

RESUMEN DE DATOS
LOCALIZACIÓN

Fecha y hora	Jueves, 6 de febrero de 2003; 16:33 horas¹
Lugar	Aeropuerto de Cuatro Vientos (Madrid)

AERONAVE

Matrícula	EC-CTO
Tipo y modelo	ROCKWELL COMMANDER 680-F

Motores

Tipo y modelo	LYCOMING IGSO-540B1A
Número	2

TRIPULACIÓN
Piloto al mando

Edad	34 años
Licencia	Piloto comercial de avión
Total horas de vuelo	2.672 horas

LESIONES

	Muertos	Graves	Leves/ilesos
Tripulación			2
Pasajeros			1
Otras personas			

DAÑOS

Aeronave	Hélice y ala derecha, parte inferior del fuselaje
Otros daños	Ninguno

DATOS DEL VUELO

Tipo de operación	Aviación general – Instrucción – Verificación
Fase del vuelo	Recorrido de aterrizaje

¹ Las referencias horarias utilizadas en el informe son UTC, salvo que se especifique expresamente lo contrario. En el periodo estacional en el que ocurrió el accidente, la hora se calcula sumando 1 hora a la hora UTC.

1. INFORMACIÓN SOBRE LOS HECHOS

1.1 Reseña del vuelo

El jueves día 6 de febrero de 2003, la aeronave EC-CTO despegó del aeropuerto de Cuatro Vientos a las 16:16 horas para realizar un vuelo de 1:40 horas de duración, bajo reglas de vuelo visual, con destino el mismo aeropuerto de Cuatro Vientos.

El objeto del vuelo era realizar una verificación de competencia para la revalidación de habilitaciones del alumno a bordo de la aeronave, y a tal efecto iba acompañado de un piloto y de otra persona en calidad de observador.

Después del despegue, el piloto intentó retraer el tren observando que la indicación en cabina era de tren derecho abajo y bloqueado (luz verde de tren derecho encendida y luz roja apagada). Ante esta situación extendió y retrajo el tren en dos ocasiones sin conseguir el bloqueo de la pata derecha. En el tercer intento, la presión del sistema hidráulico había descendido hasta 700 psi y, a pesar de estar la palanca en posición de tren arriba, éste empezó a descender.

Ante esta situación, decidieron regresar al aeródromo informando de problemas con el sistema hidráulico y requiriendo prioridad para aterrizar.

El piloto, tras una confirmación visual por parte de la torre de control de que el tren estaba abajo, realizó una maniobra de encabritado y picado, después de la cual, el piloto declara que consiguió bloquear el tren.

En este momento, la presión de hidráulico había descendido a 350 psi, valor insuficiente para realizar la frenada, por lo que declararon emergencia e iniciaron la aproximación hacia la pista.



Foto 1. Estado de la aeronave después del aterrizaje

A las 16:33 tomó tierra y después de haber recorrido entre 100 y 200 metros, el tren derecho se retrajo produciendo, además de daños importantes en la aeronave, fugas de combustible en el plano derecho. Finalmente, la aeronave, después de girar hacia la derecha, quedó detenida al borde de la pista y las tres personas a bordo abandonaron la misma por sus propios medios.

Los servicios de bomberos, avisados del estado de emergencia, se encontraban posicionados cerca de la pista y actuaron rápidamente descargando espuma para impedir la aparición de incendios en la aeronave.

Como consecuencia del estado en que quedó la aeronave, tuvo que ser retirada por una grúa y conducida hasta el hangar de la compañía, por lo que el aeropuerto permaneció cerrado hasta las 17:37 horas.

1.2. Daños sufridos por la aeronave e información sobre el choque

Durante la carrera de aterrizaje, y como consecuencia de la retracción del tren principal derecho, la aeronave dejó las siguientes huellas en la pista (figura 1):

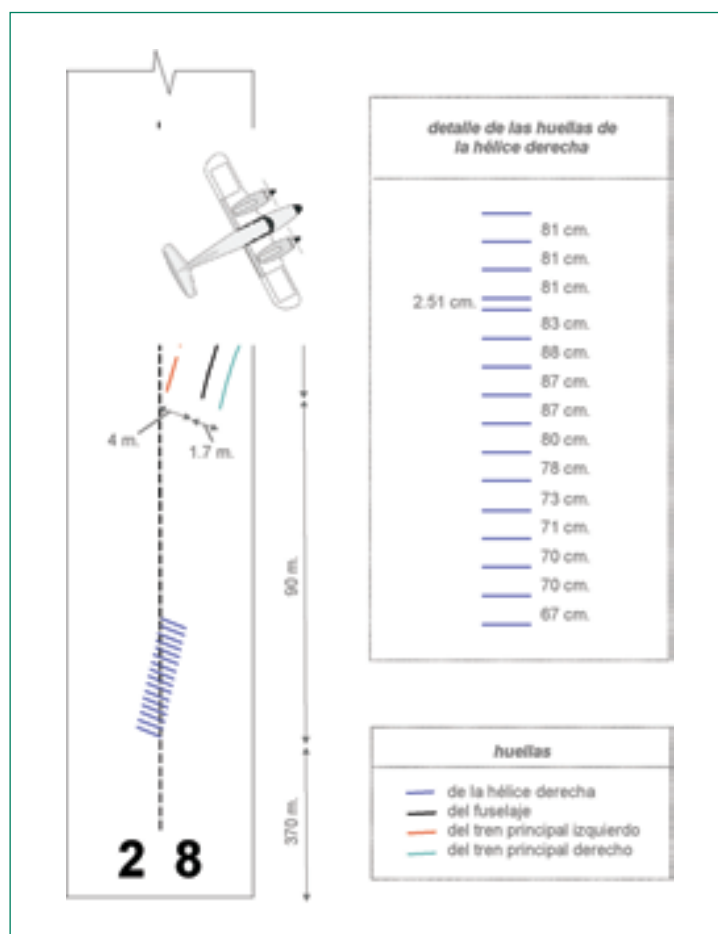


Figura 1. Huellas

- 16 huellas de la hélice derecha prácticamente equidistantes.
- Marca continua del tren principal derecho.
- Marca continua del fuselaje.
- Marca discontinua del tren principal izquierdo.

La distinta distancia de separación entre las marcas dejadas por el fuselaje y cada una de las patas del tren principal, indican que la aeronave se desplazaba «derrapando» sobre el tren derecho.

Los daños que presentaba la aeronave después del accidente eran:

- Fuselaje: deformaciones y roturas en la parte inferior derecha del fuselaje como consecuencia de la retracción del tren.
- Ala derecha: pocas rozaduras y restos de hierba en el borde marginal.
- Hélice derecha: deformación de las puntas de las tres palas hacia atrás con desaparición de la pintura. La magnitud de la deformación de las puntas era prácticamente similar en las tres.

1.3. Información sobre la tripulación

Los datos más importantes de experiencia y titulación del piloto al mando de la aeronave se muestran en la tabla siguiente.

Información sobre el piloto		
Edad	34 años	
Nacionalidad	Española	
Licencia	Piloto comercial de avión	
Habilitación (validez)	Multimotor pistón (19-15-03)	
	Monomotor pistón (19-05-03)	
	Vuelo instrumental (19-05-03)	
	Instructor de vuelo (19-05-04)	
	Instructor de vuelo instrumental (19-05-04)	
	Instructor habilitaciones clase (monomotor de avión) (20-01-06)	
Experiencia	Total	2.672 horas
	Últimos 90 días	22:42 horas
	Últimas 60 horas	6:00 horas
	Últimas 30 horas	3:06 horas

1.4 Información sobre la aeronave

En las tablas siguientes se presenta información relativa a las características de la aeronave. Así mismo se referencia la última inspección a la que la aeronave, de acuerdo con el Programa de Mantenimiento aprobado, fue sometida en septiembre de 2002 y que corresponde a una inspección de 100 horas. Desde este momento hasta el accidente, la aeronave había operado 24 horas.

Información general		
Matrícula	EC-CTO	
Constructor	Aero Commander Inc	
Modelo	Rockwell Comander 680F	
Año de fabricación	1962	
Motores (2)	Fabricante	Lycoming
	Modelo	IGSO-540B1A
Hélices (2)	Marca	Hartzell
	Modelo	HC-B3Z-2B/9349.6
Certificado aeronavegabilidad	Clase	Normal
	Categoría	Trabajos aéreos (adecuada para cualquier condición ambiental)
	Prestación	Normal
	Modalidad	Escuela
	Número	1.740
	Emisión	29-06-99
	Validez	01-10-03
	Última renovación	01-10-02

Características técnicas		
Dimensiones	Envergadura	15,09 metros
	Altura	4,42 metros
	Longitud	10,07 metros
Limitaciones	Peso máximo despegue	3.629 kg
	Peso máximo aterrizaje	2.618 kg
	Tripulación mínima	1 piloto

Características técnicas		
Aeronave	Horas	1.988 horas
Motores	Horas	Derecho: 1.513 horas
	Aeronave	Izquierdo: 1.9889 horas
		Inspección: 100 horas
		Horas: 1.964
		Fecha: 09-08-02
Últimas inspecciones	Motor derecho	Tipo de inspección: 100 horas
		Horas: 1.489
		Fecha: 09-08-02
	Motor izquierdo	Tipo de inspección: 100 horas
		Horas: 1.965
		Fecha: 09-08-02

1.5 Información meteorológica

La información meteorológica, facilitada por el Instituto Nacional de Meteorología, para el periodo en que ocurrió el accidente era la siguiente:

16:30 UTC

- Viento: 210° y 5 nudos.
- Visibilidad: superior a 10 km.
- Nubes dispersas a 4.000 pies.
- Temperatura: 11 °C.
- Punto de rocío: 0 °C.
- QNH: 1019.

Vertical de Madrid a las 18:00 UTC a FL 020

- Viento: 44° y 3 nudos.
- Temperatura: 13 °C.

Vertical de Madrid a las 18:00 UTC a FL 050

- Viento: 29° y 5 nudos.
- Temperatura: 5 °C.

Las previsiones no recogían fenómenos significativos para el área de Madrid entre las 15:00 UTC y las 21:00 UTC.

1.6 Comunicaciones

La información obtenida de las comunicaciones aeroterrestres (T-A) mantenidas entre la aeronave y la torre de control de Cuatro Vientos muestra la siguiente secuencia:

Hora ²	Comunicación T-A
16:16	Despegue de la aeronave por la pista 28. Viento 180° y 5 nudos
16:21	Anuncian que regresan al campo
16:22	Requiere prioridad por pérdida en el sistema hidráulico Notifica a la torre que no tiene indicación de tren abajo y bloqueado
16:26	Recibe autorización para realizar pasada para comprobación por la torre del estado del tren La aeronave pide confirmación de que el tren de morro está bajado
16:29	Confirmación de la torre del tren abajo La aeronave notifica que parece que han conseguido bloquear el y declaran emergencia. Notifican la cantidad de combustible personas a bordo
16:33	Aterrizaje por la pista 28 y salida de la pista con derramamiento de combustible. Notificación a todas las aeronaves del cierre del aeropuerto.

1.7 Investigación

De acuerdo con los problemas descritos por la tripulación durante el vuelo y según los protocolos establecidos en el manual de mantenimiento de la aeronave, se realizaron un conjunto de inspecciones cuyos resultados se muestran a continuación.

1.7.1. Indicaciones de los sistemas después del accidente

Antes de realizar cualquier tipo de prueba a la aeronave, se recogieron las indicaciones de los sistemas hidráulico y neumático de la aeronave, con objeto de conocer el estado en que quedaron después del accidente:

- Presión hidráulico: 0 psi (fuera de tolerancias).
- Presión neumático: aproximadamente 300 psi (dentro de tolerancias).

1.7.2. Estado del sistema hidráulico

Las pruebas realizadas para comprobar el correcto estado de todas las tuberías del sistema hidráulico, mostraron, tras conectar el sistema a una bomba exterior (denominada mula hidráulica), que:

² La referencia utilizada es hora UTC de la dependencia de control de torre del aeropuerto de Cuatro Vientos.

- Con una presión del sistema de 150 psi, se empezaron a producir pérdidas de fluido hidráulico por la zona superior derecha del fuselaje, en la unión de éste con el ala derecha.

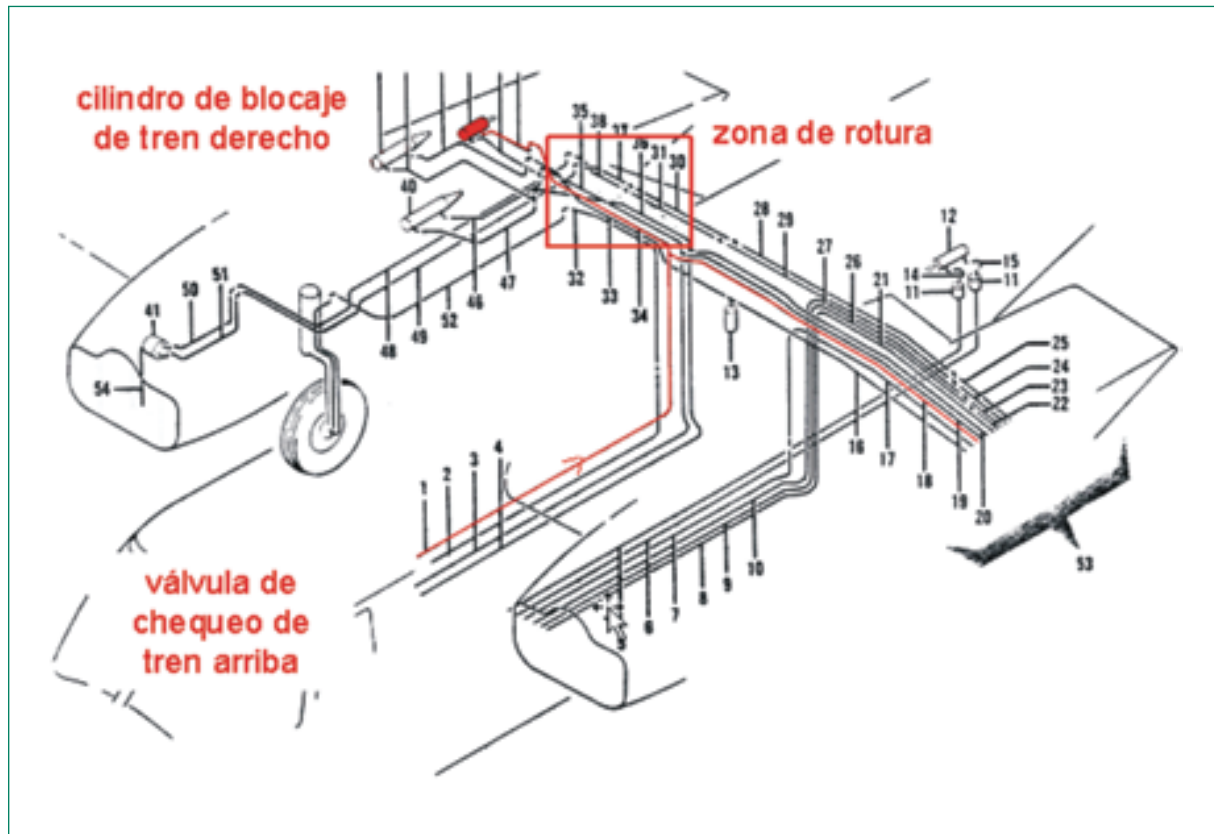


Figura 2. Zona de pérdida del sistema hidráulico

- El examen de la tubería que daba origen a las pérdidas del sistema, mostró numerosas señales a lo largo de la misma y todas situadas en el mismo plano. A nivel macroscópico se podía apreciar una perforación en una de las señales.
- La tubería de hidráulico defectuosa corresponde a la línea de bloqueo de tren arriba que une la válvula de chequeo de tren arriba con los cilindros de bloqueo de cada tren principal (P/N: 6790246-145).
- Una vez reemplazada dicha tubería, se realizaron las pruebas que se indican a continuación y que permitieron confirmar que el origen de la pérdida de presión del sistema hidráulico estaba en dicha tubería.

1.7.3 Funcionamiento del tren de aterrizaje y del sistema de indicación en cabina

Con el sistema hidráulico y neumático funcionando en condiciones normales, se hicieron pruebas de retracción y extensión del tren de aterrizaje, dando los siguientes resultados:

- Tanto el tren principal como el de morro alcanzaron las posiciones de tren arriba y bloqueado y tren abajo y bloqueado.
- Las indicaciones en cabina del tren principal izquierdo y tren de morro eran correctas y coherentes con la posición física del tren.

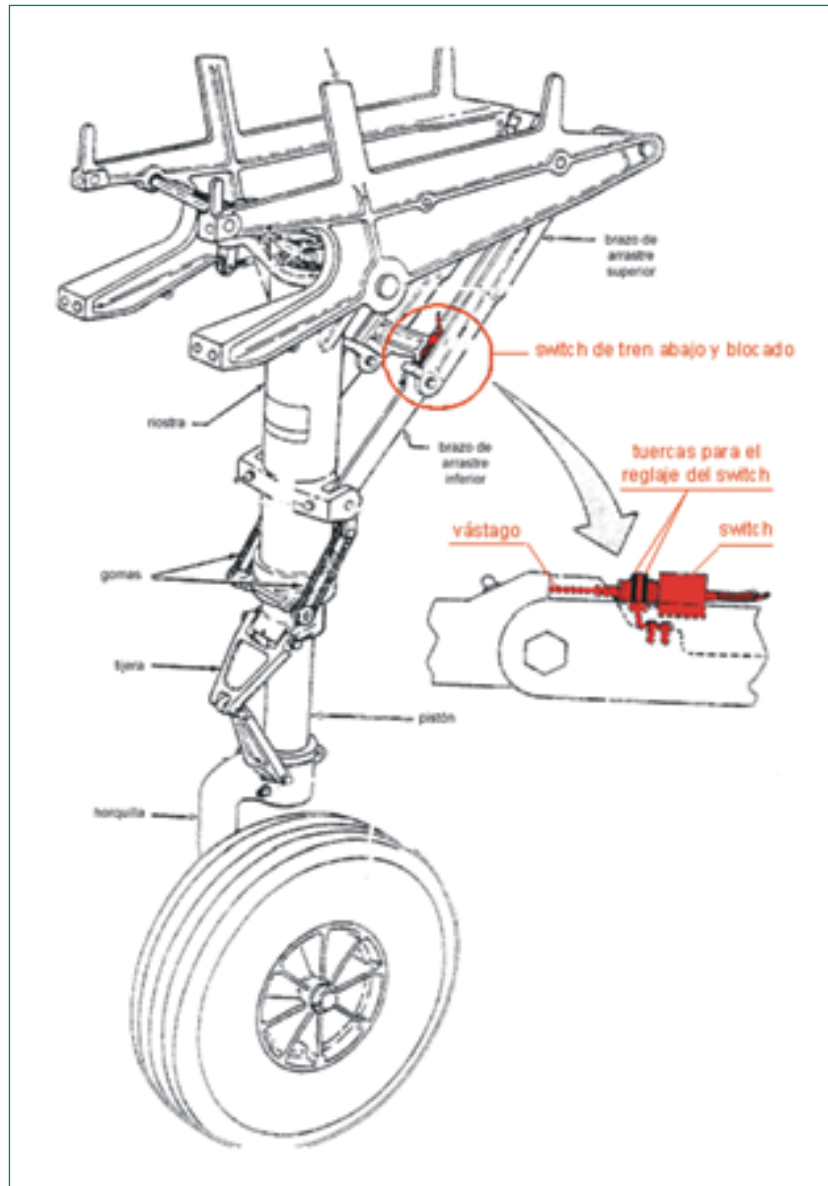


Figura 3. Conmutador del tren de abajo y bloqueado del tren principal

- La indicación en cabina del tren principal derecho daba indicaciones erróneas: independientemente de la posición del tren (abajo y bloqueado o arriba y bloqueado) daba indicación de tren abajo y bloqueado, es decir, la luz verde permanecía encendida.
- El conmutador de tren abajo y bloqueado del tren principal derecho funcionaba incorrectamente debido a que el desplazamiento del vástago no se producía por suciedad y falta de engrase.

1.7.4 *Funcionamiento del sistema neumático*

A pesar de que la lectura de presión del sistema neumático estaba dentro de tolerancias, se comprobó el correcto funcionamiento del mismo en el caso más crítico, es decir, con inoperatividad total del sistema hidráulico (principal y auxiliar)³. Para ello, se drenó por completo el sistema hidráulico hasta que la presión alcanzó 0 psi y, con una indicación de presión de neumático en 275 psi (valor mínimo de operación) se comprobó que:

- Cuando en el proceso de drenaje del sistema hidráulico la presión descendió a unos 300 psi, el tren de morro se extendió por sí sólo.
- A pesar de que la presión de hidráulico era 0 psi, el sistema neumático fue capaz de extender el tren principal.
- La presión de neumático después de la extensión del tren no había variado respecto a la inicial.

1.8 Información adicional

1.8.1. *Descripción del sistema hidráulico*

Un sistema hidráulico es aquel en el que un líquido bajo presión es utilizado como medio para transportar energía entre dos puntos. Los sistemas hidráulicos permiten accionar elementos de una aeronave que requieren grandes fuerzas para ello. La configuración básica de un sistema hidráulico es la siguiente:

En el caso del Aerocommander 680F, el sistema hidráulico actúa los siguientes elementos (figura 6):

- Los flaps.
- Los frenos.
- El tren de aterrizaje.
- El mecanismo de dirección del tren de morro.

El diseño del sistema permite dos modos de funcionamiento (figura 5):

- Funcionamiento en condiciones normales en las que opera el sistema hidráulico en su conjunto. En estas condiciones el sistema es capaz de operar los flaps, los frenos, el tren y la dirección del tren de morro. La presión de funcionamiento normal del sistema es de 1.000 psi.
- Funcionamiento en condiciones de emergencia en las que opera el sistema hidráulico auxiliar y que permite la operación de los flaps y los frenos. El sistema auxiliar

³ Como se indica en el apartado 1.8, el sistema de aterrizaje está diseñado de tal forma que el sistema neumático, además de ayudar a la extensión del tren principal en condiciones normales de operación, permite, en caso de un fallo del éste, la extensión del tren principal sólo con presión neumática.

entrará en funcionamiento cuando la presión del sistema descienda a 500 ± 30 psi y se desconectará cuando la presión sea 570 ± 30 psi.

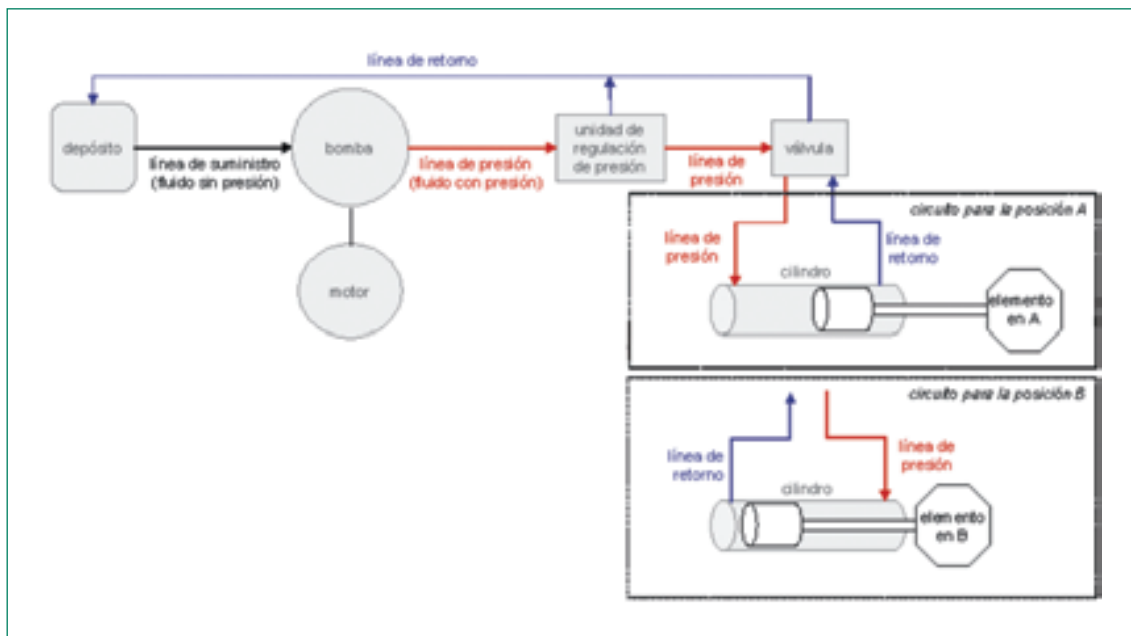


Figura 4. Configuración básica de un sistema hidráulico

Circuito del sistema hidráulico principal (figura 5 y 6):

- El fluido hidráulico es almacenado en un tanque o depósito situado en el plano izquierdo de la aeronave.
- El hidráulico es extraído del depósito, a través de dos válvulas de cierre y de dos líneas de suministro, por dos bombas, cada una movida por un motor, situadas una en cada plano de la aeronave.
- Desde las bombas, el hidráulico, ya con presión, llega a la unidad de regulación de presión que se encarga de mantener la presión del sistema a 1000 psi. En caso de que ésta exceda de 1300 psi, existe una válvula de alivio que permite liberar presión al sistema dirigiendo fluido de retorno al depósito.
- De la unidad de regulación de presión sale la línea de presión del sistema que llega a:
 - Las dos válvulas de frenos (una para cada tren principal).
 - La válvula de tren.
 - La válvula de flaps.
- Para cerrar el circuito, existen líneas de retorno de fluido desde las válvulas y la unidad de regulación de presión hasta el depósito.
- Las líneas que conectan las válvulas con los elementos asociados a cada una, no se denominan líneas de presión y de retorno como en la parte anterior del sistema, sino que estas líneas, según la posición que se quiera provocar en el elemento, actúan de retorno o de línea de presión, según el caso. Por este motivo, reciben el nombre

del movimiento que provocan cuando se dirige fluido a presión por ellas, como por ejemplo, línea de tren arriba o línea de frenos.

Circuito del sistema hidráulico auxiliar (figuras 6 y 7):

- Cuando la presión del sistema alcanza los 500 ± 30 psi, un conmutador de presión pone en funcionamiento una bomba auxiliar situada en el plano izquierdo.
- Esta bomba extrae fluido de una «reserva» situada en la parte inferior del depósito de hidráulico, a través de una línea de suministro.
- Desde la bomba auxiliar, sale la línea de presión de emergencia que llega a:
 - Las dos válvulas de frenos.
 - La válvula de flaps.
- El circuito se cierra con las líneas de retorno que conectan las válvulas con el depósito. Estas líneas de retorno son las mismas que las utilizadas en condiciones normales.
- Desde las válvulas hasta los elementos asociados a ellas, las líneas corresponden a las utilizadas cuando el sistema funciona en condiciones normales.
- Además de activarse el circuito de hidráulico auxiliar en caso de que la presión de hidráulico descienda de 1.000 a 500 psi, la bomba auxiliar funciona antes de encender motores para permitir la operación de los frenos y flaps.

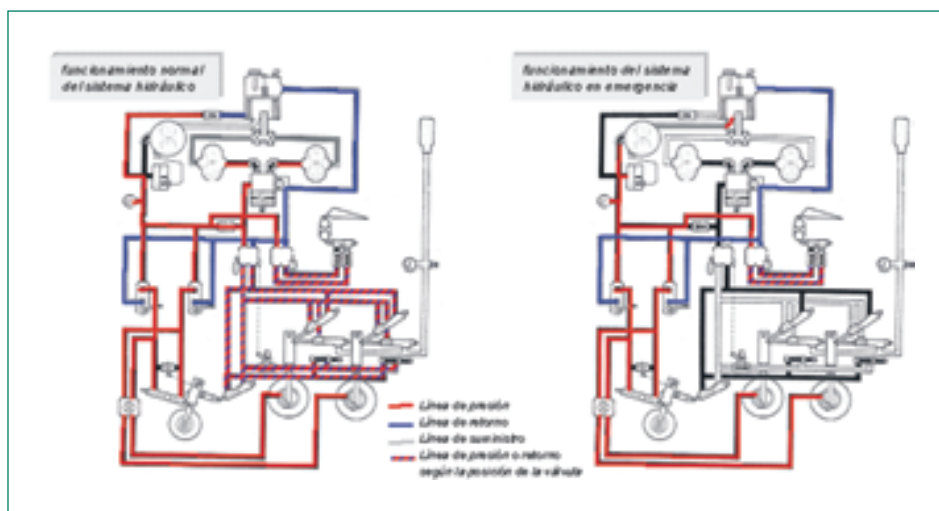


Figura 5. Modos de funcionamiento del sistema hidráulico

1.8.2. Descripción del sistema neumático

El sistema hidráulico de esta aeronave se complementa con un circuito neumático, que funciona en unos rangos de presión entre 275 y 350 psi, y que ayuda en el proceso de extensión del tren principal tanto en condiciones normales como en caso de fallo del sistema hidráulico (ver apartado 1.8.3).

El circuito del sistema neumático es el siguiente (figura 7):

- El aire a presión es almacenado en un depósito.
- Desde el depósito salen dos líneas que se dirigen a cada uno de los denominados cilindros de emergencia del tren principal.
- El sistema se completa con un indicador de presión de neumático situado en la línea de unión entre el depósito y el cilindro.

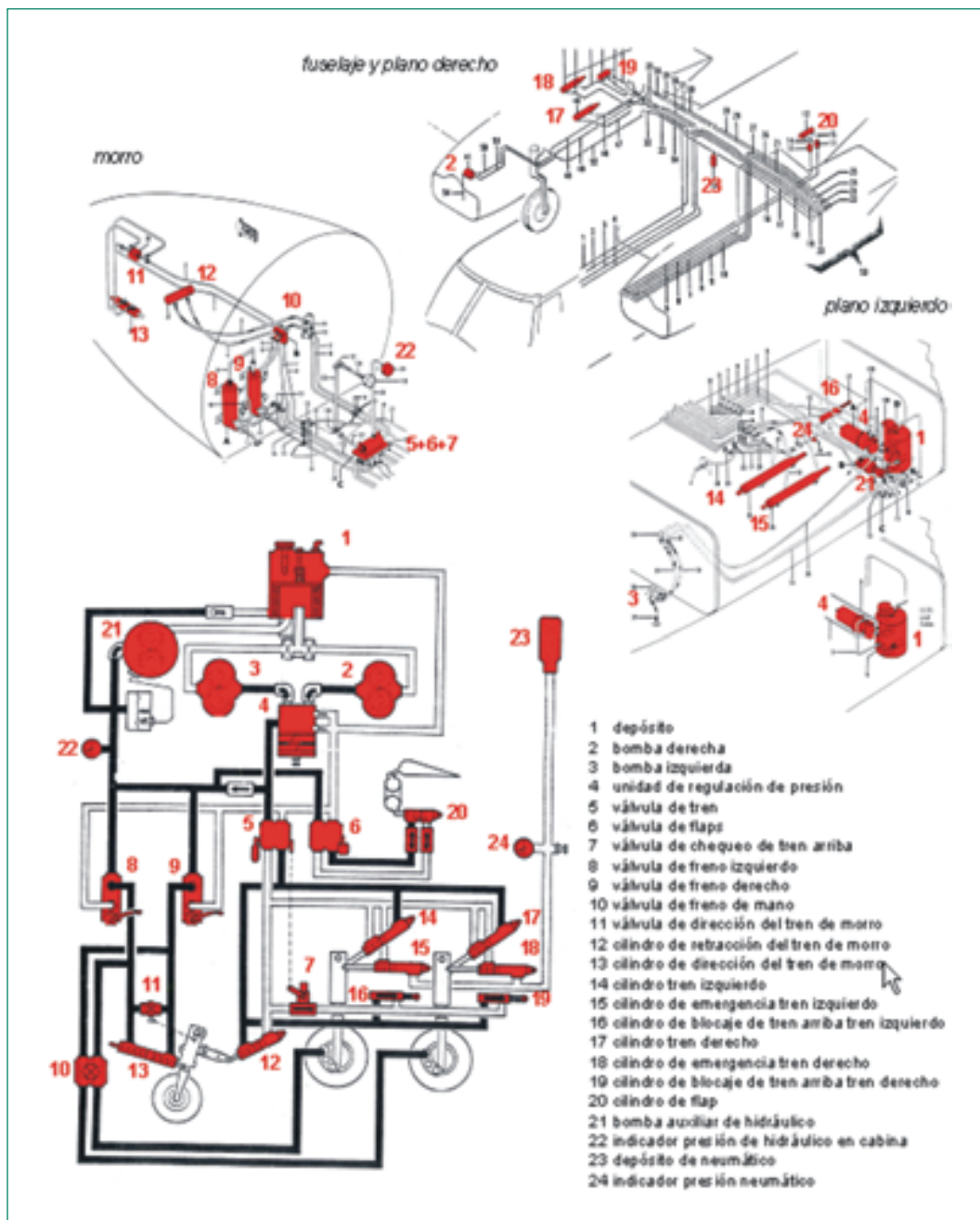


Figura 6. Esquema y ubicación de los elementos del sistema hidráulico y neumático del AC680F

1.8.3. Descripción del tren de aterrizaje y sistema de indicación en cabina

La aeronave está equipada con un tren triciclo retráctil formado por un tren principal de dos patas y una rueda de morro dirigible.

1.8.3.1. Funcionamiento del tren de morro (figura 8)

- La retracción y extensión se realizan por presión del sistema hidráulico principal.
- Ambos movimientos se inician a partir de la colocación, en cabina, de la palanca de tren en la posición de GEAR UP o GEAR DOWN según corresponda. Esto provoca que la válvula de tren (número 5 en la figura 6) dirija presión de hidráulico hacia el puerto correspondiente del cilindro de retracción del tren de morro (número 12 en la figura 6).
- Una vez ha subido el tren, no existe ningún mecanismo de bloqueo adicional más allá de la presión del sistema. En el caso de producirse algún fallo de funcionamiento del sistema hidráulico la falta de presión en el sistema provocará el descenso del tren de morro.
- El bloqueo en la posición de tren extendido se realiza por configuración geométrica de los elementos mecánicos de la pata.

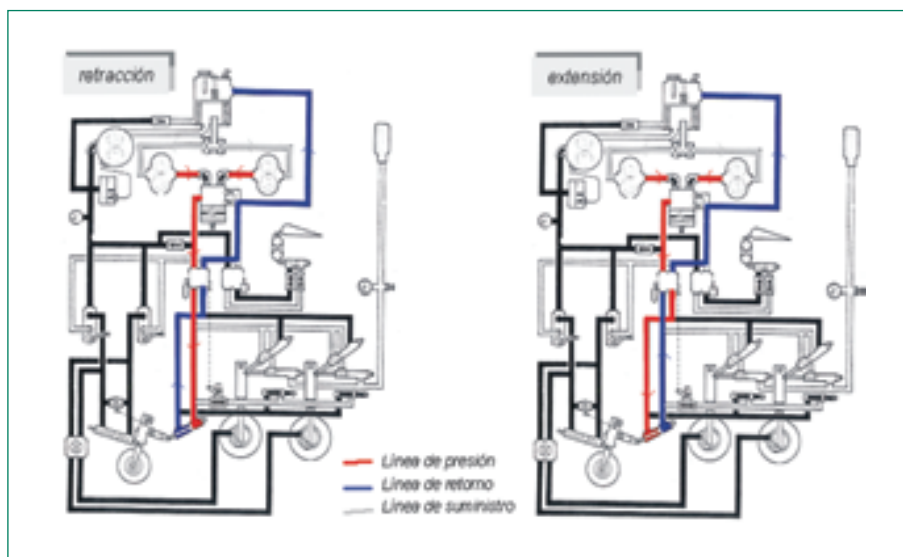


Figura 7. Funcionamiento del tren de morro

1.8.3.2. Funcionamiento del tren principal (figuras 9 y 10)

- El tren principal se retrae por presión del sistema hidráulico. Cuando la palanca de tren se coloca en la posición de GEAR UP, la válvula de tren (número 5 en la figura 6) dirige fluido con presión al puerto correspondiente de los cilindros «normal» y de «emergencia» de cada pata (números 14, 15, 17 y 18 en la figura 6).
- En el caso de la extensión, el funcionamiento no es sólo hidráulico como en la retracción, sino que es neumático e hidráulico. Cuando se selecciona la posición de GEAR

DOWN en cabina, la válvula de tren dirige fluido hidráulico a presión a los puertos correspondientes de los cilindros «normales» de cada pata, mientras que en los cilindros de «emergencia» se inyecta aire a presión por el puerto correspondiente.

— El bloqueo en la posición de retracción del tren, a diferencia del tren de morro, se realiza mediante un mecanismo específico formado por:

- Una válvula de chequeo de tren arriba (número 7 en la figura 7).
- Cilindro hidráulico de bloqueo de tren arriba (número 16 y 19 en la figura 7).
- Un muelle.
- Un conmutador de tren arriba y bloqueado.

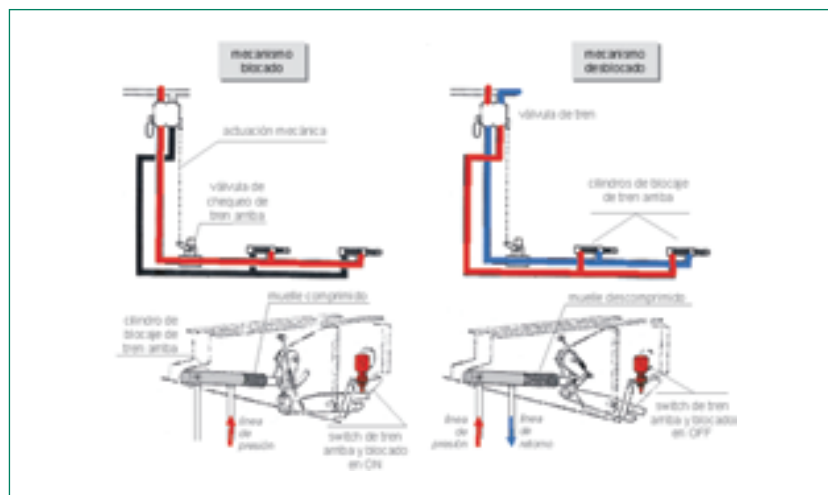


Figura 8. Mecanismo de bloqueo del tren principal en la posición de UP

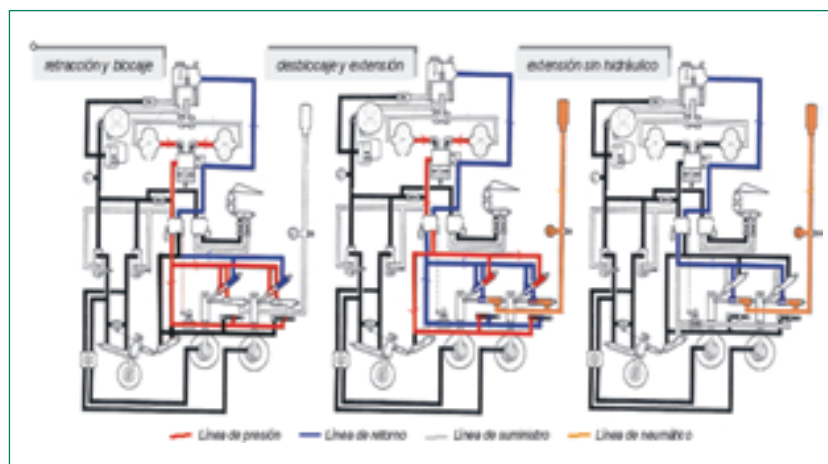


Figura 9. Funcionamiento del conmutador del tren principal

— En la posición de GEAR UP, la válvula de chequeo de tren arriba, que está unida mecánicamente a la válvula de tren, se cierra «atrapando» la presión entre la válvula y los cilindros de bloqueo previniendo el desbloqueo y caída del tren incluso en caso de pérdidas de presión en el sistema. Cuando la palanca de tren en cabina se

posiciona en GEAR DOWN, la válvula de chequeo se abre y la presión de hidráulico, junto con la presión del muelle, permiten el desbloqueo del tren.

- El bloqueo en la posición de tren extendido se realiza por configuración geométrica de los elementos mecánicos de la pata, es decir, por el ajuste del sobrecentro (brazos de arrastre superior e inferior y las gomas) (ver figura 3).

En la tabla siguiente se resumen los mecanismos que permiten la recogida, extensión y bloqueo del tren de aterrizaje en esta aeronave:

Operado por ⁴ :				
Elemento y estado		En condiciones normales	En emergencia fallo SHP	En emergencia fallo SHA
Tren de morro	Recorrido	SHP	—	—
	Extendido	SHP	Libremente	Libremente
Tren principal	Recorrido	SHP+mecanismo bloqueo	—	—
	Extendido	SHP + SN	SN	SN
	Freno	SHP	SHA	—

1.8.3.3. Sistema de indicación de tren en cabina

- En cabina existen cuatro indicadores luminosos que dan información del estado del tren de aterrizaje: tres luces verdes y una roja.
- Luces verdes:
 - Dan información del estado de cada una de las tres patas del tren por separado.
 - Cuando una luz verde se ilumina indica que la pata correspondiente se encuentran en la posición de abajo y bloqueado.

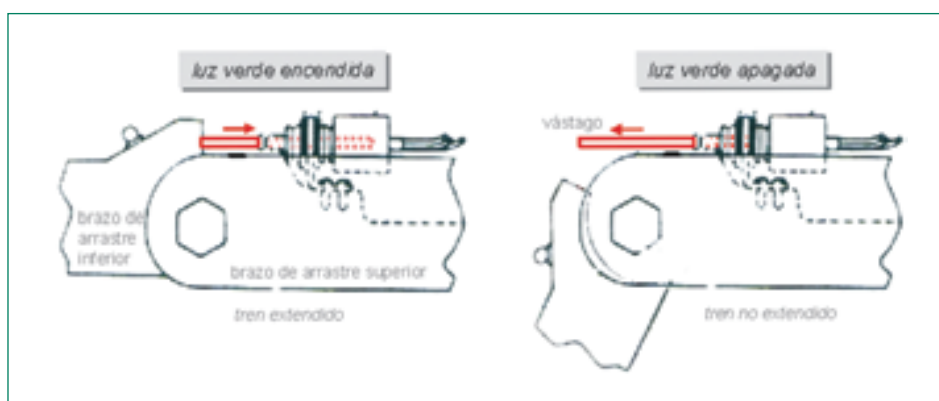


Figura 10. Funcionamiento del conmutador del tren abajo y bloqueado

⁴ SHP: Sistema Hidráulico Principal.
SHA: Sistema Hidráulico Auxiliar.
SN: Sistema Neumático.

- Cada luz verde tiene asociado un conmutador de abajo y bloqueado (ver figura 4) situado en la zona de unión entre el brazo de arrastre superior e inferior del tren.
- Cada conmutador tiene un vástago que se desplaza cerrando o abriendo, respectivamente, unos contactos que originarán que la luz de cabina se encienda o apague. Además del vástago y los contactos existen unas tuercas de reglaje que permiten acercar o alejar el conjunto del conmutador del brazo de arrastre inferior del tren y asegurar el contacto.

— Luz roja:

- Da información del conjunto de las tres patas.
- Cuando la luz roja se ilumina indica que las tres patas se encuentran en la posición de arriba y bloqueado.
- La luz roja tiene asociados tres conmutadores de arriba y bloqueado (ver figura 8) que forman un circuito. Cuando alguna de las patas no está en la posición de arriba y bloqueada, el no cierra el circuito y la luz roja permanecerá apagada, aunque las otras dos patas estén bloqueadas.

1.8.4. Descripción de tareas de mantenimiento

A continuación se describen las condiciones de operación y actividades de chequeo (establecidas en el Manual de Vuelo y en el Manual de Mantenimiento) que afectan a los sistemas que mostraron problemas de funcionamiento durante el vuelo y en las inspecciones posteriores.

1.8.4.1. Manual de vuelo

— Limitaciones:

- Máxima velocidad para extender el tren: 156 nudos de velocidad calibrada.

— Revisión prevuelo:

— Comprobar que los muelles de los cilindros de bloqueo de tren arriba (los de la figura 9) no están rotos.

- Comprobar que la presión de aire está entre 275-350 psi.

— Antes de encender motores:

- Presión de hidráulico: 500 psi mínimo.

Nota: con los dos motores inoperativos, la bomba auxiliar de hidráulico proporciona, automáticamente, presión para la operación de los frenos y los flaps cuando el MASTER switch está colocado en las posiciones de BATTERY o EXT. POWER. Comprobar la operación de esta bomba aplicando frenos varias veces y observando las indicaciones de presión de hidráulico. La bomba auxiliar debe reemplazar la presión a 500 psi cuando los frenos son liberados. Es normal para esta bomba funcione una

vez cada dos segundos. Con el freno de mano, la bomba debe dejar de funcionar. Si no lo hace, es que existen fugas menores en los sistemas de frenos y flaps.

— Encendido de motores:

- Comprobar la operación de la bomba de hidráulico (cada motor por separado).

Nota: para comprobar una bomba de hidráulico, aplicar numerosas veces los frenos con un solo motor funcionando. La bomba de hidráulico debe mantener la presión normal en unos 1000 psi.

1.8.4.2. Manual de mantenimiento

— Tren principal:

- Las 2 gomas (*bungees*) que hay en cada tren principal ayudan a pasar el sobrecentro a los brazos de arrastre y bloquear el tren cuando éste está extendido. Estas gomas deben mantenerse en buenas condiciones y reemplazarse cada 6 meses. Cuando se hizo la inspección a la aeronave, la compañía había sustituido y tirado estas gomas por precaución, según la compañía, y por lo tanto, no se pudo comprobar el estado en que se encontraban éstas en el accidente.

— Tren principal: chequeo operacional (después de la instalación del tren se deben realizar las siguientes comprobaciones):

- Poner la aeronave en gatos
- Desconectar la presión de entrada y salida de la bomba derecha y conectarlos a una bomba auxiliar capaz de producir 1000 psi.
- Con la bomba a 1000 psi, poner la palanca en GEAR UP. El tren debe subir y actuar el bloqueo.
- Inspeccionar el tren en la posición de arriba.
- La luz roja debe iluminarse. Si no se ha iluminado, comprobar los conmutadores para determinar cuál de ellos es el que no está cerrando el circuito.
- Desconectar la bomba auxiliar y drenar hidráulico hasta que la presión sea 0 psi:

a) El tren debe permanecer en la posición de arriba debido a la válvula de chequeo de tren arriba instalada en la línea de hidráulico que va hacia el cilindro de arriba y bloqueado.

b) En el caso de que el tren no permanezca arriba, la válvula de chequeo está mal o hay mal sellaje en el cilindro de bloqueo de tren arriba que permite que la presión de hidráulico se escape por el circuito de retorno.

- Con el tren arriba, colocar la palanca en la posición de DOWN. El bloqueo debe «liberarse» y el aire a presión del cilindro de emergencia debe hacer que el tren baje y bloquee.

- Las tres luces verdes deben iluminarse. Si alguna de las luces no se ilumina, ajustar los conmutadores.
- Conectar la bomba de hidráulico auxiliar y hacer trabajar el tren tres veces para cerciorarse de su correcto funcionamiento. Comprobar que el tren está abajo y bloqueado, colocar el MASTER switch en la posición de OFF, y la palanca de tren en OFF con la lengüeta de seguridad.
- Quitar los gatos de la aeronave.

— Sistema de indicación del tren: ajuste de los conmutadores

- Poner la aeronave en gatos.
- Asegurarse de que el tren principal está en la posición de abajo y bloqueado.
- Colocar el MASTER switch en la posición de BATTERY y comprobar que las luces verdes están encendidas.
- Ajustar los conmutadores de tren abajo (luz verde) de la siguiente forma (para conseguir que el conmutador se mueva en la dirección deseada se suelta una tuerca y se aprieta otra):
 - a) Mover hacia arriba el conmutador girando la tuerca inferior hasta que la luz verde se haya apagado.
 - b) Mover el conmutador hacia abajo girando la tuerca inferior hasta que la luz verde se ilumine.
 - c) Girar la tuerca superior una vuelta completa más y ajustar la tuerca inferior. Con esto se asegura la actuación del conmutador cuando el brazo de arrastre pase el sobrecentro .
 - d) Retraer el tren. La luz roja debe iluminarse.
 - e) Si la red roja no se ilumina, comprobar el funcionamiento de los tres conmutadores de tren arriba y bloqueado para determinar cual no está cerrando el circuito y ajustarlo de igual forma que lo explicado antes.

1.8.4.3. Última revisión de mantenimiento

Las inspecciones y chequeos antes de iniciar cualquier vuelo, establecidas en el Manual de Vuelo, fueron realizadas, según la tripulación, antes del accidente sin detectar ningún tipo de anomalía.

En el mes de agosto de 2002 la aeronave fue sometida a una inspección de 100 horas. Desde esta última inspección hasta la fecha del accidente la aeronave sólo había volado 24 horas. En esta revisión se comprobó, entre otras cosas:

- Condición del tren de aterrizaje (partes del tren, cilindros de retracción, conmutador, etc.) y lubricación de los elementos necesarios
- Condición del sistema hidráulico y neumático en su conjunto (líneas, depósito, juntas, bombas, etc.).
- Test de retracción del tren de aterrizaje.

Ninguna de las pruebas realizadas dio resultados fuera de tolerancias.

2. ANÁLISIS

Con objeto de facilitar el análisis, y de acuerdo con la información proporcionada por la tripulación en su declaración, se identifican los siguientes 5 problemas que se produjeron durante el vuelo para afrontar su estudio de forma individual:

Identificación de problemas		
Nº	Descripción	Indicación en cabina
1	El tren no da indicación de arriba y bloqueado en cabina después del despegue.	Luz roja: OFF Luz verde tren derecho: ON Luz verde tren izquierdo: OFF Luz verde tren morro: OFF
2	El tren principal empieza a descender.	Palanca de tren: UP P hidráulico: 700 psi.
3	La presión del sistema hidráulico disminuye durante el vuelo.	P1: 1000 psi P2: 700 psi P3: 350 psi
4	El tren derecho no bloquea en la posición de extendido durante la aproximación al aeródromo.	Luz verde tren derecho: OFF Luz verde tren izquierdo: ON Luz verde tren morro: ON
5	El tren derecho se retrae durante la carrera de aterrizaje a pesar de tener indicación en cabina de tren abajo y bloqueado.	Luz verde tren derecho: ON Luz verde tren izquierdo: ON Luz verde tren morro: ON

2.1. Problema 1: No hay indicación de tren arriba y bloqueado

Después del despegue apareció el primer problema del vuelo: tras llevar la palanca de control del tren a la posición de GEAR UP, en cabina no se tenía indicación luminosa de que el tren estuviera arriba y bloqueado (la luz verde del tren derecho permaneció encendida y la luz roja apagada). El piloto realizó tres intentos de subir y bajar el tren para intentar el bloqueo del mismo.

Este problema puede tener su origen en los dos aspectos siguientes:

- Problema 1.1: Por un lado, la fiabilidad de las señales luminosas en cabina.
- Problema 1.2: Por otro lado, el estado físico del tren independientemente de que la información proporcionada en cabina sea la correcta.

2.1.1. Problema 1.1: Indicaciones en cabina incorrectas

El sistema de indicación de tren en cabina de esta aeronave tiene dos circuitos independientes: el de indicaciones de tren abajo y bloqueado (tres luces verdes) y el de indicaciones de tren arriba y bloqueado (una luz roja), sin existir ningún condicionante de operación entre ellos.

Como se comprobó en la inspección, el conmutador del tren principal derecho de abajo y bloqueado funcionaba incorrectamente dando información, fuera cual fuere la posición del tren derecho, de que éste estaba abajo y bloqueado. Esto justifica que en cabina permaneciera la luz verde del tren derecho encendida después del despegue.

Sin embargo, el circuito formado por los tres conmutador de tren arriba y bloqueado funcionaba correctamente según se comprobó en la inspección, y la luz roja, si el tren hubiera estado bloqueado, se habría encendido en cabina, independientemente del estado de las luces verdes.

Por lo tanto, el tren no debió bloquear después del despegue.

2.1.2. Problema 1.2: No bloqueo del tren

De acuerdo con la conclusión anterior, el problema del bloqueo del tren queda centrado en determinar por qué la posición real del tren era la de no bloqueo.

El tren de morro es bloqueado arriba por la presión de hidráulico única y exclusivamente, y en caso de pérdidas de presión, éste desciende libremente. Este límite, según se comprobó en las inspecciones está en 300 psi. Con esta información se puede afirmar que, aunque el sistema registrara, después de los tres intentos, una pérdida de presión de 1000 a 700 psi, estos valores no serían suficientes como para que el tren de morro descendiera y, por lo tanto, debía ser el tren principal el que estaba en situación de no bloqueo.

El tren principal, una vez ha sido retraído por la presión del sistema hidráulico, es bloqueado por un mecanismo específico formado por una válvula, unos cilindros hidráulicos, unos muelles y un conmutador de tren arriba y bloqueado (figura 9). De estos cuatro elementos, los tres primeros se encargan de la acción física de bloqueo del tren y el último, el conmutador, es el responsable de la indicación en cabina del estado de bloqueo del tren. De acuerdo con esto, las posibilidades por las que el tren principal puede no bloquear son:

- Problema 1.2.1: Que el tren no suba lo suficiente.
- Problema 1.2.2: Que una vez el tren ha subido, el mecanismo de bloqueo no actúe adecuadamente.

2.1.2.1. Problema 1.2.1: Retración insuficiente del tren

Las posibles causas que pueden dar origen a este problema son:

- Mal funcionamiento de los cilindros de actuación.
- Mal funcionamiento de la válvula de tren.
- Presión de hidráulico insuficiente para que los cilindros suban el tren.

Se descarta que el origen pueda estar en un mal funcionamiento de los cilindros de actuación o de la válvula de tren ya que en las inspecciones realizadas a la aeronave no mostraron ninguna anomalía.

La única opción, por lo tanto, es que la presión del sistema hidráulico no fuera suficiente para levantar el tren y lo dejara en una posición intermedia. Descartando problemas de funcionamiento de los elementos del sistema, y conocida la rotura en la línea de bloqueo de tren arriba, se valora a continuación la posibilidad de que ésta provocara una disminución de la presión suficiente como para no permitir actuar a los cilindros de tren.

En la zona en la que se produjo la rotura, el sistema cuenta con líneas de hidráulico de «tren arriba» y «bloqueo de tren arriba» independientes y separadas. En el momento en que el piloto, después de despegar, seleccionó GEAR UP en cabina, las válvulas de tren y de chequeo de tren arriba debieron actuar inyectando fluido a presión por las líneas de «tren arriba» y «bloqueo de tren arriba» (figura 10). A partir de este momento, se debieron producir, en mayor medida, las pérdidas de fluido por la línea perforada y la disminución de la presión del sistema, aunque ésta con un cierto retardo (ver problema 3).

Se conoce por la tripulación que, después de los tres intentos de retraer el tren, la presión había descendido a 700 psi. Aunque la presión de trabajo normal del circuito es de 1.000 psi, los cilindros de tren deben tener un margen de actuación que permitirá la retracción del tren incluso con valores menores de la presión nominal de trabajo. Como este margen de actuación se desconoce, no se puede determinar con certeza si en estos rangos de presión (entre 1.000 y 700 psi), los cilindros fueron capaces de subir el tren, aunque es razonable pensar que en los primeros intentos, en que la presión debía ser cercana a la nominal, el sistema pudo retraer el tren por completo.

2..1.2.2. Problema 1.2.2: No actuación del mecanismo de bloqueo

El mecanismo de bloqueo de esta aeronave evita que, con la palanca de tren en la posición de GEAR UP, el tren se desbloquee y descienda hasta que se seleccione la posición de GEAR DOWN en cabina.

Esto se consigue mediante una válvula de chequeo de tren arriba que, en la posición de GEAR UP se cierra y «bloquea» el circuito que se encuentra entre ella y los cilindros de bloqueo de tren arriba (figura 9). Por eso, incluso si fuera del circuito se producen pérdidas de presión, el tren no se desbloquea hasta que la palanca de tren cambia a GEAR DOWN y la válvula se abre.

De acuerdo con esto, el fallo de este mecanismo se podría producir por:

- Mal funcionamiento de la válvula de chequeo de tren arriba.
- Mal funcionamiento del muelle asociado al cilindro de bloqueo.

- Fugas en los anillos que sellan el cilindro de bloqueo de tren arriba provocando pérdidas de hidráulico.
- Rotura en la línea de hidráulico.

Las tres primeras posibilidades se descartan porque en las pruebas a la aeronave, el mecanismo de bloqueo funcionaba correctamente y, en el caso del muelle, además, fue revisado en la inspección prevuelo.

La rotura que existía en la línea de hidráulico de bloqueo de tren arriba es la que, con toda probabilidad, debió causar el fallo en el mecanismo de bloqueo, impidiendo que llegara al cilindro de bloqueo suficiente líquido a presión como para que el mecanismo funcionara correctamente (incluso suponiendo que el tren llegara a alcanzar la posición de retracción total que, como se ha explicado anteriormente, no se puede confirmar).

2.2 Problema 2: Descenso del tren principal

Después de aparecer los problemas para bloquear el tren después del aterrizaje, y tras realizar tres intentos de subir y bloquear el tren, la tripulación vio como el tren principal visible desde la cabina, empezó a descender estando la palanca de tren en posición de «tren arriba».

El descenso del tren principal, sólo se puede producir cuando no está actuando el mecanismo de bloqueo. Esta situación se ha analizado en el problema 1.2 y las conclusiones son igualmente aplicables.

3.3 Problema 3: Disminución de la presión de hidráulico

Después del despegue y tras comprobar que el tren principal, además de no bloquear, había descendido incluso con la palanca de tren en la posición de GEAR UP, la tripulación detectó que las indicaciones de presión de hidráulico en cabina habían pasado de 1.000 psi a 700 psi. Decidieron regresar al aeródromo y comprobaron que la presión seguía disminuyendo.

La pérdida de presión paulatina en un sistema hidráulico puede estar originada por:

- Mal funcionamiento de la unidad de regulación de presión o de las bombas que sean incapaces de mantener la presión del sistema.
- Pérdida de fluido hidráulico en el sistema.

Las inspecciones realizadas a la aeronave mostraron que la tubería de hidráulico de la línea de bloqueo de tren arriba (figuras 2 y 11), que une la válvula de chequeo de tren arriba y los cilindros de bloqueo, presentaba una perforación visible a simple vista por la que el sistema perdió hidráulico durante el vuelo del accidente.

La pérdida de fluido en el circuito es perceptible, de forma inmediata, en el depósito ya que el retorno de fluido es menos cuantioso de lo que debería y, por lo tanto, el nivel de fluido va disminuyendo. Sin embargo, aunque el nivel en el depósito sea bajo, mientras llegue fluido a las bombas y éstas puedan realizar su trabajo, la presión seguirá siendo la nominal, es decir, 1.000 psi, hasta que el suministro de fluido sea tan escaso que las bombas no puedan operar y entonces la pérdida de hidráulico quedará reflejada en una disminución de la presión (tanto más rápida en función del tipo de rotura).

De acuerdo con esto, en el vuelo del suceso se debió perder hidráulico desde el inicio de la operación de la aeronave, aunque debió ser en la fase en la que el piloto retrajo el tren en tres ocasiones, cuando se debió producir la pérdida principal de fluido.

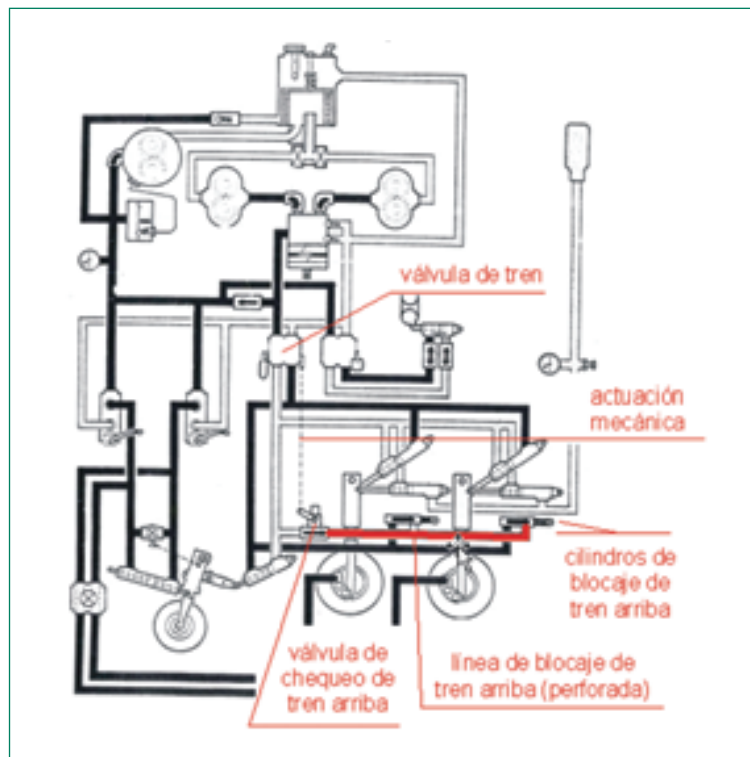


Figura 11. Línea de bloqueo perforada

La importante perforación que mostraba la tubería fue la causa de que, a pesar de no notar ninguna disminución de presión al principio, pocos minutos después del despegue se iniciara el descenso de la presión y éste se produjera de una forma muy rápida.

Como comentario adicional a la hipótesis de que la pérdida de hidráulico se debió producir totalmente antes de que el piloto notara el descenso de la presión, cabe indicar el papel del sistema hidráulico auxiliar. Cuando la presión descendiera a 500 psi, el sistema hidráulico auxiliar se debió poner en marcha. Este sistema, como se ha explicado en el apartado 1.8.1, no suministra fluido a la válvula de tren, es decir, deja «inactiva» esta parte del sistema (incluida la tubería perforada) ya que hay otros mecanismos que aseguran la extensión del tren. Por lo tanto, en este caso, el sistema auxiliar habría man-

tenido la presión en su rango de actuación y no se hubieran seguido produciendo pérdidas. La única explicación a que la presión siguiera disminuyendo es que la pérdida de fluido se había producido con anterioridad.

2.4 Problema 4: No bloqueo del tren en la posición de extendido

Durante la aproximación al aeródromo y con la palanca de tren seleccionada en la posición de GEAR DOWN, la indicación en cabina correspondiente al tren derecho volvió a dar problemas indicando que el tren no se encontraba en la posición de abajo y bloqueado. Como visualmente comprobaron que el tren se desplazaba, realizaron una serie de maniobras para conseguir bloquear el tren y, finalmente consiguieron que la indicación en cabina fuera de tren derecho abajo y bloqueado, según la tripulación.

La extensión y bloqueo del tren, al igual que en el problema 1, se analiza desde dos aspectos:

- Problema 4.1: La indicación en cabina.
- Problema 4.2: La posición del tren independientemente de la información en cabina.

2.4.1. Problema 4.1: Indicaciones en cabina

La información del estado del tren de aterrizaje en la posición de extensión del mismo, se realiza por medio de un conmutador de abajo y bloqueado que enciende su correspondiente indicador verde en cabina cuando el vástago es presionado por el brazo de arrastre inferior del tren. Esta situación sólo se da cuando el tren está extendido y los brazos de arrastre están alineados. En cualquier otra situación, el vástago no presiona los contactos y la luz verde permanece apagada (figuras 3 y 10).

En el caso de esta aeronave se comprobó que, en el conmutador de abajo y bloqueado del tren derecho, por motivos de falta de engrase y suciedad acumulada, el vástago no tenía movimiento y daba siempre indicación de tren abajo y bloqueado (como ocurrió en el problema 1).

En este caso y según la declaración de la tripulación, por algún motivo que se desconoce, durante el vuelo el vástago debió dejar de hacer contacto y la luz verde del tren derecho se apagó, presentando de nuevo problemas para indicar una nueva situación.

Finalmente, consiguieron indicación en cabina de tren derecho abajo y bloqueado y aterrizaron, aunque parece poco fiable la información proporcionada por el conmutador en esas condiciones y, por lo tanto, es poco probable que el tren estuviera bloqueado realmente.

2.4.2. Problema 4.2: Bloqueo del tren

Aquí, el problema se divide ya que la extensión y el bloqueo del tren se realizan mediante mecanismos distintos y, por lo tanto, puede producirse:

- Problema 4.2.1: Que el tren no se extienda lo suficiente.
- Problema 4.2.2: Que aunque se haya extendido, no se bloquee.

2.4.2.1. Problema 4.2.1: Extensión insuficiente del tren

La extensión del tren principal en esta aeronave se realiza en condiciones normales mediante la actuación de dos cilindros que son movidos por el sistema hidráulico y por el sistema neumático. En el caso de un fallo total del sistema hidráulico, el cilindro de «emergencia» que tiene cada pata de tren principal, es capaz sólo con presión de neumático de extender el tren (figura 9).

Las lecturas realizadas después del accidente mostraban que la presión de aire estaba dentro de tolerancias y las pruebas de extensión del tren sin presión de hidráulico indicaron que los cilindros funcionaban correctamente.

Por lo tanto, incluso en las condiciones más desfavorables en que la presión de hidráulico hubiera sido 0 psi, el sistema neumático debió ser capaz de extender el tren principal y, la única opción es que los elementos físicos del tren ofrecieran demasiada resistencia a la extensión y ésta no se produjera por completo.

2.4.2.2. Problema 4.2.2: No bloqueo del tren

Una vez que el tren ha sido extendido, bien por hidráulico y neumático o bien sólo mediante neumático, el bloqueo en esta posición se realiza por configuración geométrica de los elementos físicos que componen el tren. Los brazos de arrastre inferior y superior sobrepasan una determinada posición que impide, junto con la ayuda de las gomas, la retracción del tren, es decir, actúa el sobrecentro.

Por lo tanto, suponiendo que el tren pudo extenderse completamente, parece probable que la causa del no bloqueo del tren principal derecho se encuentre en:

- Rotura o defectos en los brazos de arrastre.
- Mal estado de las gomas.
- Excesivo rozamiento.

En las pruebas que se realizaron con posterioridad, los brazos de arrastre estaban en perfectas condiciones y no mostraron ningún funcionamiento inadecuado.

Las gomas habían sido cambiadas y desechadas después del accidente, según la compañía como medida preventiva, por lo que no se pudo comprobar el estado de las mismas.

Por último, la falta de engrase que pudiera haber provocado el excesivo rozamiento entre los elementos del tren, pudo haberse dado en este caso. El hecho de que el conmutador de tren abajo y bloqueado, que se encuentra en la unión de los dos brazos de arrastre, presentara problemas de funcionamiento por acumulación de suciedad y falta de engrase, puede apoyar esta opción.

Problema	Análisis	Conclusiones
(1) No hay indicación de tren arriba bloqueado	(1.1) Por indicación incorrecta en cabina (1.2) Por no bloqueo del tren arriba (1.2.1) Porque ten no suba lo suficiente (1.2.2) Porque no actúe mecanismo de bloqueo Cilindros no OK Válvula no OK Presión insuficiente Válvula chequeo no OK Muelle no OK Fugas cilindro bloqueo Rotura línea hidráulico	El tren principal no blocó en la posición tren arriba. No se puede confirmar si el sistema fue capaz de retraer el tren. Aunque el tren llegara a subir, el mecanismo de bloqueo no pudo actuar.
(2) Descenso del tren principal	Idem 1.2	Idem 1.2
(3) Disminución de la presión hidráulico	Por mal funcionamiento de la unidad de regulación de presión Por mal funcionamiento de las bombas Pérdida del fluido hidráulico	La rotura en la línea de bloqueo fue la causante de la disminución de presión. Cuando la presión empezó a descender, la cantidad de fluido debía ser prácticamente «nula». Durante los 3 intentos de subir y bajar el tren se debió perder el hidráulico.
(4) No bloqueo del tren en la posición	(4.1) Por indicación en cabina incorrecta (4.2) Por no bloqueo de tren (4.2.1) Por no extensión total del tren (4.2.2) Por no actuación del bloqueo Fallo neumático El sistema neumático Brazos arrastre no OK Gomas no OK Excesivo rozamiento	Indicación en cabina de tren derecho abajo y bloqueo no OK por suciedad en el conmutador. No se puede confirmar el estado de bloqueo del tren derecho. Excesivo rozamiento tenía presión para extender el tren. No se puede descartar que el bloqueo haya sido por las gomas. Por coincidencia de problemas no se puede descartar que el no bloqueo haya sido por falta de engrase del tren.
(5) Retracción del tren derecho	Idem 4.2.2	Idem 4.2.2

2.5. Problema 5: Retracción del tren derecho durante la carrera de aterrizaje

El último problema que ocasionó los daños a la aeronave fue la retracción del tren derecho durante la carrera de aterrizaje a pesar de tener indicación en cabina de tren abajo y bloqueado.

Como se ha comentado en el estudio del problema 4.1, las indicaciones del conmutador del tren derecho de abajo y bloqueado no parecen muy fiables y aunque en cabina la tripulación viera la luz verde encendida, no era garantía de que el tren estuviera bloqueado.

A partir de ahí, y con las mismas consideraciones que las realizadas en el apartado 4.2.2, es probable que el tren nunca llegara a bloquearse bien por defecto en las gomas o bien por exceso de rozamiento entre las partes que impidiera la correcta actuación del sobrecentro.

3. CONCLUSIONES

3.1. En relación al conmutador

- La aeronave tenía problemas de indicación del estado de extensión y bloqueo del tren principal derecho debido a la falta de libertad de movimiento del vástago del conmutador.
- El vástago, tras ser limpiado y engrasado, volvió a funcionar correctamente.
- El conmutador está colocado entre el brazo de arrastre superior e inferior del tren de aterrizaje, elemento que, por su propia naturaleza, es sometido a engrase de forma continua como parte de su mantenimiento preventivo.
- La última revisión que incluía una comprobación del estado del conmutador se realizó 6 meses antes (inspección de 100 horas) y desde entonces la aeronave sólo había volado 24 horas, por lo que es posible que durante este tiempo se produjera la acumulación de «suciedad» en el vástago que impidió su correcto funcionamiento.
- El mal funcionamiento de este conmutador explica las indicaciones que tenía la tripulación en cabina después del despegue y antes del aterrizaje que no garantizaron la correspondencia con el estado real del tren.

3.2. En relación a la tubería de hidráulico

- El sistema hidráulico de la aeronave presentaba una perforación en la tubería que une la válvula de chequeo de tren arriba y los dos cilindros de bloqueo.
- Esta tubería fue la causante de que el sistema perdiera hidráulico así como de la disminución de la presión.

- La fuga se debió producir, sobre todo, en la primera parte del vuelo en la que la tripulación extendió y retrajo el tren en tres ocasiones, vaciando prácticamente por completo el sistema. La gran perforación que presentaba la tubería hizo que este proceso fuera muy rápido y que poco después de iniciarse la fuga, esta se notara en la disminución de presión.
- Todo el sistema hidráulico fue comprobado en la última revisión de 100 horas realizada 6 meses antes del accidente.
- La falta de líquido y de presión debió ser la causa, con toda probabilidad, de la falta de bloqueo del tren después del despegue.

3.3. En relación a la retracción del tren principal derecho

- La falta de bloqueo del tren principal derecho, que provocó su retracción durante la carrera de aterrizaje, no tiene su origen en el fallo del sistema hidráulico.
- De acuerdo con las inspecciones y las condiciones prevuelo declaradas por la tripulación, el sistema neumático debió funcionar perfectamente y asegurar, por lo tanto, la extensión del tren principal.
- Los problemas de bloqueo pudieron venir o bien de un mal funcionamiento de las gomas que ayudan a la actuación del sobrecentro o bien debido a un excesivo rozamiento entre los elementos físicos del tren por falta de engrase. Aunque no se ha podido verificar ninguna de las dos opciones, la coincidencia en el origen de problemas sufridos por el conmutador de esa misma pata con esta segunda opción, parece dar más posibilidades al excesivo rozamiento que impidió bloquear el tren.
- La escasa operación de la aeronave durante los últimos 6 meses pudo haber provocado que el tren no estuviera en óptimas condiciones de operación.