en Programas dentro de Inicio de Windows se ingresa al sistema. Posteriormente y una vez que el sistema dio acceso, se presentará la siguiente pantalla.



FIG. 5-1. PANTALLA PRINCIPAL DEL PROGRAMA

Existe una barra de alternativas en forma gráfica que son las siguientes:

La opción Mantenimiento de Aviones representada por el ícono del avión,

permite ingresar al banco de información los aviones que se encuentra

operando normalmente en la compañía por medio de su identificación que es

la matrícula de la aeronave que comienza con las letras HC- y tres letras

adicionales, incluyendo el tipo de aeronave aplicables al programa BOEING

727 –100 / -200, la fecha y la hora que ingresan al banco de información. En

esta opción se puede ingresar aviones que no estén operando y se

encuentren en Mantenimiento en talleres.

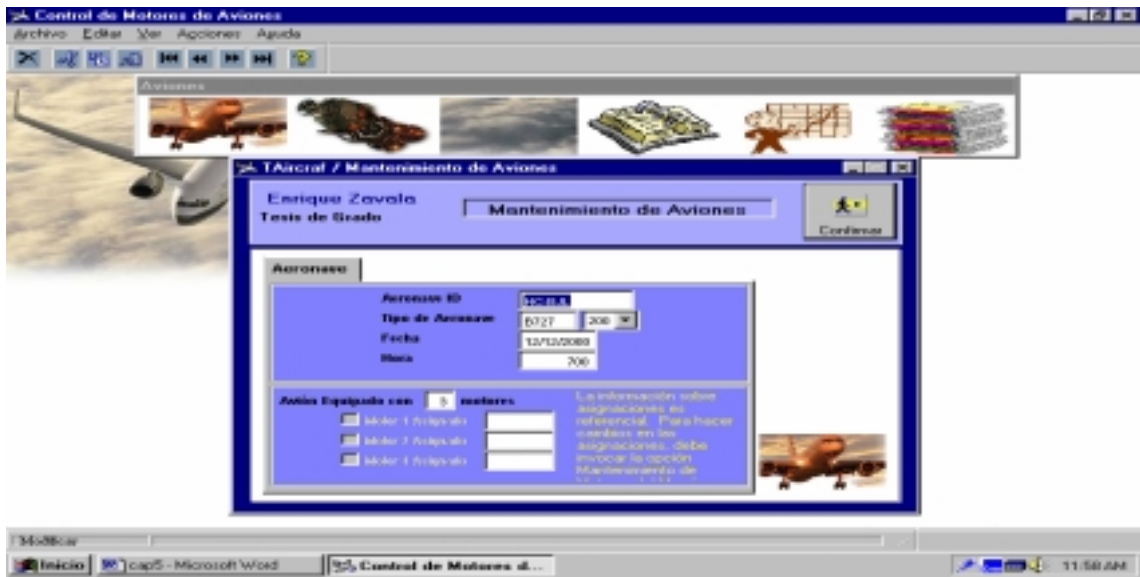


FIG. 5-2. PANTALLA DE MANTENIMIENTO DE AVIONES

La opción Mantenimiento de Motores representada por el ícono del motor, permite ingresar al banco de información los motores que se encuentran operando en la compañía. Los motores aplicables al programa son de la fábrica Pratt & Whitney modelo JT8D-15 /-15A/-17 que se identifican por medio de su número de serie que comienza con la letra P y a continuación seis números. A continuación se especifica que modelo de motor, la fecha y la hora en que ingresan al banco de información.

Esta opción permite instalar los motores creados en las respectivas posiciones de los aviones creados anteriormente en el sistema.



FIG. 5-3. PANTALLA MANTENIMIENTO DE MOTORES

Una vez confirmada la creación del motor en el banco de información, el programa abre otra ventana para la instalación del motor en la cual se ingresa con el número de serie del motor, a continuación se indica en que avión se procederá a instalarse y en la posición indicada, la fecha y hora de instalación.



FIG. 5-4. PANTALLA DE INSTALACIÓN DE MOTORES



La opción atmósfera representada por el ícono de las nubes, permite leer la tabla de condiciones atmosféricas reales proporcionada oficialmente por la OACI para aeronavegabilidad y de acuerdo a la estructura del programa sirve como banco de información de los datos atmosféricos que se requieren para normalizados los parámetros de análisis de los motores en este programa.

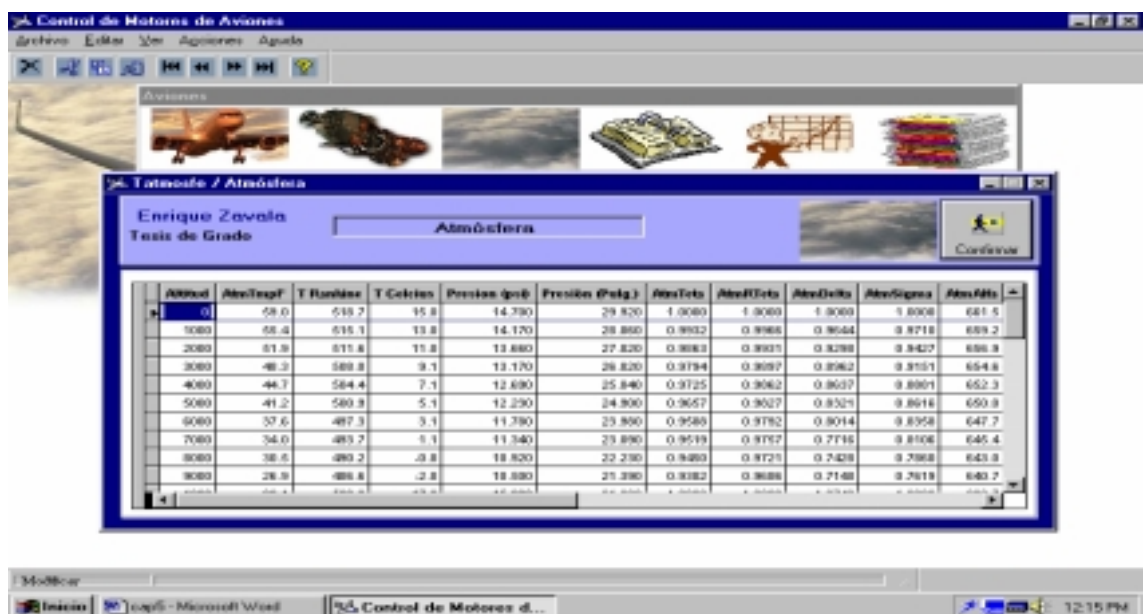


FIG. 5-5. PANTALLA DE TABLA DE DATOS DE ATMÓSFERA REAL

La opción datos de vuelo representada por el ícono de la agenda, permite ingresar al sistema toda la información que se encuentra consignada en los formularios que llenan los tripulantes durante los vuelos para monitorear los motores. Primero se ingresa la matrícula del avión, la fecha y hora en la que se consignaron los datos en determinado vuelo que corresponde a la información dentro de la primera zona del formulario. A continuación se

procederá a ingresar los datos de altitud, TAT, MACH, VIA que se encuentran consignados en la segunda zona del formulario.

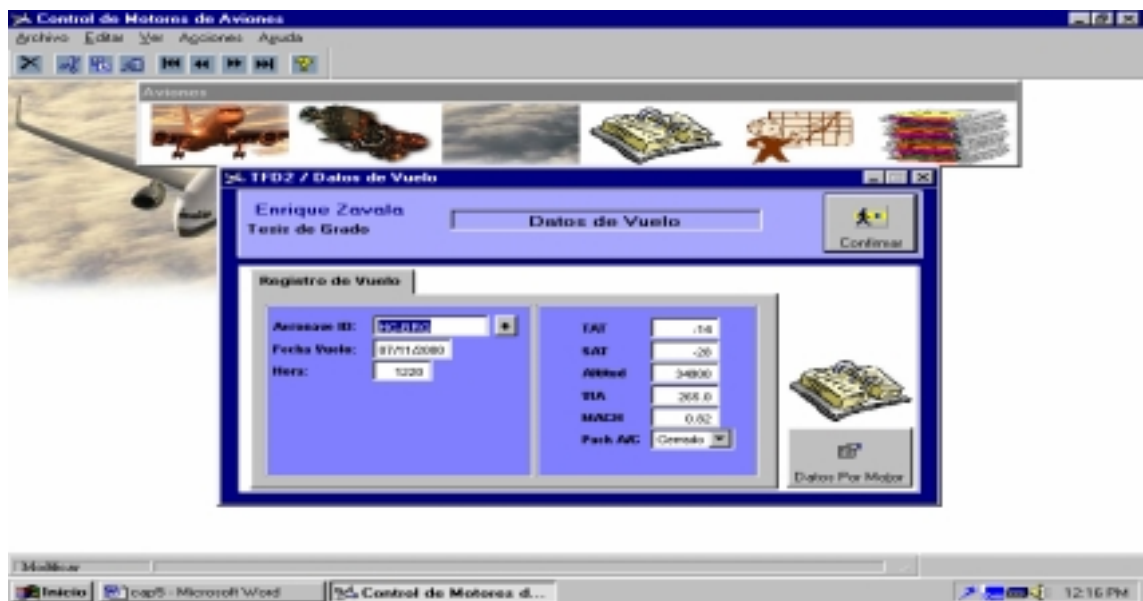


FIG. 5-6. PANTALLA DE INGRESO DE DATOS DE VUELO

En la ventana anterior existe el botón datos por motor para ingresar a la ventana donde se ingresarán los datos correspondientes a los parámetros de funcionamiento de los tres motores instalados en el avión, estos datos se encuentran consignados en la tercera zona del formulario. Una vez ingresada la información se procede a grabar.



FIG. 5-7. PANTALLA DE DATOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

La opción resultados gráficos representada por la gráfica permite llamar el avión, y luego la posición del motor del cual se requiere los resultados para poder analizar las tendencias de los parámetros de funcionamiento del mismo. El programa procesa toda la información grabada anteriormente para esa posición de motor y presentará una tabla de resultados previamente; a continuación con el botón gráficas las tendencias serán mostradas individualmente una después de otra en el siguiente orden: flujo de combustible, porcentaje de revoluciones de baja presión N1, porcentaje de revoluciones de alta presión N2 y temperatura de gases de escape.

FIG. 5-8. PANTALLA DE TABLA DE RESULTADOS DE TENDENCIAS

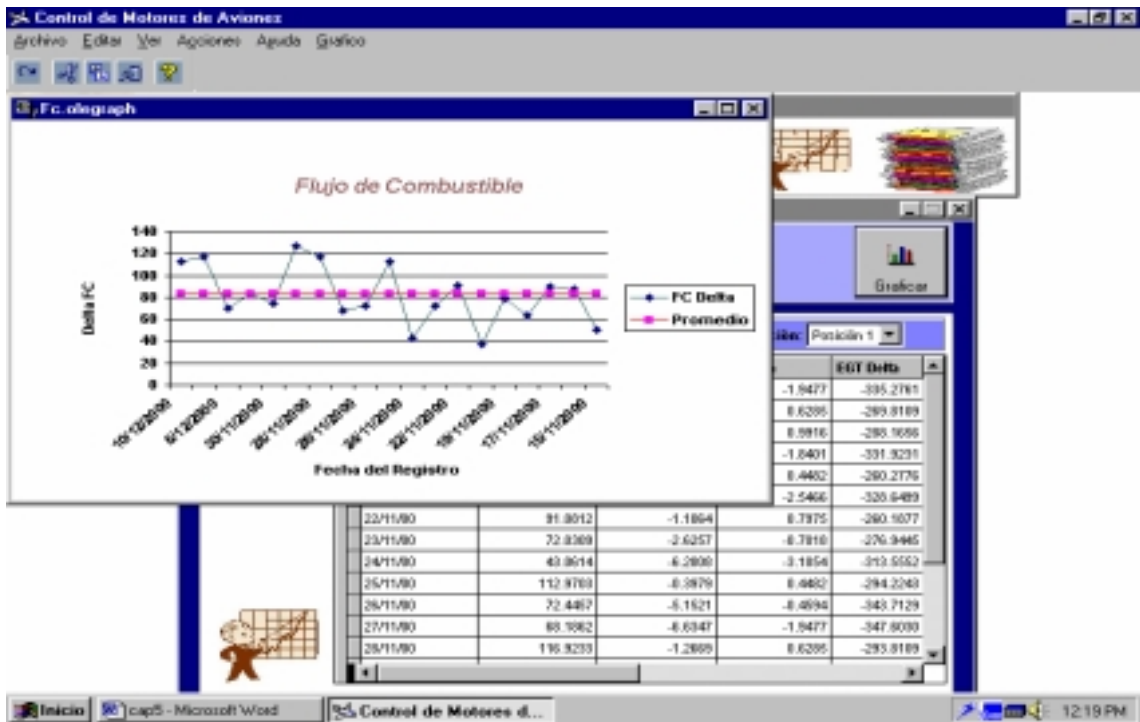
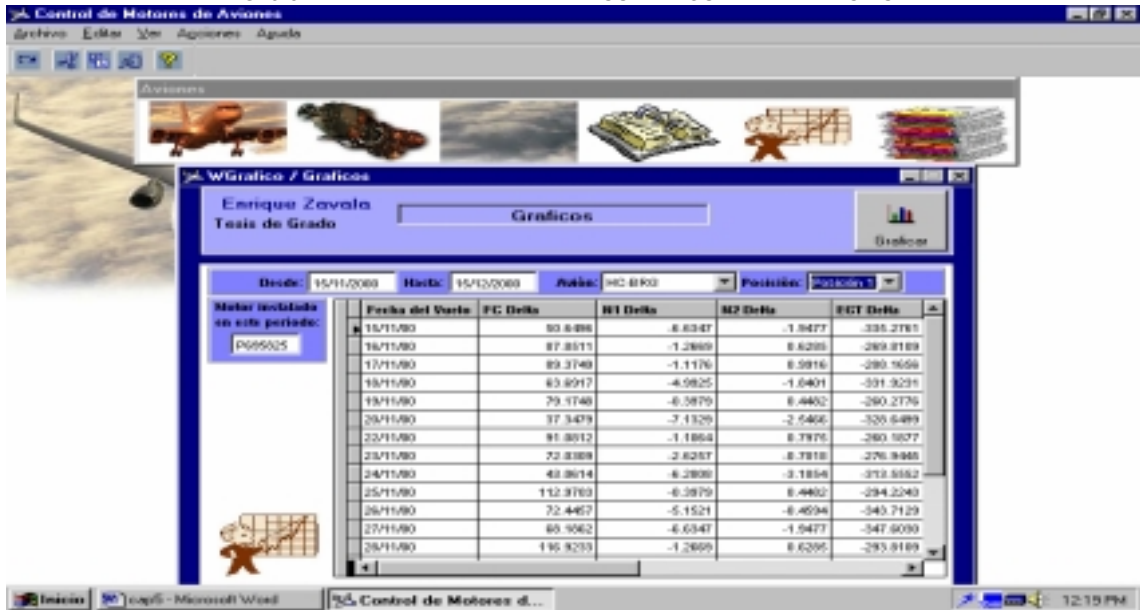


FIG. 5-9. PANTALLA DE TENDENCIAS DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE

FIG. 5-10. PANTALLA DE TENDENCIAS DE REVOLUCIONES DE BAJA PRESIÓN (N1)

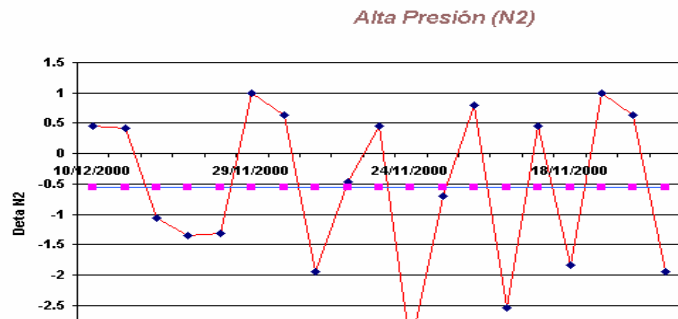
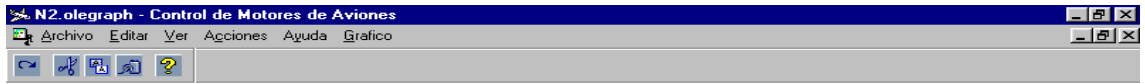
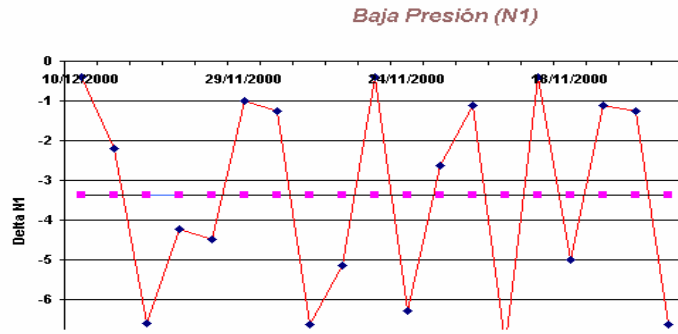
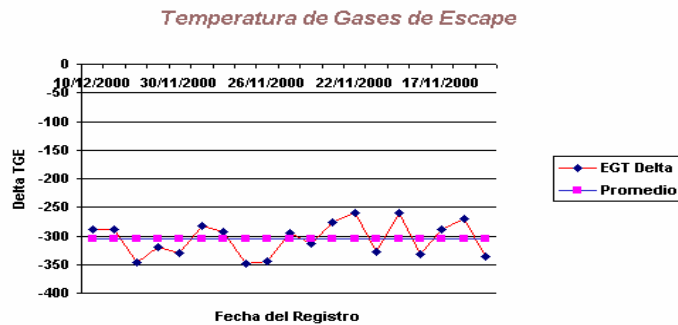
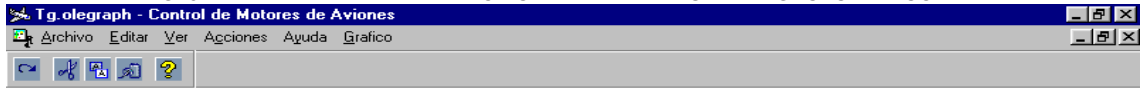


FIG. 5-11. PANTALLA DE TENDENCIAS DE REVOLUCIONES DE ALTA PRESIÓN (N2)

FIG. 5-12. PANTALLA DE TENDENCIAS DE TEMPERATURA DE GASES DE ESCAPE



La opción respaldo de la información representa por el ícono de los disquetes no se encuentra habilitada por que la cantidad de información almacenada es demostrativa.

## **6. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

El programa muestra como resultado las gráficas de los parámetros vigilados para cada uno de los motores de la siguiente manera:

- Ingresar a la opción de gráficas, el programa va a pedir el ingreso de la matrícula del avión y a continuación se procede a ingresar la posición del motor que se va a analizar. El programa procesa la información correspondiente y la muestra en una tabla de resultados que no se puede manipular en forma externa.

- Una vez, que se ha mostrado la tabla de resultados se acciona el botón gráficas. El programa carga la información y muestra las tendencias de las desviaciones con respecto a la media de los puntos base de cada uno de los parámetros; primero se muestra las tendencias del parámetro flujo de combustible. A continuación muestra las tendencias en el siguiente orden: 1.) Revoluciones de baja presión N1, 2.) Revoluciones de alta presión N2, y 3.) Temperatura de gases de escape en forma individual.
- Después, de analizar las tendencias del motor anterior, se procede a obtener las gráficas de los otros motores instalados en el mismo avión. Como se muestra en la sección manual de usuarios.

Observando las tendencias de los parámetros TGE, F/C, N2 y N1 presentan en sus respectivas gráficas se puede suponer un comportamiento en el cual uno, dos, tres ó los cuatro parámetros tengan desviaciones similares, desordenadas ó en forma inexplicables.

El Ingeniero de Motores realizó consultas al fabricante Pratt & Whitney solicitando tablas de decisión para poder entender las tendencias, identificar las zonas del motor con problemas, preparar cartas de inspección de la zona afectada, verificar el estado en el que se encuentran en deterioro o no, y tomar acciones correctivas de mantenimiento.

A continuación se presenta la tabla proporcionado por la Pratt & Whitney:

TABLA 6.1. Reglas de decisión

Monitoreo de condición de motores	
Reglas de decisión	
Indicación de la tendencia	Probable causa
♦ Un parámetro desviado	→ Probabilidad del 90% que sea error de indicación.
♦ Dos parámetros desviados	→ Igual probabilidad de que sea error de indicación o problema en el motor.
♦ Tres parámetros desviados	→ Probabilidad del 90% que sea problema en el motor.
♦ Cuatro parámetros con desviación en la misma dirección	→ Chequear si existe error de indicación de la temperatura de entrada al motor Tt2 ó problema de selección del EPR.
♦ TGE y F/C aumentan en diferente tendencia	→ Un aumento de 10 °C de la TGE equivalen a un aumento de 1% del F/C.
♦ Tendencias inexplicables	→ ¿Fue cambiado el motor? ¿Fue tomada alguna acción de mantenimiento?

Adicionalmente el fabricante Pratt & Whitney proporcionó una tabla de "ataque-al-problema", traducido al idioma inglés "troubleshooting", para poder brindar un soporte técnico a las aerolíneas operadores de sus motores. Esta tabla se muestra a continuación:

TABLA 6.2. Diagnóstico de problemas

Causa	$\Delta$ TGE De -10 a +10	$\Delta$ F/C De -3 a +3	$\Delta$ N2 De -1 a +1	$\Delta$ N1 De -1 a +1	Comentarios
<b>Errores de instrumentación del avión</b>					
Error de +5°C en TAT	-15°C	-1,5%	-0,9%	-0,9%	Todos los motores del avión están afectados
Error de -5°C en TAT	+15°C	+1,5%	+0,9%	+0,9%	
Error de +0.01 en MACH	0	-1,1%	0	0	
Error de -0.01 en MACH	0	+1,1%	0	0	
Error de +500 pies en ALT	0	+2,9%	0	0	
Error de -500 pies en ALT	0	-2,9%	0	0	
<b>Problemas relacionados con el motor</b>					
Los álabes de direccionamiento a la turbina quemados en un 2%	+5°C	+0,6%	-0,5%	-0,1%	Desprendimiento de borde de ataque del álabe
Perdida del 2% en la eficiencia de la turbina de alta presión	+13°C	+1,6%	-1,1%	-0,3%	--
Perdida del 2% en la eficiencia del compresor de alta presión	+10°C	+1,0%	-0,1%	-0,3%	--
Estrés térmico de las cámaras de combustión	0 a +20°C	0 a 20%	0 a -0,5%	0 a -0,5%	No se detiene el incremento de la TGE
Error de +0.02 en el EPR (Fuga de aire en la tomas de presión)	-5°C	-2,6%	-0,3%	-0,6%	Un motor afectado, muestra aceleración retardada
Perdida del 2% en la eficiencia de la turbina de baja presión	+10°C	+1,3%	+0,2%	-0,6%	--



Como se ha podido observar en las gráficas las primeras tendencias de las desviaciones son negativas con respecto a la media de los valores base, esto se debe a que el motor después de su instalación y conforme su utilización sea continua se tendrá un incremento en su funcionamiento hasta estabilizarse, y luego de esa estabilización en su funcionamiento cualquier variación en las tendencias de los parámetros tiene que ser tomada en cuenta como una alerta de un posible problema en la operación del motor.

Es así, que en la gráfica de Flujo de combustible las tendencias muestran variaciones que oscilan entre +3% y -3%, lo que indica por medio de la tabla de ataque-al-problema que existe un error de lectura del instrumento altímetro, por esta conclusión el Ingeniero de Motores procede a preparar una Orden de Trabajo para incluirse en el paquete de tareas de rutina del chequeo de mantenimiento inmediato.

Si después de revisar el instrumento y el sistema de altímetro se soluciona el problema se procede a archivar esta documentación para llevar un control de la frecuencia de estas fallas.

En cambio, si no es solucionado el problema hay que buscar otra razón por la cual se origina este problema de funcionamiento y se procederá a investigar y revisar si existen fugas de aire en las líneas del motor que provocan mayor consumo de combustible, y adicionalmente preparar una

Orden de Trabajo para inspeccionar un posible estrés térmico en las cámaras de combustión siempre y cuando las tendencias de la temperatura de gases de escape esté en aumento progresivo.

De esta manera, se presenta un caso de monitoreo de las tendencias de las desviaciones del parámetro flujo de combustible en un motor y tomar acciones de mantenimiento a tiempo para evitar que el motor se deteriore en menor tiempo de lo esperado, aumentando el porcentaje de riesgo durante los vuelos.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **CONCLUSIONES.**

1. La implantación del programa permite a un Departamento de Ingeniería en Mantenimiento de una compañía de aviación tener un Plan de Administración de Motores:
  - 1.1. El usuario puede prever la existencia de problemas.
  - 1.2. El usuario podrá entender la causa de estos problemas.
  
2. Reduce los costos de operación y mantenimiento de los motores.

- 2.1. Reduce el tiempo de inspección en tránsito de un aeropuerto de los motores y poder tenerlos listos para el próximo vuelo.
  - 2.2. Reduce el porcentaje de remociones prematuras de los motores por averías.
  - 2.3. Se reduce los gastos de reparación de los motores en los talleres.
3. Incrementa la fiabilidad del funcionamiento de los motores.
    - 3.1. Se reducen el número de cancelaciones de vuelos y los atrasos.
    - 3.2. Se reducen los problemas al mínimo en vuelo de los motores y evitar poner en riesgo la seguridad de los pasajeros.

## **RECOMENDACIONES.**

- 1) El programa de monitoreo de motores, es un programa de control estadístico que fue diseñado en base de las necesidades y recursos con los que contaba la compañía SAETA; se lo procesó durante cuatro meses, estuvo en uso con obtención de resultados durante 11 meses, y por esta razón puede ser modificado con mejoras, como la inclusión del diagnóstico dentro del mismo.
- 2) El programa fue creado para implantarse no sólo en la compañía SAETA, como una herramienta de ayuda para la administración de los motores de la flota y ahorro de recursos económicos, sino que se observó un valor

comercial del mismo de USD 4,000.00 para ofrecerlo a otras compañías operadoras de aeronaves BOEING B727-200 con motores Pratt & Whitney modelo JT8D-15 dentro del mercado local y regional.

- 3) El Ingeniero de motores debe tomar en cuenta que las desviaciones de los parámetros no necesariamente tienen que alcanzar los valores máximos de acuerdo a la tabla de diagnóstico ó de búsqueda de problemas para tomar acciones de mantenimiento preventivas.

# BIBLIOGRAFÍA

- Beer Johnston, "Dinámica vectorial para Ingenieros".
- A. Isidro Carmona, "Aerodinámica y Actuaciones del avión". Editorial Paraninfo, 1989.
- Faires, "Termodinámica".
- Shames, "Mecánica de fluidos".