

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO EN AERONÁUTICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN: CURRICULAR
DEBERÁ PRESENTAR: LOS CC. PASANTES:
CHAVOLLA ALCALÁ FRANCISCO EDUARDO
NAVA SILVA TONATIUH
RODRÍGUEZ CHÁVEZ JESÚS

**“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y PROPUESTA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA
HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO ECUREUIL AS350”**

	ÍNDICE
	ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS
	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO I	PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL
CAPÍTULO III	METODOLOGÍA
CAPÍTULO IV	DESARROLLO
CAPÍTULO V	ANÁLISIS DE RESULTADOS
	CONCLUSIONES
	RECOMENDACIONES
	BIBLIOGRAFÍA

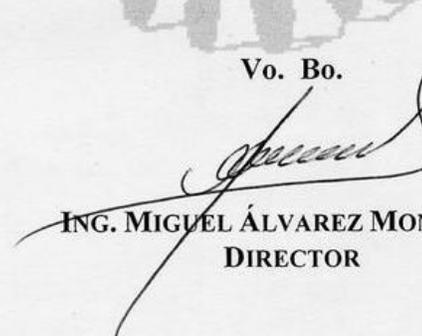
México, DF., a 24 de agosto de 2009.

A S E S O R E S


ING. RUBÉN OBREGÓN SUÁREZ


ING. EDUARDO BRAVO GARCÍA

Vo. Bo.


ING. MIGUEL ÁLVAREZ MONTALVO
DIRECTOR



L. P. N.
ESCUELA SUPERIOR DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL TICOMÁN

Ingeniería Aeronáutica

Tesina para obtener el título de Ingeniero en Aeronáutica

Tema de titulación:

**“Análisis de factibilidad técnica y propuesta de
operación del sistema hidráulico del helicóptero
Ecureuil AS350 “**

Presentan:

Chavolla Alcalá Francisco Eduardo

Nava Silva Tonatiuh

Rodríguez Chávez Jesús

Asesores:

Ing. Rubén Obregón Suárez

Ing. Eduardo Bravo García

Agosto 2009

Tabla de contenido

Índice	2
Índice de Figuras, Tablas y Gráficas	4
Introducción	9
Capítulo I: Planteamiento de la investigación	11
1.1 Planteamiento de la investigación	12
1.2 Objetivo General	13
1.3 Objetivos Específicos	13
1.4 Justificación	13
1.5 Alcance	14
Capítulo II: Marco teórico y referencial.....	15
2.1 La Mecánica de fluidos como base para la Hidráulica	16
2.1.1 Propiedades de los fluidos.....	16
2.1.2 Principios Físicos.....	19
2.1.3 Unidades de presión.....	22
2.2 Componentes del sistema hidráulico, su descripción y clasificación	23
2.2.1 Bombas hidráulicas	23
2.2.2 Depósito Hidráulico	24
2.2.3 Filtros	25
2.2.4 Tuberías	27
2.2.5 Acumuladores de seguridad	28
2.2.6 Válvulas.....	29
2.2.7 Actuadores hidráulicos y Servoactuadores.....	31
2.2.8 Líquido hidráulico	36
Capítulo III: Metodología.....	38
3.1 Fase de consulta de información técnica	39
3.2 Fase de descripción de los componentes	39
3.3 Fase de inspección y resultados	40
3.4 El análisis técnico de factibilidad	41

Capítulo IV: Desarrollo.....	42
4.1 Funcionamiento Básico del Sistema Hidráulico.....	43
4.1.1 Principios del Sistema	43
4.1.2 Pérdida de Presión del Sistema Hidráulico.....	47
4.2 Procedimiento de inspección	52
4.2.1 Instrucciones Preliminares.....	52
4.2.2 Instrucciones para limpieza de mallas y filtros	55
4.2.3 Bomba Hidráulica: Remoción e Instalación.....	57
4.2.4 Verificación del impulsador.....	62
Capítulo V: Análisis de Resultados	65
5.1 Resultados de la Inspección	66
5.1.1 Corte de líneas de succión y distribución.....	66
5.1.2 Remoción de la bomba.....	66
5.1.3 Consumibles utilizados en el mantenimiento	67
5.1.4 Mantenimiento de la bomba	68
5.1.5 Instalación de la bomba.....	69
5.1.6 Optimización de niveles de líquido hidráulico del Sistema, Limpieza de la Transmisión Depósito y Tuberías	71
5.2 Propuesta de operación: “Sistema externo para uso didáctico”	73
5.3 Costos de los consumibles y del sistema propuesto.....	83
5.4 Planos e instrucciones de instalación	85
Conclusiones	90
Recomendaciones	92
Bibliografía.....	94
Anexo I: Aeroshell fluid 41. Especificaciones técnicas y su certificado de material	97
Anexo II: Especificaciones DRI LUBE PLUS.....	102
Anexo III: Proveedores	104
Anexo IV: Factores de conversión	106

Índice de Figuras, Tablas y Gráficas

Índice de figuras

- Fig. 1 Helicóptero Ecureuil AS350 en las instalaciones de la ESIME U.P. Ticomán (pag.12)
- Fig. 2 Prensa hidráulica, aplicación del principio de Pascal (pag.19)
- Fig. 3 Ilustración de la Ley de continuidad (pag.19)
- Fig. 4 Ilustración del Teorema de Bernoulli (pag.20)
- Fig. 5 Símbolo ISO para una bomba de caudal constante (pag.23)
- Fig. 6 Bomba de engranes externos (pag.24)
- Fig. 7 Símbolo ISO para un depósito hidráulico no presurizado (pag.25)
- Fig. 8 Depósito hidráulico del Ecureuil AS350B (pag.25)
- Fig. 9 Símbolo ISO para filtro general (pag.26)
- Fig. 10 Esquema de un filtro/regulador monobloque modular (pag.26)
- Fig. 11 Localización de un filtro en el bloque distribuidor (pag.26)
- Fig. 12 Símbolo ISO para una tubería flexible (pag.27)
- Fig. 13 Tuberías Flexibles marca Parker (pag.27)
- Fig. 14 Símbolo ISO para un acumulador de tipo vejiga (pag.28)
- Fig. 15 Esquema y características de un acumulador modelo OLAER EHV 12-330/90 de tipo membrana (pag.28)
- Fig. 16 Símbolo ISO para una válvula reguladora de caudal (pag.29)
- Fig. 17 Ubicación de la válvula reguladora (check valve) en el bloque de distribución (pag.29)
- Fig. 18 Símbolo ISO para una válvula selectora 4/2 normalmente cerrada (pag.30)
- Fig. 19 Símbolo ISO de la electroválvula (pag.30)
- Fig. 20 Símbolo ISO para un actuador hidráulico de doble vástago (pag.31)
- Fig. 21 Ubicación del servo actuador marca Dunlop (pag.32)
- Fig. 22 Componentes del servo actuador (pag.33)
- Fig. 23a Servo actuador sin movimiento (pag.34)

Fig. 23b Servo actuador extendido (pag.34)

Fig. 23c Servo actuador retraído (pag.35)

Fig. 23d Pérdida de presión en el servo actuador (pag.35)

Fig.24 Líquidos hidráulicos usados en aviación (pag.37)

Fig. 25 Principio del sistema hidráulico del Ecureuil AS350B (pag.43)

Fig. 26 Diagrama de los componentes del sistema hidráulico del Ecureuil AS350B (pag.45)

Fig. 27 Diagrama de activación de la alarma auditiva en caso de falla (pag.47)

Fig. 28 Operación del sistema auxiliar (pag.47)

Fig. 29 Esquema del distribuidor en caso de amarre (pag.48)

Fig. 30 Prueba del sistema hidráulico por componentes (pag.49)

Fig. 31 Apertura de las válvulas solenoides (pag.50)

Fig. 32 Ubicación de los servo actuadores en el rotor principal (pag.51)

Fig. 33 Ilustración que muestra el uso de grúa en los procedimientos (pag.52)

Fig.34 Apertura y remoción de cubierta derecha A (pag.53)

Fig. 35 Marcas de nivel de fluido en el depósito hidráulico (pag.54)

Fig. 36 Herramientas utilizadas para la remoción de la bomba hidráulica (pag.55)

Fig. 37 Aplicación de aire comprimido al filtro del depósito hidráulico (pag.56)

Fig. 38a y 38d Partes esenciales de la bomba (pag.60)

Fig. 39 Zonas de lubricación de la bomba (pag.61)

Fig.40 Remoción de la bomba hidráulica (pag.62)

Fig.41 Localización de los componentes de la bomba (pag.64)

Fig.42 Verificación del impulsor de la bomba (pag.64)

Fig. 43 Obturación de las líneas de conexión (pag.66)

Fig. 44 Bomba hidráulica desconectada (pag.66)

Fig. 45 Fluido hidráulico Aeroshell 41 (pag.67)

- Fig. 46 Lubricante marca Dri Lube Plus (pag.67)
- Fig. 47 Envase de acetona pura (pag.67)
- Fig. 48 Enmascaramiento de los puertos de conexión de la bomba (pag.68)
- Fig. 49 Limpieza de los sujetadores de la bomba (pag.68)
- Fig. 50 Aplicación de aire comprimido a la bomba (pag.68)
- Fig. 51 Aplicación de DRI LUBE PLUS a la bomba (pag.69)
- Fig. 52 Remoción del enmascarado (pag.69)
- Fig. 53 Limpieza de la placa de soporte (pag.69)
- Fig. 54 Herramienta utilizada para la remoción e instalación (pag.70)
- Fig. 55 Instalación de la bomba (pag.70)
- Fig. 56 Finalización de la instalación de la bomba (pag.70)
- Fig. 57 Limpieza del filtro de respiración (pag.71)
- Fig. 58 Llenado del depósito hidráulico (pag.71)
- Fig. 59 Estado final de la bomba y de los servo actuadores (pag.72)
- Fig. 60 Dimensiones de la bomba marca Hydroperfect International modelo 1005 (pag.78)
- Fig. 61 Motor Monofásicos tipo Jaula de Ardilla, aislamiento clase B 4 polos (pag.81)
- Fig. 62 Acoplamiento de acero inoxidable marca Baumer (pag.82)
- Fig. 63 Diagrama de posición de los barrenos (pag.85)
- Fig. 64 Esquema de los barrenos en el perfil de aluminio (pag.86)
- Fig. 65 Ubicación del sistema propuesto en el helicóptero (pag.88)
- Fig. 66 Componentes del sistema de uso didáctico (pag.89)

Índice de tablas

Tabla 1. Densidad de los fluidos (pag.16)

Tabla 2. Tabla de equivalencias de unidades de presión (pag.23)

- Tabla 3. Características de la bomba de engranes usada en el sistema hidráulico del helicóptero AS350B (pag.24)
- Tabla 4. Características funcionales del acumulador (pag.29)
- Tabla 5. Características funcionales del Servo actuador Dunlop (pag.32)
- Tabla 6. Listado de partes del servo actuador (pag.33)
- Tabla 7. Tabla comparativa de líquidos hidráulicos (pag.37)
- Tabla 8. Características de las opciones de reemplazo de la bomba (pag.73)
- Tabla 9. Datos de la bomba HPI modelo 1005 (pag.74)
- Tabla 10. Dimensiones de la bomba de acuerdo a su capacidad (pag.78)
- Tabla 11. Elección de la posición de los puertos de conexión (pag.79)
- Tabla 12. Elección del eje de arrastre de acuerdo al par torsional proporcionado (pag.79)
- Tabla 13. Motores Monofásicos tipo Jaula de Ardilla, aislamiento clase B 4 polos (pag.80)
- Tabla 14. Cableado y Protecciones para el motor tipo Jaula de Ardilla (Voltaje de Operación 115/127v) (pag.82)
- Tabla 15. Dimensiones del acoplamiento (pag.82)
- Tabla 16. Descripción de los componentes de la figura 65 (pag.83)

Índice de gráficas

- Gráfica 1. Potencia de entrada con baja presión (pag.77)
- Gráfica 2. Eficiencia Total (pag.77)
- Gráfica 3. Eficiencia Volumétrica (pag.77)
- Gráfica 4. Eficiencia Mecánica (pag.77)
- Gráfica 5. Potencia (pag.77)
- Gráfica 6. Flujo (pag.77)

Introducción

El sistema hidráulico en un helicóptero **Ecureuil AS350B** es único. Por lo que es necesario e importante que este se encuentre en condiciones operables para que ninguna falla se presente durante su funcionamiento. Por lo anterior posee un sistema auxiliar de acumuladores de presión, que, en caso de avería, proporciona la presión adecuada al sistema por un tiempo limitado sólo para los movimientos necesarios con el fin de poder realizar un aterrizaje de emergencia.

Dentro de este trabajo se propone, con fundamento en un análisis técnico de factibilidad, una propuesta para poner en operación el sistema antes mencionado.

En base en la información técnica del helicóptero, se conocerá el estado del sistema, y para efectos de mantenimiento se considera que sólo se llevarán a cabo las tareas que se encuentren dentro del alcance.

La descripción de los componentes, introduce al funcionamiento y operación del sistema hidráulico, ya que posteriormente se hace un recuento de cómo éste actúa en sus diversas fases de operación, tanto normalmente, cómo con pérdida de presión o simplemente probando el sistema.

Capítulo I:

Planteamiento de la Investigación

1.1 Planteamiento de la investigación

El 16 de agosto del 2007 la Secretaria de Seguridad Pública donó a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Ticomán un **Helicóptero modelo Ecureuil AS350B** (Fig. 1), perteneciente al grupo Cóndores, con el objetivo de que fuera parte del patrimonio de la escuela con fines didácticos. Este equipo cuando fue donado, y según su información técnica, ya había cumplido con los límites de servicio.

Fig. 1 Ecureil AS250B en las instalaciones de la ESIME U.P. Ticomán



Después de realizar un análisis del estado físico del equipo, se establecieron las siguientes observaciones:

- ▶ La necesidad de que a la planta motriz se le lleve a un “Overhaul” o reparación mayor para poder realizar una corrida de motor.
- ▶ Habilitar el funcionamiento del sistema hidráulico, el cual permitirá visualizar el paso de las palas, el movimiento de las mismas y sus componentes principales cuyo accionamiento es mediante éste vital sistema.
- ▶ Habilitar el sistema eléctrico, que apoya en gran medida al funcionamiento del sistema hidráulico.

Cabe mencionar que el sistema eléctrico/electrónico de este equipo está siendo habilitado, en su mayoría, por el Ing. Rubén Obregón Suárez. Hasta ahora no se ha completado la habilitación; sin embargo las pruebas realizadas al sistema han sido satisfactorias.

Como se mencionó anteriormente, mucho del patrimonio que se encuentra en el plantel que ha sido donado no es aprovechado para realizar prácticas o trabajos sobre ellos mismos. En este caso se pretende poner en operación el sistema hidráulico del helicóptero en conjunción con los otros sistemas que se busca de igual manera habilitar; a pesar de que una de las principales limitantes del proyecto/investigación sea el capital y material especializado necesarios para llevar a cabo el objetivo general. De acuerdo a la investigación que se llevará a cabo se evaluarán los recursos y la capacidad técnica para realizar tan ambicioso proyecto.

1.2 Objetivo General

Evaluar el estado del sistema hidráulico de la aeronave de ala rotativa modelo **Ecureuil AS350 B** obteniendo los resultados que determinarán si es factible continuar con la habilitación del sistema.

1.3 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- ▶ Evaluar la situación del sistema hidráulico, de acuerdo a las características y estado de cada componente que está incluido en la información técnica.
- ▶ Realizar un proceso de inspección para el análisis del sistema hidráulico.
- ▶ Explicar el funcionamiento del sistema hidráulico de la aeronave de ala rotativa modelo **Ecureuil AS350 B**.
- ▶ Aplicar de acuerdo a los resultados obtenidos, de ser posible, las reparaciones necesarias para poner en operación el sistema hidráulico.
- ▶ Determinar si los recursos con los que se disponen son suficientes para la habilitación del sistema hidráulico.
- ▶ Proponer un sistema auxiliar que sirva para la operación del sistema.

1.4 Justificación

Existe una ineficiente utilización de los recursos donados al plantel, los cuales al transcurrir el tiempo permanecen sin ser aprovechados didácticamente. Por tal motivo el interés es evitar que esto siga ocurriendo, para ello la puesta en operación del sistema hidráulico, ya que otros de los sistemas del equipo también se pretenden habilitar o por lo menos realizar un análisis detallado de factibilidad de su habilitación. Para que el sistema se encuentre en funcionamiento y pueda servir en un futuro para la explicación de los sistemas de control del helicóptero.

1.5 Alcance

Hasta dónde se pretende llegar con este trabajo es lograr la habilitación total del sistema hidráulico del helicóptero, considerando la previa evaluación del sistema la cual consistiría en: ordenar las partes del sistema, ponderar sus costos y realizar las modificaciones necesarias para finalmente decidir si es posible la completa habilitación del sistema.

Capítulo II:

Marco teórico y referencial

2.1 La Mecánica de fluidos como base para la Hidráulica

¿Qué es un fluido?

Los fluidos son aquellos líquidos o gases que se mueven por la acción de un esfuerzo cortante, no importa cuán pequeño pueda ser ese esfuerzo¹.

Mecánica de Fluidos

Se ocupa del estudio de los fluidos en movimiento o en reposo y los efectos consiguientes sobre los contornos, que pueden ser en superficies sólidas o con otros fluidos².

2.1.1 Propiedades de los fluidos

► Densidad

La densidad de un fluido es la cantidad de masa que está contenida en una unidad de volumen, es decir:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Tenemos que la densidad para el aire y el agua a condiciones estándar son:

Tabla 1. Densidad de los fluidos

	Densidad ρ		Peso Especifico γ		Gravedad específica S
	UTM	Slug/ft ³	N/m ³	Lb/ft ³	
Aire	1.23	0.0024	12.1	0.0077	0.0023
Agua	1000	1.94	9810	62.4	1

► Viscosidad

La viscosidad es una medida cuantitativa de la resistencia del fluido a moverse. Responde a las pérdidas de energía asociadas con el transporte de fluidos en ductos, canales o tuberías.

¹ Mecánica de Fluidos, Merle C. Potter; David C. Wiggert; Capítulo I Consideraciones Básicas Pags. 9, 17

² Mecánica de Fluidos, Frank M. White, Capítulo I Introducción Pag. 1

La viscosidad de un fluido puede medirse a través de un parámetro dependiente de la temperatura llamada coeficiente de viscosidad o simplemente viscosidad.

Coeficiente de viscosidad dinámico, designado como η o μ .

Sus unidades en el SI son: $[\mu] = [\text{Pa}\cdot\text{s}] = [\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}]$

El coeficiente de viscosidad cinemático, designado como ν , es igual al cociente del coeficiente de viscosidad dinámica entre la densidad $\nu = \mu/\rho$.

Sus unidades en el SI son: $[\nu] = [\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}]$.

► **Compresibilidad**

Es la relación de cambio de presión a cambio relativo de densidad, es decir, es la propiedad que presentan los cuerpos materiales de disminuir su volumen cuando se aumenta la presión ejercida sobre ellos.

Una de las diferencias fundamentales entre los líquidos y los gases es su comportamiento frente a los cambios exteriores de presión; así los líquidos son prácticamente incompresibles mientras los gases pueden reducir considerablemente su volumen.

► **Tensión superficial**

La tensión superficial es una propiedad originada por las fuerzas de atracción entre las moléculas. Como tal, se manifiesta sólo en líquidos en una interfaz, casi siempre como una mezcla líquido-gas, o mejor conocida como *entrefase*.

La tensión superficial tiene unidades de fuerza por unidades de longitud (N/m o Lb/ft).

Las moléculas inmersas en la masa líquida se repelen naturalmente debido a su proximidad, pero las moléculas de la superficie libre están menos apretadas y se atraen unas a otras. Al faltarles la mitad de sus vecinas, esas moléculas están en desequilibrio, y por ello la superficie está sometida a tensión.

► **Cavitación**

Fenómeno que se produce en un fluido cuando se forma una bolsa de vapor (de ese fluido) que vuelve a condensarse. Este fenómeno erosiona las partes metálicas que tiene a su alrededor, al someterlas a enormes gradientes de presión.

Presión y sus definiciones³

El término de presión se aplica continuamente en nuestra vida profesional. En aeronáutica hablamos de presión atmosférica, presión absoluta y presión dinámica; términos que conviene precisar en este momento, aplicados, claro está a los principios hidráulicos.

▶ Presión Atmosférica

Las capas superiores de aire de la atmósfera terrestre comprimen a las capas inferiores, puesto que toda la envoltura de aire que rodea a la tierra está sometida a la acción de la gravedad terrestre. Por tanto, al nivel del mar, la presión es mayor; esto es consecuencia de que existe una mayor masa de aire por encima de este nivel; digamos un mayor peso de aire.

La presión atmosférica a nivel de mar es igual a 1013.25 mBar, equivalentes a 29.92 inHg, a una atmósfera, o 760 mmHg.

▶ Presión manométrica

Son normalmente las presiones superiores a la atmosférica, que se miden por medio de un elemento que define la diferencia entre la presión desconocida y la presión atmosférica que existe. Si el valor absoluto de la presión es constante y la presión atmosférica aumenta, la presión manométrica disminuye; esta diferencia generalmente es pequeña mientras que en las mediciones de presiones superiores, dicha diferencia es insignificante. Es evidente que el valor absoluto de la presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

▶ Presión absoluta

Es la suma de la presión relativa más la presión atmosférica, es decir:

$$\text{Presión Absoluta} = \text{Presión relativa} + \text{Presión Atmosférica}$$

▶ Presión estática

La presión es el esfuerzo (de compresión) en un punto del fluido en reposo. Después de la velocidad, la presión es la variable más significativa en la dinámica de los fluidos.

▶ Presión dinámica

Es la presión debida a la velocidad del fluido. El valor de la presión dinámica depende de la velocidad que tiene el líquido o gas, elevada al cuadrado.

Se desprende de esta definición que un fluido, aire o líquido moviéndose a gran velocidad, tiene una alta presión dinámica.

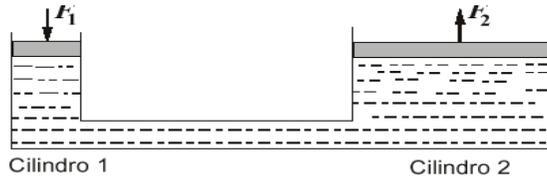
³ Energía Hidráulica, Antonio Esteban Oñate, Ed. Paraninfo Pag. 20, 21.

2.1.2 Principios Físicos

► Principio de Pascal

La presión aplicada a un fluido confinado se transmite íntegramente en todas las direcciones y ejerce fuerzas iguales sobre áreas iguales, actuando estas fuerzas normalmente hacia las paredes del recipiente que lo contiene (Fig. 2).

Fig. 2 Prensa hidráulica, aplicación del principio de pascal



$$\begin{array}{l}
 p_1 = \frac{F_1}{A_1} \\
 p_2 = \frac{F_2}{A_2} \\
 p_1 = p_2
 \end{array}
 \quad \left| \quad \boxed{\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}}$$

En cuanto a los desplazamientos de los émbolos, el volumen de líquido que sale del cilindro 1 es igual al que entra en el cilindro 2.

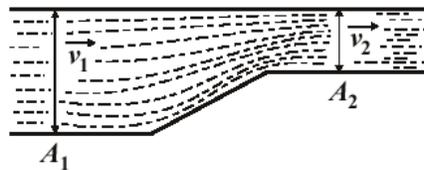
$$\begin{array}{l}
 V_1 = A_1 \cdot l_1 \\
 V_2 = A_2 \cdot l_2 \\
 V_1 = V_2
 \end{array}
 \quad \left| \quad \boxed{A_1 \cdot l_1 = A_2 \cdot l_2}$$

l_1 desplazamiento del émbolo 1

l_2 desplazamiento del émbolo 2

Ley de Continuidad

Fig. 3 Ilustración de la ley de continuidad



Considerando a los líquidos como incompresibles y con densidades constantes, por cada sección de un tubo (Fig. 3) pasará el mismo caudal por unidad de tiempo.

$$Q_1 = \frac{V_1}{t} = \frac{A_1 \cdot l_1}{t} = A_1 \cdot v_1$$

$$Q_2 = \frac{V_2}{t} = \frac{A_2 \cdot l_2}{t} = A_2 \cdot v_2$$

$$Q_1 = Q_2$$

$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

Ley de continuidad

Cuando las secciones de las conducciones son circulares.

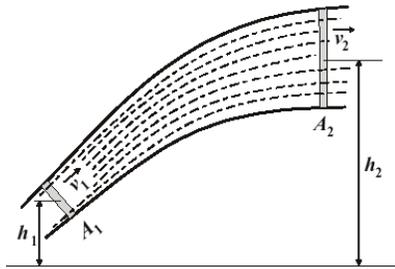
$D_1^2 \cdot v_1 = D_2^2 \cdot v_2$

Donde la velocidad varía de forma inversamente proporcional al cuadrado del diámetro.

Teorema de Bernoulli

Si consideramos dos secciones en un mismo conductor, (figura 4) podemos establecer el siguiente balance energético.

Fig. 4 Ilustración del Teorema de Bernoulli



$$p_0 = p + \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho g Z$$

Donde:

p_0 = presión total

p = presión en el fluido

V = velocidad

ρ = densidad

Z = altura

g = aceleración de la gravedad

Energía estática potencial

Depende de la masa y la posición relativa de esa masa respecto al eje vertical (z)

$m \cdot g \cdot h_1 \rightarrow m \cdot g \cdot h_2$

Energía hidrostática debida a la presión

Determina el trabajo desarrollado en cada momento.

$p_1 \cdot A_1 \cdot l_1 = F_1 \cdot l_1 = W_1$

$p_2 \cdot A_2 \cdot l_2 = F_2 \cdot l_2 = W_2$

Energía hidrodinámica

Es debida a la energía cinética del fluido, que depende de su velocidad.

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2$$

Si consideramos dos secciones diferentes, tal y como se indican en la figura anterior, y sumamos todas las energías que entran en juego se tiene la siguiente expresión:

$$m \cdot g \cdot h_1 + p_1 \cdot A_1 \cdot l_1 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 = m \cdot g \cdot h_2 + p_2 \cdot A_2 \cdot l_2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2$$

Como $A \cdot l$ es el volumen desplazado del fluido, y como $V_1 = V_2 = V$ y

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V,$$

Se substituye a la expresión anterior obteniendo:

$$\rho \cdot g \cdot h_1 + p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = \rho \cdot g \cdot h_2 + p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

Denominada *Ecuación de Bernoulli*.

► Potencia (P)

La potencia es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo en específico para el sistema hidráulico es la potencia necesaria de la bomba en función de:

$$P = \frac{p \cdot Q}{\eta}$$

P = Potencia en **W**

p = Presión en **N/m² = Pa**

Q = Caudal en **m³/s**

η = Rendimiento de la bomba **en tanto por uno**

► **Pérdidas de carga (h_f)**

Tanto régimen laminar como turbulento, representa la disminución de presión que experimenta un líquido al circular por un conductor.

$$h_f = \psi \cdot \frac{l \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

h_f = Pérdida de carga expresada en altura de columna de líquido

l = Longitud del conducto

D = Diámetro del conducto

v = Velocidad del líquido

g = Constante de gravedad

Ψ = Coeficiente de fricción.

En el caso del régimen laminar:

$$\psi = \frac{64}{Re}$$

Numero de Reynolds.- Número adimensional que caracteriza, en la dinámica de fluidos, la corriente del fluido. Se utiliza para estudiar su movimiento en el interior de una tubería, o alrededor de un obstáculo sólido.

► **Resistencia hidráulica (R)**

Es la resistencia que oponen los elementos del circuito hidráulico al paso del líquido.

$$R = \frac{\Delta p}{Q}$$

2.1.3 Unidad de presión⁴

La unidad de presión en el Sistema Internacional es el Pascal (Pa), posee las siguientes unidades, expresándose así:

$$Pa = N/m^2$$

Es decir, que el Pascal es la presión que ejerce la fuerza de un newton sobre un superficie de un metro cuadrado.

Esta unidad es tan pequeña, que en la práctica se emplea el bar:

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ KPa es decir, } 100,000 \text{ Pascales.}$$

⁴ Energía Hidráulica, Antonio Esteban Oñate, Ed. Paraninfo Pag. 194, 195

En el Sistema Técnico la presión se mide en Kg/cm^2 . Sin embargo normalmente se emplea el kg/cm^2 . Un cuadro de equivalencia útil es el siguiente:

Tabla 2. Tabla de equivalencias de unidades de presión

Unidades	Equivalencias
1 Kg/cm^2	0.96 Atmosferas
1 Kg/cm^2	28.96 plgHg
1 Kg/cm^2	14.22 lb/plg ²
1 Kg/cm^2	0.98 bar
1 Kg/cm^2	98.00 Pa

NOTA: Para cálculos o interpretaciones rápidas de valores de presión, 1 Kg/cm^2 es prácticamente igual a 1 bar.

2.2 Componentes del sistema hidráulico, su descripción y clasificación

2.2.1 Bombas hidráulicas

Definición

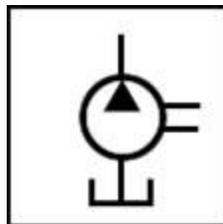
Una bomba es una máquina que transforma la energía mecánica en energía hidráulica de un fluido incompresible.

Descripción

Dentro de la clasificación de las bombas hidráulicas, se encuentran diversos tipos de bombas para todo tipo de aplicaciones. Y en el caso del Helicóptero Ecureil AS350B, la bomba es de engranes externos (Fig. 5); la cual funciona como a continuación se explica:

Uno de los engranes funciona de conductor y mueve a otro engrane (secundario). El engrane conductor es el que recibe la fuerza motriz de un eje acoplado mecánicamente con el eje de salida del motor tipo turbosje y en su giro arrastra al engrane secundario. Los giros de los engranes son opuestos como se puede deducir. Las cámaras de bombeo están formadas entre los engranes y la carcasa. El fluido circula a través de los dientes de los engranes y su rendimiento alcanza alrededor del 90%.

Fig. 5 Símbolo ISO⁵ para una bomba de caudal constante



⁵ A nivel internacional la norma ISO 1219 1 y ISO 1219 2 se encarga de representar los símbolos que se deben utilizar en los esquemas neumáticos e hidráulicos.

Fig. 6 Bomba de engranes externos

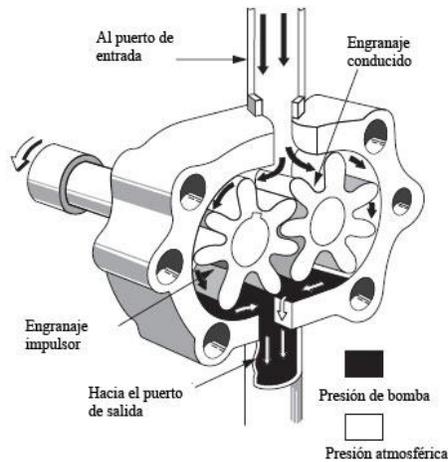


Tabla 3. Características de la bomba de engranes usada en el sistema hidráulico del AS350B

Fabricante	Hydroperfect International
Propiedades RPM	6000 rpm aprox.
Presión entregada	40 hasta 60 bar
Caudal	6 L/min
Consumo	0.6 kW

2.2.2 Depósito Hidráulico

Definición

La función natural de un tanque o depósito hidráulico es contener o almacenar el fluido de un sistema hidráulico.

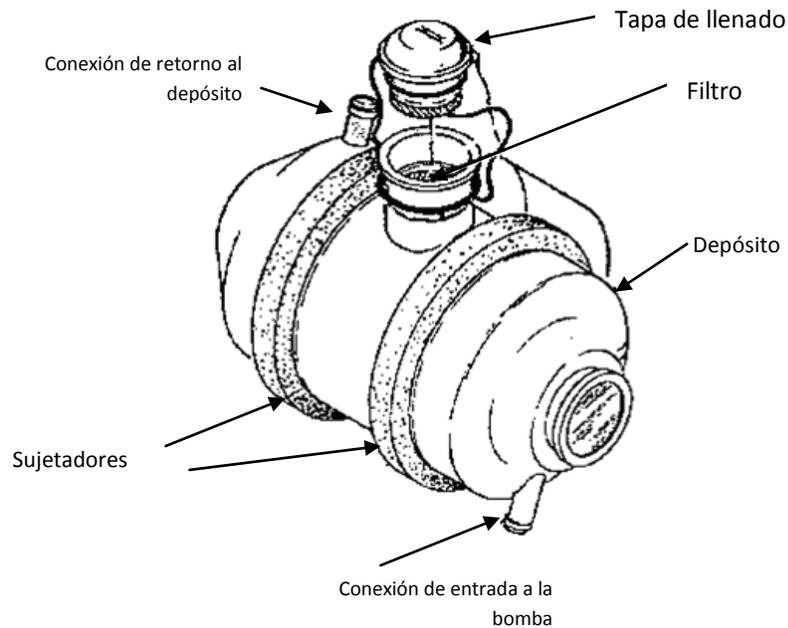
Descripción

Los depósitos hidráulicos que se emplean en los sistemas de las aeronaves pueden ser de dos tipos, los depósitos presurizados y los no presurizados. El Helicóptero **Ecureil AS350B** al volar en niveles bajos de vuelo utiliza el no presurizado mediante un depósito con una capacidad de 2.10lt. Su funcionamiento en principio es muy simple, ya que solamente cumple con la función de almacenar. La cantidad que almacena debe ser suficiente para cubrir las necesidades del sistema. Una cantidad sirve de reserva para compensar algunas fugas que se puedan producir en dicho sistema.

Fig. 7 Símbolo ISO para un depósito hidráulico no presurizado



Fig. 8 Depósito hidráulico del Ecoreil AS350B



2.2.3 Filtros

Definición

Un filtro está destinado a retener partículas sólidas en la aspiración durante el funcionamiento del sistema hidráulico.

Descripción

La función principal de un filtro es impedir la contaminación del sistema, evitando de esta forma la degradación de los componentes del sistema y su posible obstrucción.

La mayoría de las bombas utilizan como protección, un filtro destinado a retener partículas sólidas en la aspiración. Dentro del sistema hidráulico, se emplean aceites minerales estándar por lo que es necesario utilizar coladeras de malla metálica capaces de retener partículas mayores a 150 micrones.

Dentro del sistema hidráulico del Ecureil AS350B se tienen 3 filtros:

- ▶ **Filtro de alimentación.** Se encuentra ubicado justo a la salida del depósito hidráulico en la línea de alimentación y es una malla cuyo rango es de 0.8 a 1 mm.
- ▶ **Filtro de respiración.** Ubicado entre la tapa de llenado y el depósito hidráulico. Se encuentra en el orden de las 50 micras de filtración (Fig. 8).
- ▶ **Filtro de presión.** Este se encuentra a la salida de la bomba hidráulica, su función es suministrar el líquido a todas las líneas del sistema con el grado de pureza necesario para que el sistema opere en óptimas condiciones. Su capacidad de filtrado de acuerdo a la información técnica del fabricante es de 10 micrones. Los filtros de presión suelen ser fabricados de malla metálica de acero inoxidable para soportar las altas presiones.

Fig. 9 Símbolo ISO para filtro general

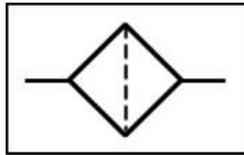


Fig. 10 Esquema de un filtro/regulador monobloque modular

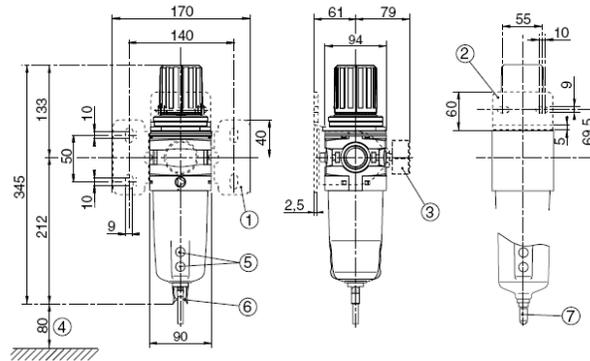
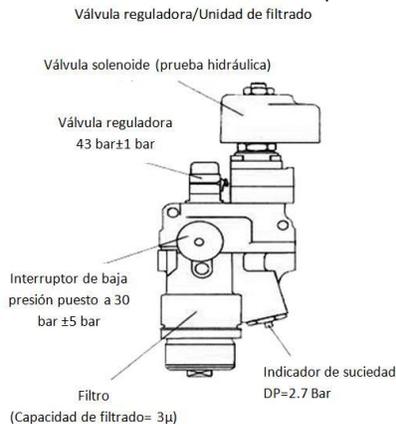


Fig. 11 Localización de un filtro en el bloque distribuidor



2.2.4 Tuberías

Descripción

Las tuberías a pesar de tener su clasificación; tienen un funcionamiento básico idéntico. Son el medio de canalización y transporte de un fluido; esto incluye rutas para alimentar un actuador o bien para desalojar el líquido hidráulico. En concreto, funcionan como conductos de ida y vuelta. La principal diferencia entre una tubería flexible y una manguera, es que la tubería flexible es referida a un tramo de manguera con los accesorios necesarios de conexión, también llamados racores. Normalmente son los que los operadores aeronáuticos reciben para intercambio de tuberías. Una tubería flexible está formada por un material sintético llamado *elastómero*, material compuesto por sustancias con una masa molecular muy alta.

Fig. 12 Símbolo ISO para una tubería flexible

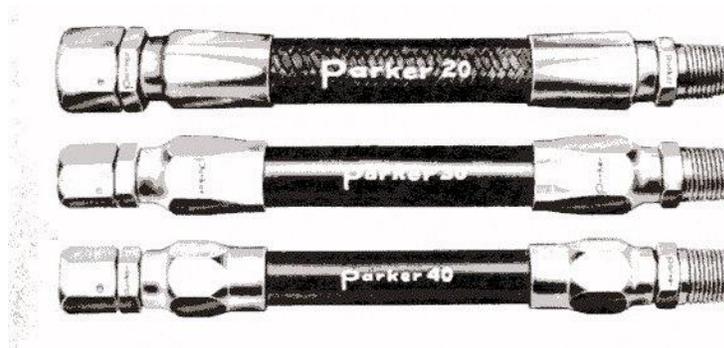


Tiempos de vida y envejecimiento

Para todo tipo de tuberías es necesario llevar un control de vida de las mismas, ya que al estar sometidas a altas presiones y desgaste, tienen ciclos de envejecimiento, perdiendo flexibilidad y resistencia. El tiempo de vida ayuda a saber cuando debemos realizar su reemplazo. En el caso del sistema hidráulico del helicóptero AS350B se desconoce cuando se realizó el cambio de tubería, pero al soportar altas presiones es fundamental para la habilitación del sistema.

Para comprobar la integridad de la tubería flexible, es necesario realizar una inspección visual donde se compruebe el estado de las conexiones y una prueba de presión en la que se someta a un valor del doble de presión que puede soportar durante un periodo no mayor de 5 minutos aproximadamente.

Fig. 13 Tuberías Flexibles marca Parker



2.2.5 Acumuladores de seguridad

Definición

Es un depósito que almacena un fluido presurizado el cual provee presión al sistema hidráulico en caso de que exista pérdida de ésta.

Descripción

Llamado comúnmente acumulador hidráulico. Es un depósito que esta dividido en dos cámaras, por medio de un material flexible sintético (*membrana o vejiga*). Una de las cámaras contiene un líquido hidráulico a la presión del sistema; en este caso 40 bares y la otra cámara tiene una carga de un gas a presión. El gas utilizado es nitrógeno, que es poco activo desde el punto de vista químico y no ataca a la membrana además no presenta riesgos de explosión a altas presiones. Existen diversos tipos de acumuladores de acuerdo al tipo de función que realicen. Para el sistema del helicóptero es utilizado un acumulador de tipo vejiga que actúan como un dispositivo de seguridad y emergencia.

El uso de este dispositivo permite realizar al piloto maniobras limitadas antes de que el sistema carezca totalmente de presión. En esta aeronave, al ser el sistema hidráulico único, es indispensable hacer uso del acumulador antes mencionado.

Fig. 14 Símbolo ISO para un acumulador de tipo vejiga

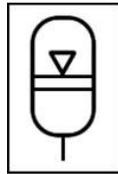
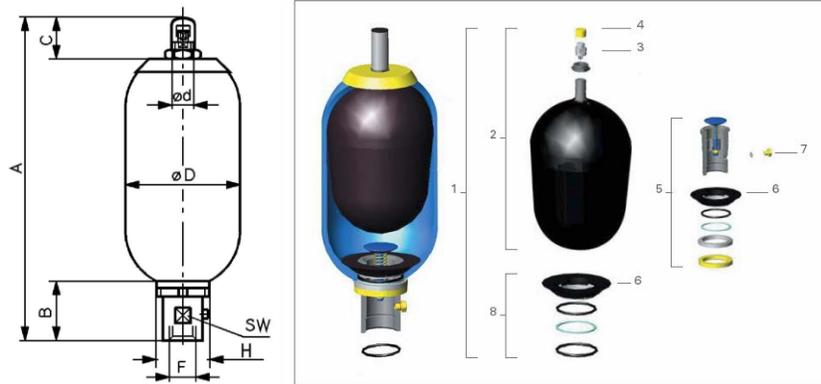


Fig. 15 Esquema de un acumulador OLAER EHV 12-330/90 de tipo membrana y sus características



Model	Volume lt	Max pressure bar	Max flow lt/min	Weight kg	A mm	B mm	C mm	D mm	d mm	F GAS	H mm	O-Ring mm	SW
EHV 0,2-350/00*	0,17	350	120	2,1	266	38	28	58	16	½ gcf	38	18x2	24

Tabla 4. Características funcionales del acumulador

CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DEL ACUMULADOR	
VOLUMEN TOTAL	126 cm^3
CAPACIDAD MAX. DE FLUIDO HIDRAULICO	100 cm^3
PRESIÓN DE TRABAJO	15 Bar @ 20 °C

2.2.6 Válvulas

Válvula Reguladora

Definición

Es un dispositivo para mantener una presión constante en la descarga, aunque en la entrada exista variación del flujo o la presión.

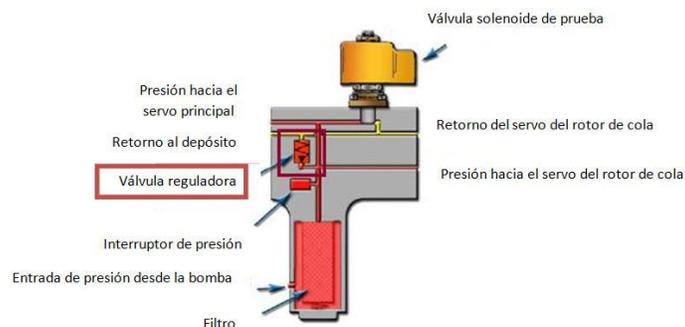
Descripción

Su función principal es no sobrecargar la estructura de los actuadores. La estructura soporte es la que debe absorber todos los esfuerzos que se desarrollan en los mecanismos del actuador. La *válvula reguladora* tiene dos funciones: primero, disminuir la presión en cuanto exista una sobrepresión y la otra es ajustar el valor previsto de presión para los mecanismos pertenecientes a este sistema, que debe mantener una presión de 40 Bar a lo largo de todo el sistema. En el **Ecureil AS350B**, su sistema tiene 6 válvulas reguladoras, en cada uno de los servos principales (3), en el servo que controla los movimientos del rotor de cola y uno más en el multiple que distribuye el líquido hidráulico a lo largo de los 3 servos principales.

Fig. 16 Símbolo ISO para una válvula reguladora de caudal



Fig. 17 Ubicación de la válvula reguladora (check valve) en el bloque de distribución



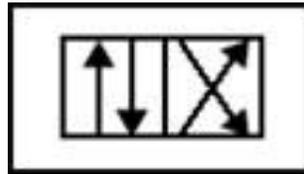
Válvula selectora

Definición

Es un dispositivo que se emplea para controlar el movimiento direccional de cualquier mecanismo, en este caso un actuador hidráulico. Se realiza mediante el control de la dirección del flujo, de una parte a otra del sistema. Las *válvulas selectoras* se caracterizan por el número de orificios de entrada y de salida que tienen, y el número de posiciones que puede realizar. Existe una clasificación de estas válvulas que se puede consultar en otros textos (*Veáse bibliografía*).

Dentro del sistema, la válvula que acciona el piloto del helicóptero desde la cabina es muy similar a una válvula 4/2 normalmente cerrada.

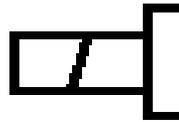
Fig. 18 Símbolo ISO para una válvula selectora 4/2 normalmente cerrada



Electroválvula

Aunque las válvulas que se instalan en los múltiples sistemas de las aeronaves tienen mecanismos variados y son diferentes en tamaño y forma, en este apartado sólo se van a tratar las válvulas de tipo electromagnético o electroválvulas. Su cuerpo se fabrica con un material anodinado de aleación ligera.

Fig. 19 Símbolo ISO de la electroválvula



La utilización de *electroválvulas* es muy amplia en las aeronaves ya que pueden abrir, cerrar, canalizar, desviar y liberar. Todos los fluidos presentes en los sistemas son controlados gracias a estas, tales como: fluidos hidráulicos, aceites, combustible, y agua, entre otros.

Su aplicación se encuentra en los casos en que el accionamiento debe efectuarse de forma remota, o sea, cuando el mando eléctrico se encuentra a distancias grandes y la conexión requiere poco tiempo. La señal de accionamiento de las *electroválvulas* procede de un mando electrónico o prestatato, un temporizador o simplemente un microinterruptor de final de carrera.

La mayoría de las *electroválvulas* tienen un accionamiento manual, además del eléctrico, con fines de mantenimiento. Así se pueden confirmar los movimientos de apertura y cierre, la estanqueidad e incluso la presencia de fluidos, sin necesidad de activar señales eléctricas.

Clasificación de las electroválvulas

Las *electroválvulas* se clasifican de múltiples formas dependiendo del método de ordenamiento escogido. Si se atiende a su configuración eléctrica, se distinguen entre:

- ▶ Válvula solenoide.
- ▶ Válvula motorizada.
- ▶ Válvula proporcional.

Si se tiene en cuenta el aspecto del vástago de cierre y la forma de moverse en la carrera, se diferencia entre:

- ▶ Válvula de asiento plano
- ▶ Válvula de corredera longitudinal
- ▶ Válvula de corredera plana.
- ▶ Válvula de corredera de émbolo
- ▶ Válvula de corredera giratoria.

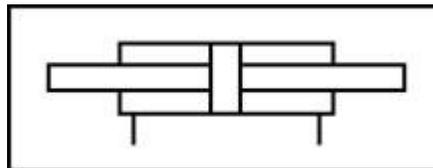
2.2.7 Actuadores hidráulicos y Servoactuadores

Actuador hidráulico

Descripción

Un *actuador hidráulico*, es un mecanismo capaz de transformar la presión hidráulica en un movimiento mecánico. Existe una amplia clasificación de acuerdo a sus funciones. El que corresponde al sistema hidráulico del helicóptero es un actuador de doble efecto, ya que la presión que es aplicada contribuye a conseguir dos movimientos; tanto de expansión como de retracción. Una de las clasificaciones que es posible considerar que se refiere a un actuador de camisa móvil y vástago fijo, donde el vástago esta anclado mientras que la camisa del actuador es la que se desplaza en respuesta a los cambios de presión hidráulica.

Fig. 20 Símbolo ISO para un actuador hidráulico de doble vástago



Servoactuador

Descripción

El servoactuador está compuesto para efectos prácticos, en este sistema, de un actuador hidráulico en conjunto con otro elemento muy importante mencionado en la sección anterior; la válvula selectora 4/2. Este actuador muestra la incorporación de la válvula así como también incluye otro sistema. El múltiple servo control que incluye el acumulador de seguridad, una válvula solenoide y la válvula restrictora como protección de los servoactuadores.

Existen dos modelos de servoactuadores para este tipo de equipo. El Servoactuador **SAMM** y el **DUNLOP**, cuya diferencia radica en el hecho de que el servoactuador SAMM posee un pasador de seguridad activado mediante un mecanismo proveniente del control del piloto, mientras que el servo **DUNLOP** carece de este sistema y por el contrario utiliza una válvula de derivación. Ambas se activan cuando se tiene una pérdida de presión en los servoactuadores. Más aún estos son idénticos en principio, lo cual los hace intercambiables. En el equipo del AS350B se tienen servoactuadores DUNLOP como se muestra en la Figura 21.

Fig. 21 Ubicación del servo actuador Dunlop



Las características del Servoactuador DUNLOP se muestran a continuación:

Tabla 5. Características funcionales Servo actuador Dunlop

SERVOACTUADOR DUNLOP	
Peso	3 Kg
Presión nominal de servicio	40 Bar
Alcance máximo	135 mm
Rango máximo utilizable	133 mm
Area seccional del servocontrol	4.5 cm ²
Carga de entrada	≤0.3daN
Carga operativa despresurizada	≤15 daN
Flujo estacionario requerido	150 cm ³ /min
Umbral de entrada a la válvula de derivación	12 Bar
Umbral de salida de la válvula de derivación	≥6.6 Bar
Movimiento de entrada	± 1.2 mm

Partes que componen el Servoactuador Dunlop.

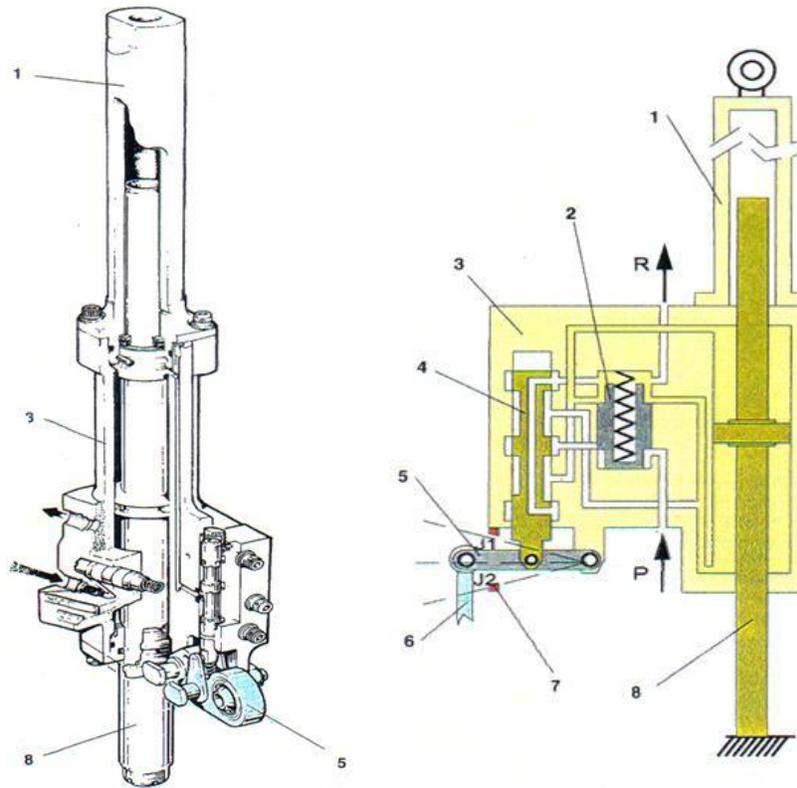


Fig. 22 Componentes del servo actuador

Tabla 6. Listado de partes del servo actuador

1	Cubierta del cilindro sujeta al plato cíclico al control del rotor de cola
2	Derivación
3	Cilindro del servoactuador (Parte Móvil)
4	Válvula distribuidora de corredera
5	Palanca accionadora de entrada
6	Palanca de control del piloto
7	Retenes de la palanca accionadora
8	Vástago (Punto de sujeción del servoactuador)

Posiciones del Servoactuador Dunlop

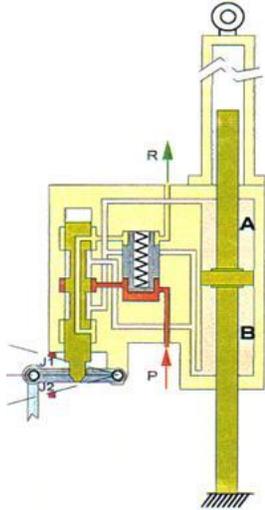


Fig. 23a Servoactuador sin movimiento

Control del Piloto sin movimientos

- ▶ La palanca de accionamiento se encuentra en una posición estacionaria.
- ▶ La válvula distribuidora de corredera se encuentra en posición neutra.
- ▶ El servo actuador se encuentra en equilibrio, está estacionario.
- ▶ El sistema hidráulico se encuentra energizado.

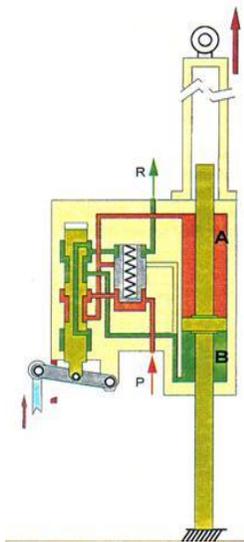


Fig. 23b Servoactuador extendido

Extensión del servo actuador

- ▶ La palanca de accionamiento se mueve hacia arriba.
- ▶ La válvula distribuidora de corredera se desliza para abrir el paso al flujo hacia la cámara A del servo actuador.
- ▶ La Cámara B se encuentra conectada a la línea de retorno. El servoactuador permanece en posición extendida tanto tiempo como el piloto mantenga su mando en esta posición.
- ▶ Cuando el piloto regresa su mando a la posición neutra, el distribuidor regresa el hidráulico a una posición cero.

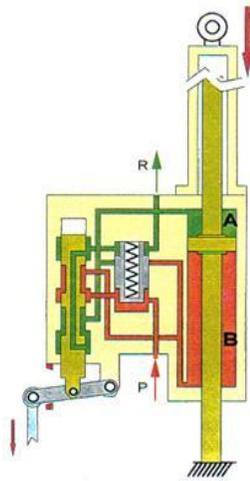


Fig. 23c Servoactuador retraído

Retracción del servo actuador

- ▶ La palanca de accionamiento se mueve hacia abajo.
- ▶ La válvula distribuidora de corredera se desliza para desalojar el líquido de la cámara A debido a la presurización, llenando la cámara B.
- ▶ Cuando el piloto regresa su mando a la posición neutral, el distribuidor regresa el hidráulico a una posición cero.

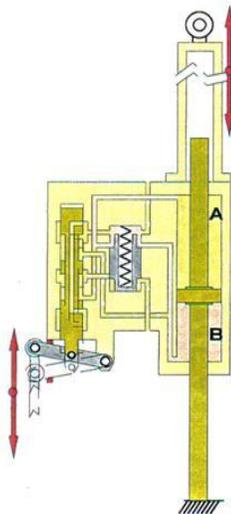


Fig. 23d Pérdida de presión en el servoactuador

Pérdida de Presión del líquido hidráulico

- ▶ Cuando la presión del hidráulico cae por debajo de la presión necesaria para funcionar normalmente, el resorte de la derivación se carga y simultáneamente conecta las cámaras A y B.
- ▶ El piloto mediante el movimiento del mando, y haciendo pivote con los retenes transmite movimiento a través del cilindro actuador.

2.2.8 Líquido hidráulico

Los distintos tipos de líquidos hidráulicos poseen un tinte especial con fines de identificación.

Según su origen se clasifican en: líquidos hidráulicos de origen vegetal, líquidos hidráulicos de origen mineral y líquidos hidráulicos sintéticos.

No debe existir mezcla de líquidos hidráulicos en un sistema y de igual manera no debe agregarse otro líquido que no este especificado en la información técnica de la aeronave debido a que muchos componentes se encuentran en contacto directo, como lo son sellos y juntas del sistema. Esto pueden deteriorar los componentes por ataques químicos provocados el propio fluido. El resultado puede provocar un fallo de los componentes que aseguran la estanqueidad.

Los códigos de colores son los siguientes:

- ▶ Los líquidos hidráulicos de origen vegetal son normalmente incoloros, a veces con aspecto azulado.
- ▶ Los de origen mineral son de color rojo.
- ▶ Los líquidos hidráulicos sintéticos son de color verde, púrpura o ámbar.

El líquido hidráulico de origen mineral es muy utilizado en la aviación general. Se aplica generalmente en los sistemas de frenos, o sistemas hidráulicos completos.

El líquido hidráulico estándar de este grupo tiene el número de especificación MIL-H-5606.

Las siglas MIL indican que es una especificación militar y la H intermedia hace referencia a su empleo hidráulico. El campo operacional de este líquido es de -54°C a 135°C. Este líquido se obtiene de la refinación del petróleo.

Se dice que el líquido hidráulico es inhibidor de la corrosión. Después de 72 horas a 135°C, las piezas de acero, aluminio, magnesio o de acero cadminizado no sufren ninguna variación de peso (por corrosión) superior a 0,2 miligramos por centímetro cuadrado de superficie.

Los productos Aeroshell Fluid 41(Ver Anexo I), BP Aerohydraulic 1 y Mobil Aero HFB responden a esta especificación.

Tabla 7. Características de los diversos líquidos hidráulicos

LIQUIDO HIDRUALICO USADO EN EL SISTEMA DEL AS350B Y SUS CARACTERISTICAS	
BP AERO HYDRAULIC 1B	
Densidad a 20°C	0.868 kg/l
Viscosidad cinemática a 40°C	14
AVIATION HIDRAULIC OIL 20B-H515	
Densidad a 20°C	0.882 kg/l
Viscosidad cinemática a 40°C	14.2
AVIATION INVAROL FJ13	
Densidad a 20°C	0.86 kg/l
Viscosidad cinemática a 40°C	13.7
AEROSHELL FLUID 41	
Densidad a 20°C	0.874 kg/l
Viscosidad cinemática a 40°C	15.68

Fig.24 Latas de líquido hidráulico usados en la aviación



Capítulo III:

Metodología

El primer capítulo exhibe un panorama que ayuda a delimitar cuál es la principal problemática que se aborda, así como los objetivos a cumplir y hasta dónde puede ser posible llegar con esta investigación.

La metodología utilizada en este trabajo es el método explicativo, ya que es la base para definir el porqué y cómo surgió el proyecto.

A continuación se describen las fases en las cuales se basó la investigación:

3.1 Fase de consulta de información técnica

La consulta realizada en los manuales delimita el proyecto para iniciar la búsqueda de información. Comienza la investigación con el funcionamiento de los elementos básicos, así como su teoría para posteriormente aplicarlo al sistema de la aeronave Ecureuil AS350B. Esto con la finalidad de ir de lo general a lo particular, comprendiendo los principios que rigen a la hidráulica.

Dentro del manual de entrenamiento del helicóptero (Instruction Manual), se encontró el funcionamiento del sistema, permitiendo explicarlo con claridad.

3.2 Fase de descripción de los componentes

Dentro de la amplia investigación, se encontró que un sistema hidráulico es en principio sencillo, pero en la práctica llega a ser mucho más complejo, por lo que es necesario explicar el funcionamiento de cada uno de sus componentes.

Los conceptos sobre la mecánica de fluidos, como base de un sistema hidráulico, son mencionados los más básicos para la comprensión de dicho sistema, así como las leyes y ecuaciones en las que se basa.

Una descripción simple es de suma importancia para conocer el funcionamiento de la bomba hidráulica de engranes abiertos.

En este caso, se realizó una investigación lo más apegada a lo que se refiere a la clasificación de cada componente, ya que como es conocido, la hidráulica y la neumática son campos bastante amplios, que para el fin de este trabajo se reduce solo a ciertos componentes, pero de igual manera es necesario saber dentro de ésta rama tan amplia, donde se encuentran ubicados estos mismos. Parte esencial de la descripción, son los símbolos ISO que corresponde a cada uno de ellos.

De los diversos componentes con los que cuenta el sistema, existe una tabla donde se muestran sus características a forma de resumen, o en caso de que algún componente necesite ser cambiado por algún equivalente a sus parámetros de funcionamiento.

En resumen, ésta fase abarcó desde fabricantes de componentes no aeronáuticos, hasta algunos que por décadas se han dedicado a fabricar y diseñarlos.

3.3 Fase de la propuesta de inspección y los resultados

La inspección propuesta para saber el estado actual del sistema hidráulico, está basada en las tareas mencionadas en la información técnica del helicóptero, guía que permite saber con certeza el estado de cada componente.

El proceso de inspección comienza desde el momento en que se retiran las cubiertas paso a paso para descubrir todas las partes del sistema, así como también se mencionan las herramientas y consumibles necesarios en cada etapa.

En el caso de remoción de algún componente, la tarea se menciona por completo en el manual del Ecureuil AS350B.

Anexo a la propuesta de inspección, se realizó limpieza y remoción de la bomba hidráulica para comprobar su estado.

3.4 El análisis técnico de factibilidad

El análisis está basado en la revisión de los componentes y la inspección que se realizó, pues se sabe que una reparación como lo es la del sistema hidráulico, tiene un costo bastante alto por lo que de acuerdo al objetivo se propone la implementación de algún sistema alternativo o en su defecto intentar que este mismo funcione de manera didáctica.

Capítulo IV:

Desarrollo

4.1 Funcionamiento Básico del Sistema Hidráulico

4.1.1 Principios del Sistema

Este sistema suministra energía hidráulica a los servo actuadores; por lo tanto siempre se debe de tener en mente que el sistema hidráulico relaciona la presión (P) y el caudal (Q) por la ecuación:

$$\text{Potencia} = P \times Q \quad \text{Donde: } P = \text{Presión [N/m}^2\text{], [Pa]}$$
$$Q = \text{Caudal [m}^3\text{/s]}$$

La cual refiere a presión constante que:

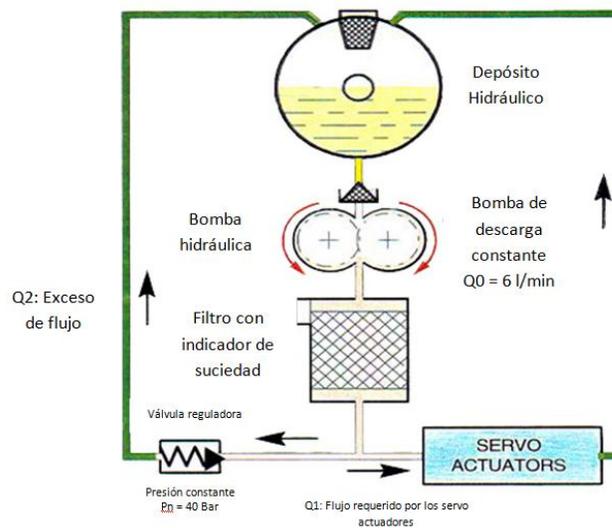
- ▶ Algún incremento en la relación de flujo reduce la presión.
- ▶ Alguna disminución en la relación de flujo incrementa la presión.

El helicóptero AS350 tiene un sistema hidráulico de presión constante, incluyendo los siguientes componentes:

- ▶ Una bomba hidráulica impulsada a una velocidad constante por la caja de engranes principal y un flujo de descarga constante de 6 lt/m.
- ▶ Un filtro de 3 μ con un indicador visual de obstrucción.
- ▶ Una válvula reguladora para mantener la presión a una relación de Pn= 40 bar.

Fig. 25 Principio del sistema hidráulico del Ecureil AS350B

Válvula de apertura diseñada para mantener constante la P (Presión) a un valor de Q₁ (Caudal)



El flujo de descarga de la bomba está diseñado para satisfacer las demandas de los servo actuadores en todas las condiciones, lo cual genera un exceso de flujo en condiciones normales de vuelo. El exceso de flujo se deriva dentro del depósito hidráulico por una válvula reguladora, la cual se activa cuando el exceso de presión excede los 40 bares.

Donde:

Q_0 = Es el flujo de descarga constante de la bomba.

Q_1 = Es la relación de flujo demandado por los servo actuadores (la cual varía dependiendo de sus cargas de trabajo).

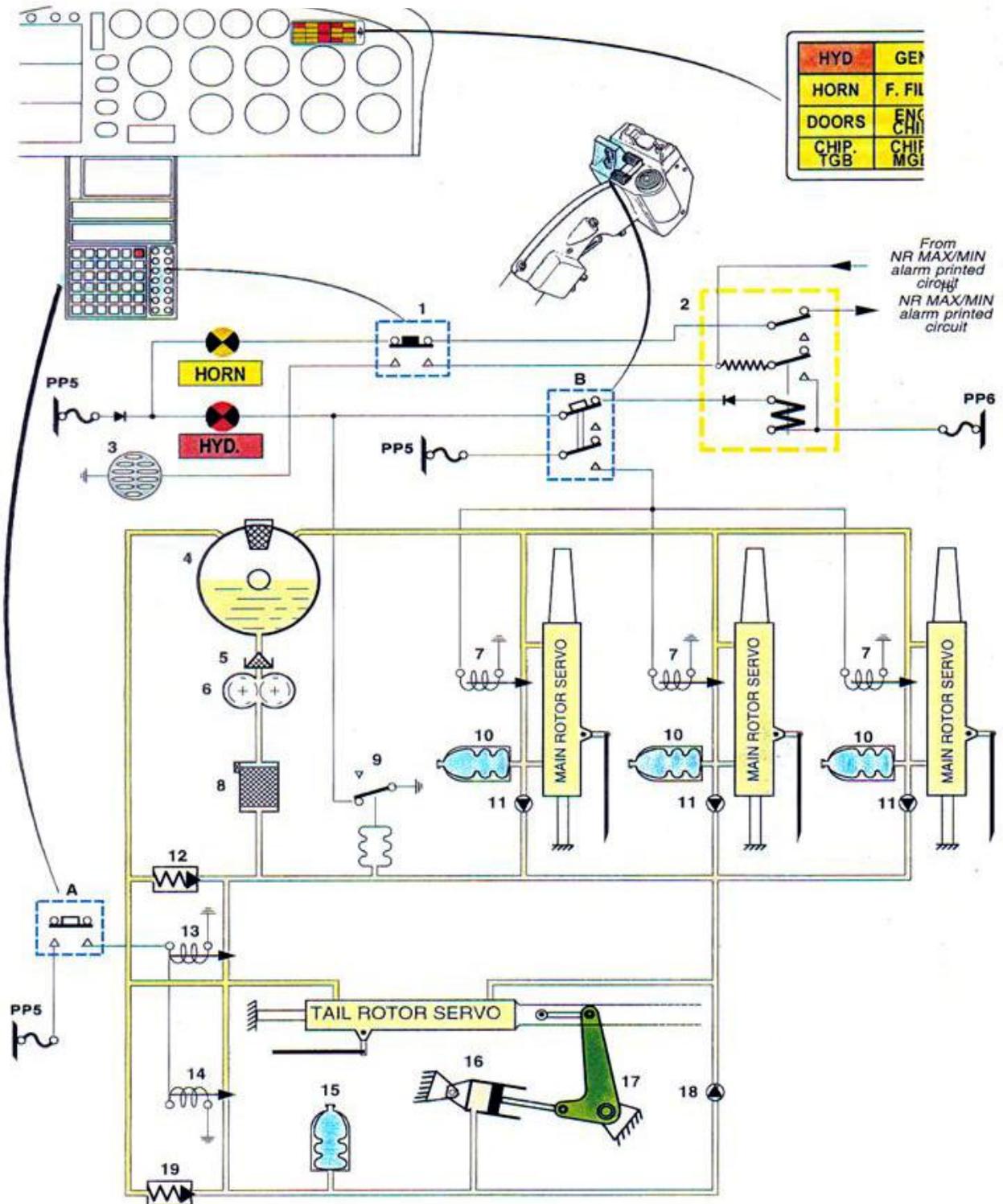
Q_2 = Es el exceso de flujo derivado por la válvula reguladora. Estos flujos están relacionados como sigue: $Q_0=Q_1+Q_2$.

Si Q_1 incrementa; la presión del sistema cae y la válvula comienza a cerrarse y disminuye el flujo Q_2 para reducir la presión y llevarla a su valor normal. Si Q_1 disminuye, ocurre exactamente lo contrario.

Componentes del Sistema Hidráulico y sus funciones.

1. Botón de bocina. Usado para desactivar la bocina.
2. Relevador de control. Este se energiza en caso de caída de presión.
3. Bocina. Otorga una alarma audible en caso de pérdida de presión del hidráulico.
4. Depósito de Fluido Hidráulico.
5. Filtro a la entrada de la bomba (tamaño de la malla: 0.8-1 mm)
6. Bomba hidráulica. Impulsada por la caja de engranes principal, con una relación de flujo de 6L/min.
7. Válvulas solenoides de los servo actuadores de rotor principal. Estas son controladas por un botón que energiza al solenoide (B); usado en caso de fallas hidráulicas o amarre de algún distribuidor de los servo actuadores para recorrer la línea de presión del servo actuador de regreso dentro del depósito, eliminando el retorno de presión en el control manual y por lo tanto reduciendo las cargas del control.

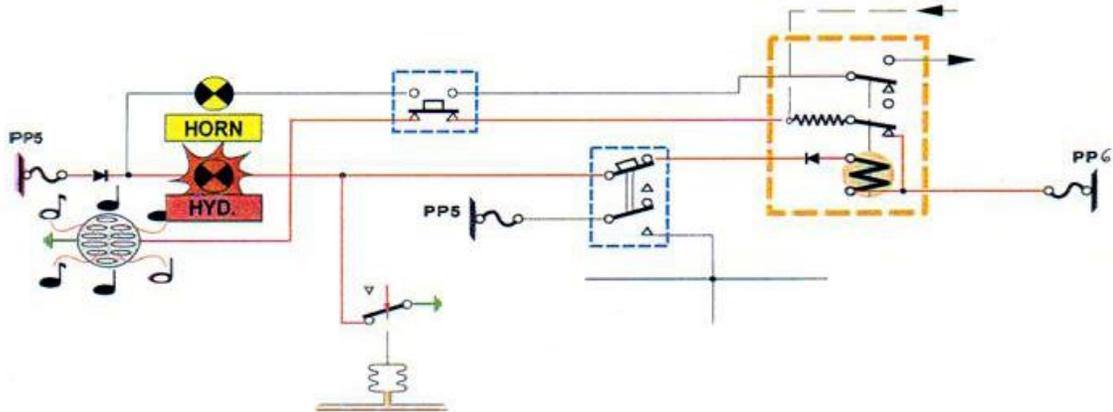
Fig. 26 Diagrama de los componentes del sistema hidráulico del Ecureil AS350B



8. Unidad de filtro. Indicador de obstrucción y con capacidad de filtración= 3 μ .
 9. Interruptor de presión. Cierra el circuito con la luz "HYD" cuando $P < 30$ bar.
 10. Acumuladores de retroceso. Se encuentran sobre los servo actuadores del rotor principal. Usados en caso de falla del sistema hidráulico para proporcionar una pequeña reserva de energía. El piloto puede alcanzar una velocidad de retroceso de carga mínima para el control manual.
 11. Válvulas anti-retorno de los servos del rotor principal. Se cierran en caso de que exista una falla en el sistema por la presión de los acumuladores (el flujo desde los acumuladores es únicamente usado por el servo actuador)
 12. Válvula reguladora. Mantiene la presión del sistema a 40 bar.
 13. Válvula solenoide de "Prueba del Hidráulico". Controlado por el botón de accionamiento (A). Cuando ésta energizado abre la ruta. La alimentación del servo actuador regresa al depósito hidráulico. Esto despresuriza el sistema permitiendo a los acumuladores dar marcha atrás para ser probados sobre los servo actuadores del rotor principal.
 14. Válvula solenoide. Descargar los acumuladores.
 15. Acumulador. Suministra una reserva de energía para el actuador del compensador de carga.
 16. Actuador hidráulico. Junto con los controles cíclico y colectivo del helicóptero, facilitan los cambios en el paso del rotor de cola en caso de pérdida de energía hidráulica.
 17. Palanca multiplicadora. Magnifica un pequeño desplazamiento del pistón del actuador en un movimiento largo del punto de conexión de la articulación del servo actuador.
 18. Válvula anti-retorno. Mantiene al acumulador cargado en caso de pérdida de presión del hidráulico.
 19. Válvula de alivio de presión. Parcialmente sangra fluido hidráulico cuando el pistón compensador regresa de la posición de extendido. Elimina el bloqueo de hidráulico cuando el sistema es presurizado.
- A.** Prueba de hidráulico. Activa las válvulas solenoides 13 y 14.
- B.** Corte de hidráulico. Activa las válvulas solenoides, indicadas en la figura 26 con número 7.

4.1.2 Pérdida de Presión del sistema Hidráulico

Fig. 27 Diagrama de activación de la alarma auditiva en caso de falla



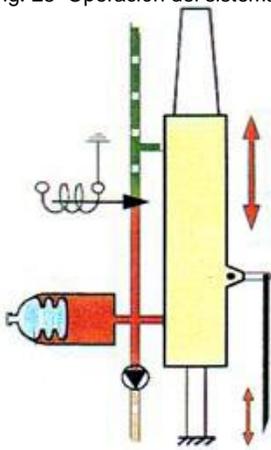
- ▶ La activación (Fig.27) de la bocina. Tanto la luz como la alarma auditiva indican una pérdida de presión causado por una fuga o por la ruptura de la banda.

Operación del Sistema Auxiliar

Tan pronto como el sistema pierde presión, los acumuladores realizan su descarga de presión de nitrógeno. La válvula anti-retorno se cierra y los servo actuadores se mantienen presurizados hasta que los acumuladores son totalmente descargados.

El piloto deberá reducir el paso del colectivo antes de que los acumuladores se descarguen en su totalidad

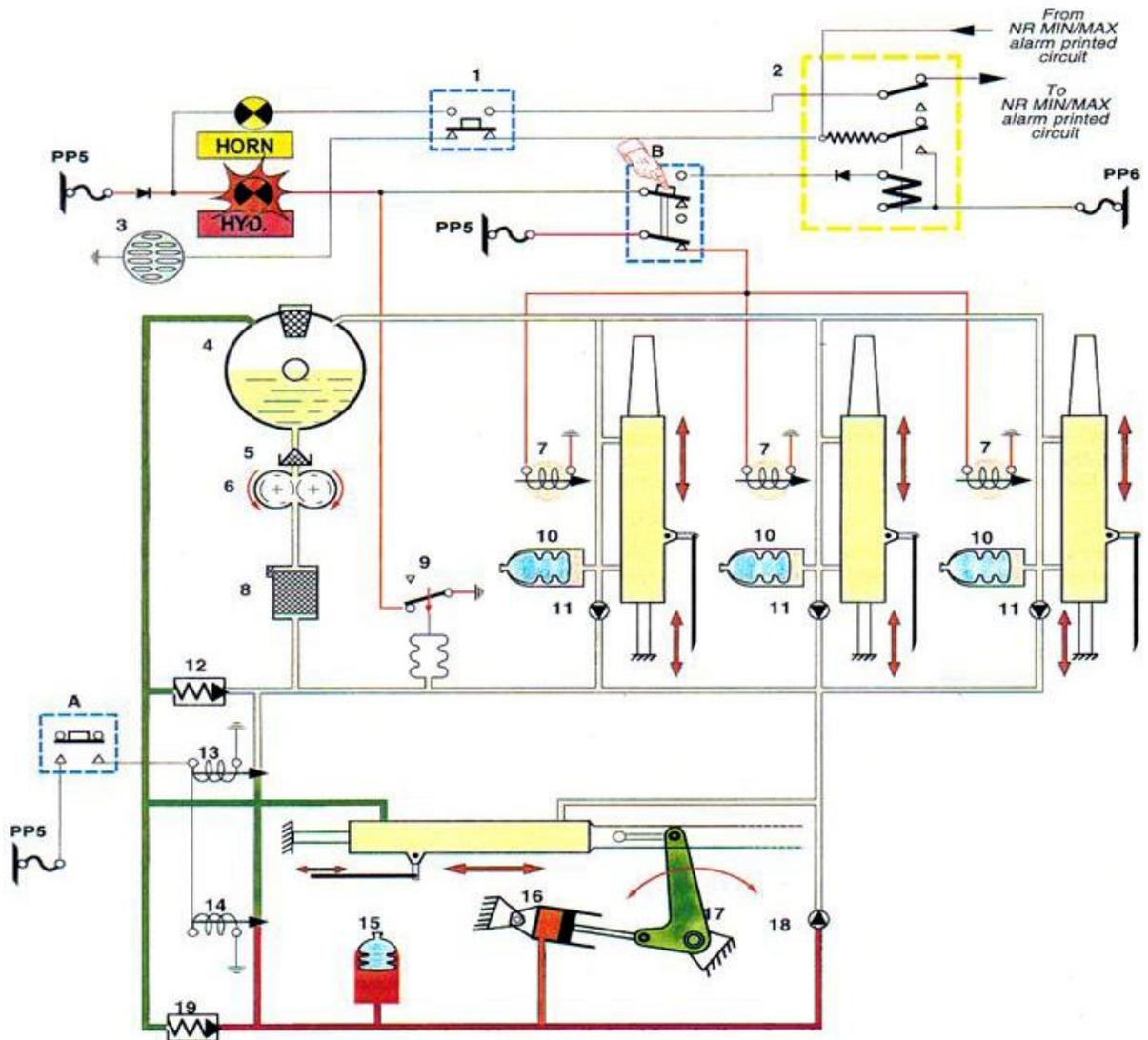
Fig. 28 Operación del sistema auxiliar



Una vez que se asegura el sistema de respaldo por caída de presión y la velocidad es recuperada, el piloto abrirá las válvulas solenoides y realizara el corte del sistema hidráulico mediante el botón de accionamiento para eliminar cualquier residuo de líquido hidráulico y regresar la presión en ambos lados del pistón servo actuador. Esto reduce la fuerza requerida para mover los servo actuadores.

Nota: Cuando el botón de accionamiento es presionado, la bocina se desactiva y el circuito de la bocina es desengarzada a través del botón de accionamiento.

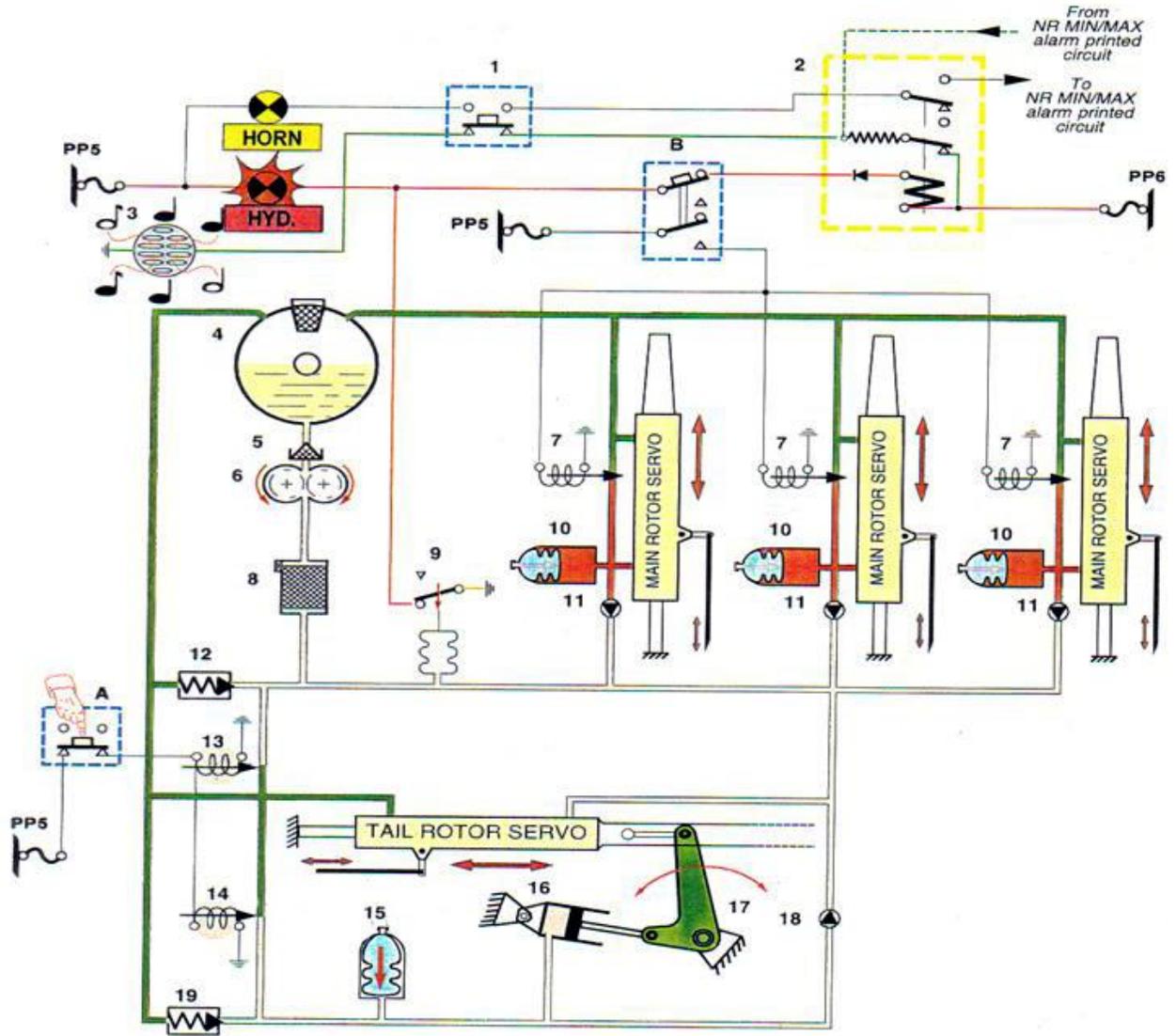
Fig. 30 Prueba del sistema hidráulico por componentes



Los componentes del sistema hidráulico deben ser verificados para su correcta operación:

- ▶ Excepto en la guiñada de los pedales; donde estos deben permanecer exactamente en un punto bajo para la acción del compensador. Con el giro del rotor y presionando el botón de accionamiento del mando que abre las válvulas solenoides; aun cuando la luz indique la caída de presión del sistema, la carga de operación de los controles son instantáneamente perceptibles.

Fig. 31 Apertura de las válvulas solenoides



En tierra con el rotor principal girando, y presionando el botón de prueba tenemos:

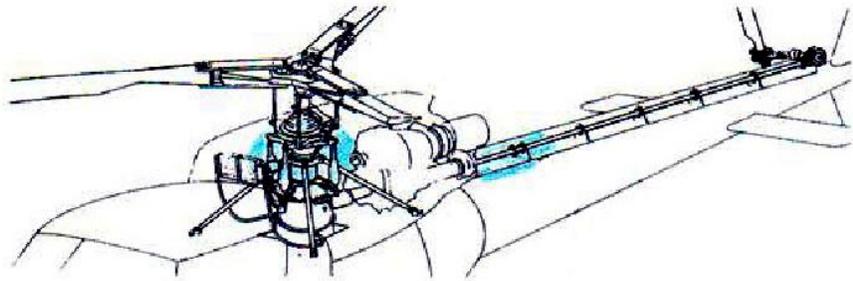
Que las válvulas solenoides (13 y 14) se abre e inmediatamente despresurizan el sistema. El indicador se ilumina y entra en acción la bocina.

En este momento el piloto deberá ser capaz de mover el control cíclico del helicóptero, que libre de cualquier obstáculo perderá subsecuentemente resistencia, indicando que los acumuladores se encuentran listos para realizar una descarga.

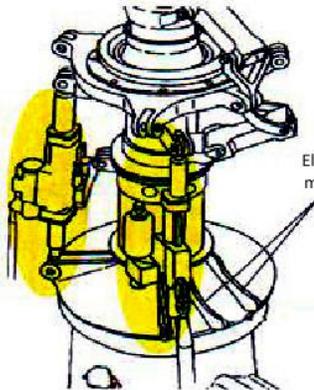
Advertencia:

Para operar o centrar la guiñada de los pedales en tierra con el rotor totalmente parado, deberá ser presionado el botón de accionamiento del mando por un par de segundos para abrir la válvula solenoide (14) y descargar el acumulador (15).

Fig. 32 Ubicación de los servo actuadores en el rotor principal



Servo Actuadores del Rotor Principal



El Deposito está asegurado mediante dos abrazaderas

Ubicación de los Servo Actuadores del Rotor Principal y del Rotor de Cola

4.2 Procedimiento de inspección

En base al Manual de Mantenimiento mayor de la Aeronave de Ala Rotativa Ecureil AS350B se obtuvieron las tareas, la primera de estas de inspección y mantenimiento. Si este proceso de inspección se lleva a cabo se puede observar el estado en el que se encuentra el sistema hidráulico. Así como cada uno de sus componentes.

4.2.1 Instrucciones Preliminares

1. Siempre que un trabajo se desarrolle y se desee prevenir la contaminación del sistema hidráulico, y de la estación de trabajo, todas las herramientas y materiales deben permanecer perfectamente limpios.
2. Asegurar el helicóptero mediante calzos, con el propósito de que al realizar la remoción de las cubiertas este no se mueva o desbalance, ya que podría provocar riesgos innecesarios al técnico que realice dicha inspección.

NOTA: El uso de andamios o escaleras proveen una mayor seguridad y facilidad en el manejo en de las cubiertas.

Fig. 33 Ilustración que muestra el uso de grúa en los procedimientos



3. Remoción de las cubiertas:

- a) Quitar los seguros ubicados en las cubiertas A y B. Posteriormente desalojar los tornillos, que se encuentran en la parte superior de cada cubierta.

Fig.34 Apertura y remoción de cubierta derecha A



NOTA: Los tornillos solamente son de aseguramiento. Con 1/4 de vuelta el seguro es desplazado.

ADVERTENCIA: Asegúrese que uno de los técnicos mantengan sujeta la cubierta mientras esta es desplazada de su lugar de origen, de no hacerlo podría causar daños tanto a la cubierta como a los técnicos que se encuentren en la parte inferior.

4. Antes y durante la instalación/remoción de cualquier componente.

- ▶ Antes de remover algún componente, verificar que la presión sea cero y que el suministro de energía eléctrica sea nulo.
- ▶ Cuando los componentes se remuevan, deberán tener cuidado en no perturbar o dañar la tubería. Así como, deberán ser obturados todos los orificios para preservar los componentes del sistema hidráulico sólo si es necesario. Sistemáticamente deseche algún sello o seguro.
- ▶ Antes de reinstalar los componentes, verificar que estos se encuentren perfectamente limpios así como lubricar anillos y empaques con aceite de servicio.
- ▶ Después de cualquier acción en una bomba hidráulica de tipo de engranes o un sistema de alimentación, es recomendable purgar el sistema de suministro de la bomba rotando manualmente el rotor principal hasta que el líquido hidráulico aparezca en la salida de la bomba.

5. Después de la instalación.

- ▶ Verificar el nivel del depósito del sistema hidráulico hasta el nivel máximo necesario.

Fig. 35 Marcas de nivel de fluido en el depósito hidráulico



- ▶ Limpiar la estación de trabajo.
- ▶ Prueba de servicio del sistema; comprobando si existe fuga. En caso de existir, repare durante la siguiente corrida en tierra.

NOTA: Antes de la prueba del sistema hidráulico, verifique que todas las articulaciones de control se encuentren correctamente instaladas en su trayectoria de viaje.

4.2.2 Instrucciones para limpieza de mallas y filtros

1. Herramientas necesarias:

- ▶ Ninguna.

2. Materiales:

- ▶ Grasa (white spirit)
- ▶ Aire seco comprimido (Compresor de aire)
- ▶ Fluido hidráulico MIL-H 83282-A o aire 3520

3. Partes de Reemplazo Rutinarias

- ▶ Ninguna

4. Procedimiento

PRECAUCIÓN: Sea cuidadoso evitando todo tipo de contaminación, por lo que se recomienda utilizar herramientas y materiales que estén lo suficientemente limpios para el propósito requerido. Así mismo trabaje en lugares donde los componentes se encuentren libres de polvo.

Fig. 36 Herramientas utilizadas para la remoción de la bomba hidráulica



5. Introducción para la limpieza de filtros.

La limpieza puede llevarse a cabo en 3 diferentes formas. La opción del método queda bajo el criterio del operador, respecto al grado de contaminación y equipo a su disposición.

5.1 Inmersión en grasa (White Spirit)

La inmersión de 10 a 15 minutos debe ser suficiente, sin embargo este tiempo puede extenderse si es requerido. Posteriormente el componente debe ser impactado con aire seco comprimido, contra la dirección de flujo hasta que esté perfectamente seco.

Fig. 37 Aplicación de aire comprimido al filtro del depósito hidráulico



5.2 Limpieza contra la dirección de flujo de servicio

Enviar el mismo fluido previamente filtrado a través de un componente con los mismos datos de especificación. A través de componentes obstruidos, es mejor contra la dirección de flujo del fluido de servicio, dando excelente resultados. Este método es particularmente efectivo cuando la pérdida de presión del componente cerrado u obstruido no excede los 2 o 3 bares.

5.3 Método de limpieza por ultrasonido

Este método es particularmente recomendado para la limpieza de elementos de filtros muy finos. Para este tipo de limpieza refiérase a las instrucciones técnicas de facilidades de operación.

6. Después de la limpieza, reajuste el filtro inmediatamente, teniendo cuidado, con el fin de prevenir el ingreso de suciedad.

NOTA: Si el filtro no es usado la primera vez, presérvelo con fluido hidráulico MIL-H-83.282-A3520 o Aire, y póngalo bajo una cubierta de PVC con una etiqueta identificando el líquido de preservación.

4.2.3 Bomba Hidráulica- Remoción e Instalación

1. Equipo requerido

1.1 Herramientas

1.1.1 Herramientas Estándar

- ▶ Tapones de obturación

1.2 Materiales

- ▶ Grasa G.355
- ▶ Equivalente Dri Lube Plus (Lubricante en Seco Moly) Ver Anexo II para revisar sus características.

1.3 Partes de Reemplazo rutinarias

- ▶ Anillos (14)

1.4 Documentos aplicables

- ▶ Manual de Mantenimiento (MET)
- ▶ Manual de Practicas Estándar (MTC)

2 Pasos Preliminares

- ▶ Lea las instrucciones generales de seguridad en la sección 4.3.1 párrafo 1.
- ▶ Abra las cubiertas de la caja de engranes.
- ▶ Remueva el cincho de las mangueras de succión y distribución.
- ▶ Estrangule las mangueras conectadas a la bomba mediante tapones de obturación (Manguera de succión y distribución)

3 Procedimiento (Figuras 1 y 2)

3.1 Remoción de la bomba hidráulica

- ▶ Desconecte las tuberías (1) y (5) ver figura 38d.
- ▶ Instale tapones de obturación a la salida y entrada de la bomba.
- ▶ Remueva las tuercas (8) arandelas o rondanas planas (9) tuercas (7) y rondanas.

- ▶ Retenga las tuercas con llave española de 11mm (8).

PRECAUCIÓN: No aplicar carga axial ni carga radial a la bomba.

- ▶ Remueva la bomba hidráulica (3) colóquese frente a la bomba y tenga cuidado en no ejercer demasiada fuerza hacia un lado de la flecha.

NOTA: La polea (11) queda en posición al igual que la placa de soporte de la bomba.

3.2 Instalación de la bomba hidráulica

Si es necesario, desmontar la bomba hidráulica (3)

NOTA: Si la placa de asiento (2) y (4) ha sido removida, instale nuevos sellos. Monte el filtro protector (6) de acuerdo a la figura 38d previamente limpiado e impactado con aire seco para la línea de succión (2).

- ▶ La Bomba (3) Gírese sin ningún punto de rozamiento o fricción
- ▶ El soporte de la polea (13) no debe estar desviado o desalineado
- ▶ Engrase el balero de la bomba con Dri Lube plus evitando contacto con el piñón de la misma.
- ▶ Verificar con la mano si está conectado (17) y que la base está asentada en la parte central es decir que el piñón empalme correctamente (15)

PRECAUCIÓN: No aplicar carga axial ni carga radial a la bomba.

- ▶ Engranar la Bomba Hidráulica (3)
- ▶ Verificar que el alojamiento de la caja de engranes de la transmisión tenga un desplazamiento libre.

PRECAUCIÓN: Instale las arandelas y rondanas planas (9) y (10) como es mostrado en el Detalle "A" (El borde biselado de la arandela (10) de la cabeza del tornillo).

- ▶ Instale los tornillos (7), rondanas (9) (10) y tuercas (8) utilizando la matraca con un dado de calibre de 11mm y llave española de 7mm para contra vuelta.

NOTA: Instale los tornillos (7) con sus cabezas del lado de la bomba hidráulica.

- ▶ Apriete los cuatro tornillos del aditamento.
- ▶ Remueva los tapones de obturación de la bomba.
- ▶ El aditamento del tubo de alimentación (1) y (5)
- ▶ Después de instalar la bomba.
- ▶ Asegúrese que la polea gira sin ningún punto de rozamiento o fricción.

4 Pasos Finales

- ▶ Verifique la tensión en la Banda (12) (Figura 38a) o la banda dentada.
- ▶ Asegúrese que el filtro del depósito tipo malla se encuentre libre de algún residuo antes de efectuar el rellenado del sistema hidráulico, empleando el líquido hidráulico indicado en el Anexo II.
- ▶ Rellene el sistema hidráulico empleando guantes de látex por seguridad.
- ▶ Cierre las cubiertas de la caja de engranes.
- ▶ Después de la primera corrida en tierra o del primer vuelo, asegúrese de que no haya fugas.

Fig. 38a y 38d Partes esenciales de la bomba

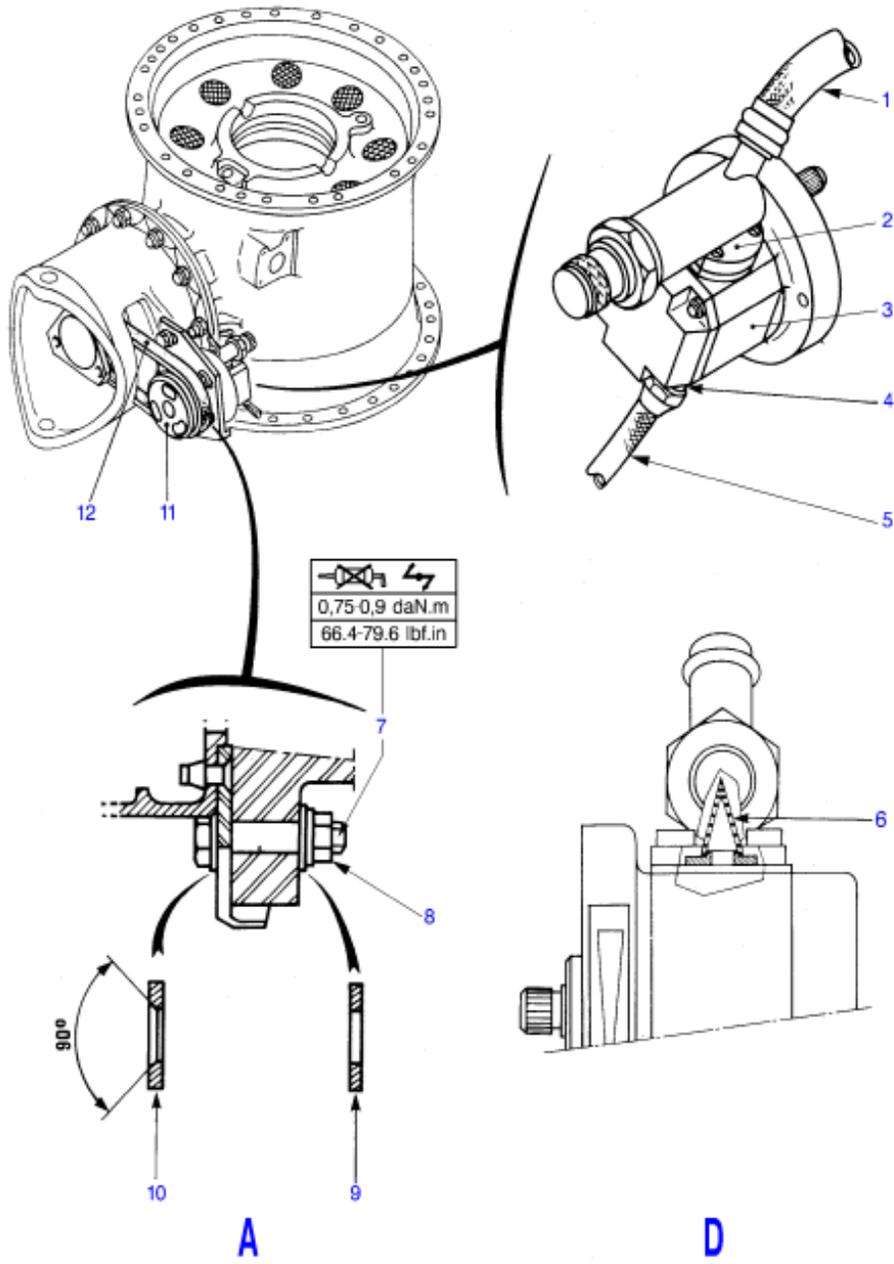
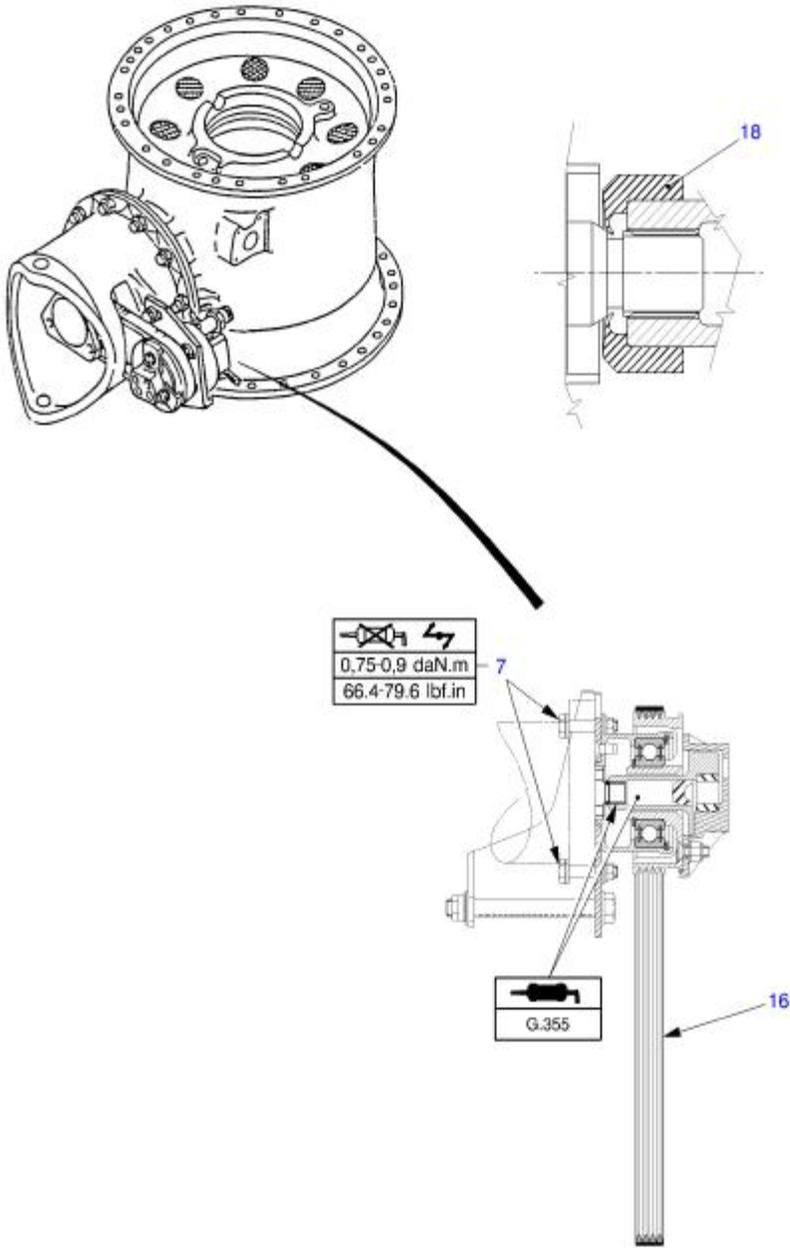


Fig. 39 Zonas de lubricación de la bomba



4.2.4 Verificación del impulsador de la bomba

1. Herramientas

- ▶ Ninguna

2. Materiales.

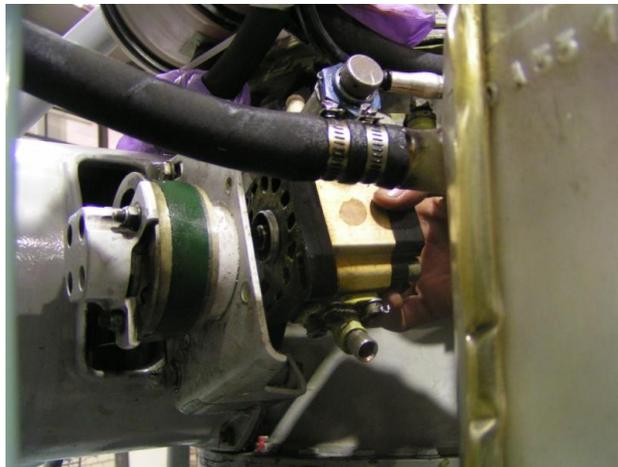
- ▶ Grasa G.355
- ▶ Pasta (White Spirit)

3. Pasos Preliminares

3.1 Engrasado del estriado del impulsador y verificación del balero (Ver Fig. 42)

- ▶ Remueva la banda
- ▶ Remueva la bomba hidráulica

Fig.40 Remoción de la bomba hidráulica



- ▶ Limpie, usando acetona y verifique los siguientes aspectos:
Eje del impulsador de la bomba.
Visualmente verifique la condición del estriado del eje del impulsador.
Verifique si existe amarre o ruido en el balero.

3.2 Criterios de rechazo o desecho del balero: Amarre o Ruidos principalmente.

- ▶ Engrase las ranuras del impulsador de la flecha.
- ▶ Aplique e inserte el conector hembra con abundante grasa G.355 o su equivalente.
- ▶ Instale la bomba hidráulica.
- ▶ Apriete y ajuste la tensión de la banda del impulsor.

3.3 Verificación del estriado de la bomba hidráulica.

- ▶ Remueva la banda.
- ▶ Haga una marca en la polea y en el montante de la bomba.
- ▶ Rote la polea de izquierda a derecha manualmente.

NOTA: El máximo desgaste permitido de 0.35 mm (0.13 in) corresponde a 1/3 de la profundidad del diente para un ángulo de juego de 6°30´.

Criterios de desecho o rechazo: La distancia medida entre las dos marcas no debe ser mayor a 4mm (0.157 in)

$$J \leq 4 \text{ mm (0.157 mm)}$$

5. Pasos finales.

- ▶ Cierre las compuertas de la caja de engranes principal (MGB)
- ▶ Remueva el equipo de acceso.

Fig.41 Localización de los componentes de la bomba

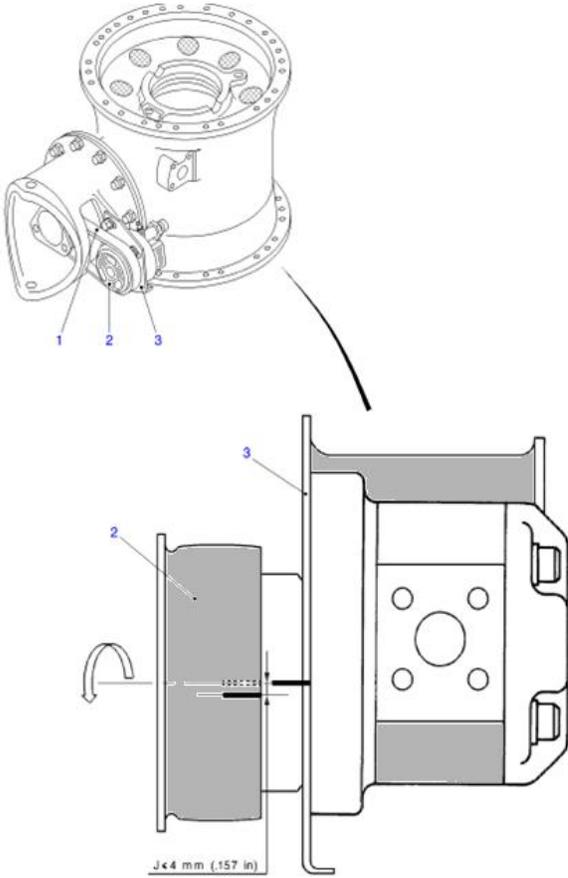
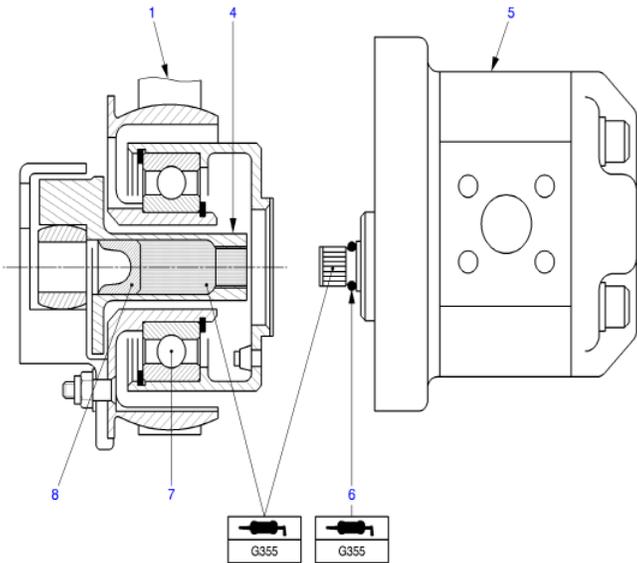


Fig.42 Verificación del impulsor de la bomba



Capítulo V:

Análisis de Resultados

5.1 Resultados de la Inspección

5.1.1 Corte de líneas de succión y distribución

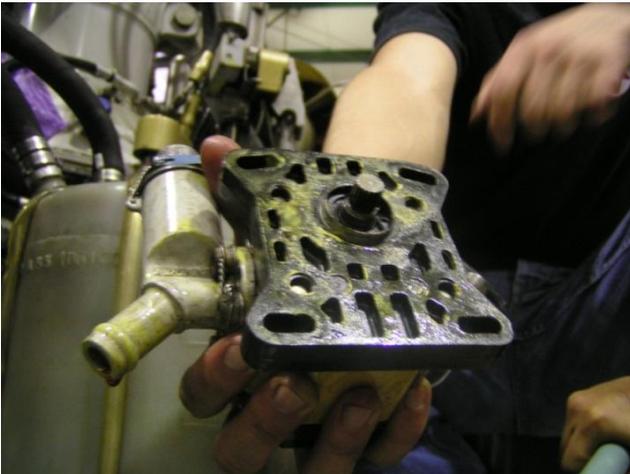
Fig. 43 Obturación de las líneas de conexión



Primeramente se removieron las dos mangueras conectadas a la bomba. Una fue la manguera de succión del fluido hidráulico del depósito, la cual se estranguló y se clausuró para evitar la fuga del líquido hidráulico. De igual manera se canceló la manguera de distribución, para la completa remoción de la bomba. Al realizar dichos procedimientos se verificó el estado de las mangueras, las cuales no presentaron agrietamientos o erosión.

5.1.2 Remoción de la bomba

Fig. 44 Bomba hidráulica desconectada



Cuidadosamente se realizó la remoción de la bomba cuidadosamente. Previo a este procedimiento se marcó la posición en la placa de soporte para su posterior instalación; con la finalidad de que en la instalación se acoplara perfectamente; alineada con la polea.

Al verificar el estado del piñón de la bomba se encontró desgaste y desprendimiento de material, por lo que surgió la necesidad de lubricarlo por falta de mantenimiento.

5.1.3 Consumibles utilizados en los procedimientos de mantenimiento

Fig. 45 Fluido hidráulico Aeroshell 41



Se hizo uso del fluido 41 AEROSHELL para alcanzar nuevamente los niveles óptimos del depósito del sistema hidráulico. Este cuenta con las especificaciones exactas de acuerdo al manual de mantenimiento del helicóptero. Sus características específicas son descritas en el Anexo I así como el documento que avala su autenticidad y lote de fabricación.

Fig. 46 Lubricante Dri Lube Plus



El Aerosol DRI LUBE PLUS se empleó para la lubricación del balero de la bomba de engranes. Este lubricante está hecho a base de 3% de sulfuro de molibdeno, el cual soporta altas revoluciones creando una película permanente anti-desgaste. Reemplazo el uso de grafito que se cristalizaba a altas temperaturas.

Las grasas discontinuadas son Grasa 8, 17, y 3MS. Sus características específicas son descritas en el Anexo II así como los documentos que sustentan lo antes descrito.

Fig. 47 Envase de Acetona pura



La acetona pura fue empleada para la limpieza de los componentes del sistema de acuerdo a lo indicado en el manual de mantenimiento. Es un agente menos agresivo para los componentes que están en contacto con el fluido hidráulico.

5.1.4 Mantenimiento de la Bomba

Fig. 48 Enmascaramiento de los puertos de conexión de la bomba



Se asilaron los puertos de conexión de la bomba y el piñón al aplicar el lubricante con el fin de evitar mezcla de fluido.

Fig. 49 Limpieza de los sujetadores de la bomba



Se elaboró la limpieza de la tornillería, rondanas planas, rondanas de presión y las tuercas de la bomba. Así mismo se realizó la limpieza de cavidades internas y de difícil acceso para su mantenimiento.

Fig. 50 Aplicación de aire comprimido a la bomba



Se llevó a cabo la aplicación de aire comprimido a la bomba, con el propósito de evitar la acumulación de agentes externos tales como grasa o polvo.

Fig. 51 Aplicación de DRI LUBE PLUS a la bomba



Se realizó la aplicación del recubrimiento DRILUBE PLUS. Esta operación se realizó al aire libre y con protección personal como son gafas, guantes y mascarilla, ya que el lubricante es altamente inflamable y tóxico para el ser humano.

Fig. 52 Remoción del enmascarado



La imagen muestra el desprendimiento del enmascarado previo a instalar la bomba.

5.1.5 Instalación de la Bomba

Fig. 53 Limpieza de la placa de soporte



Limpieza de la placa de soporte donde se monta la polea.

Fig. 54 Herramienta utilizada para la remoción e instalación



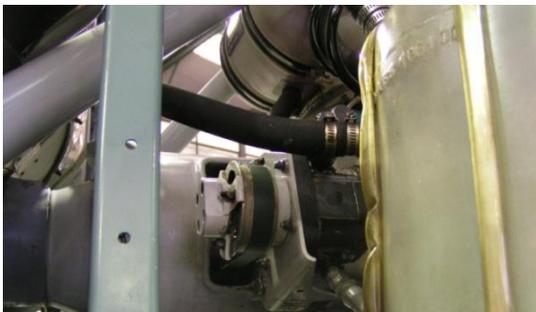
La matraca con un dado de 11mm y una llave española de 11mm para contra-vuelta se empleó para la instalación de la bomba.

Fig. 55 Instalación de la bomba



Se realizó la instalación de la bomba sin aplicar ninguna carga axial, es decir respetando las marcas señaladas previamente para su correcta colocación, así como el apriete adecuado de la tornillería. Verificó la tensión de la banda. Esta operación fue realizada sólo con el tacto, ya que no se cuenta con ningún tensiómetro en el laboratorio.

Fig. 56 Finalizado de la instalación de la bomba



Se realizaron tanto las conexiones de las mangueras de succión del depósito a la bomba y que se dirige al distribuidor

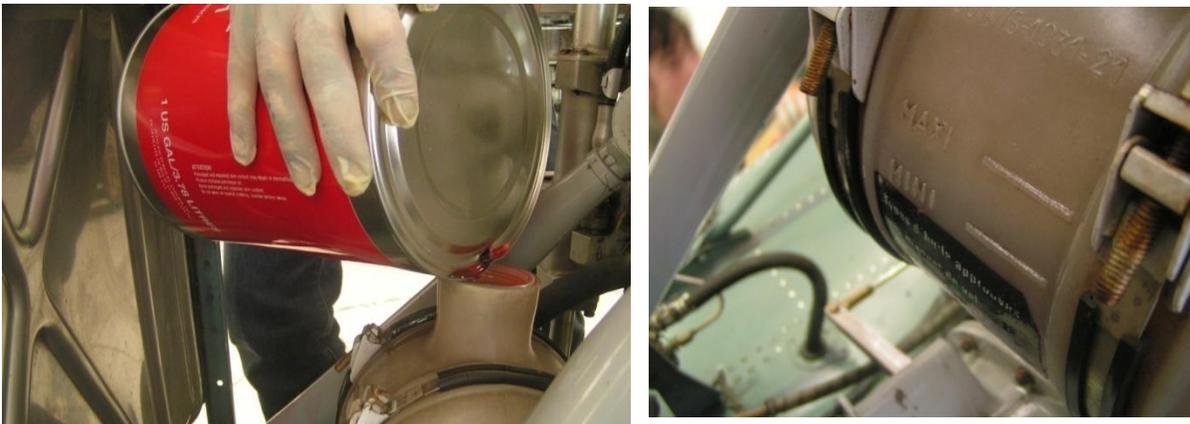
Fig. 57 Limpieza del filtro de respiración



Limpieza del filtro tipo malla del depósito del sistema hidráulico. Este presentó residuos de líquido hidráulico en la base del filtro, debido a la falta de mantenimiento del mismo.

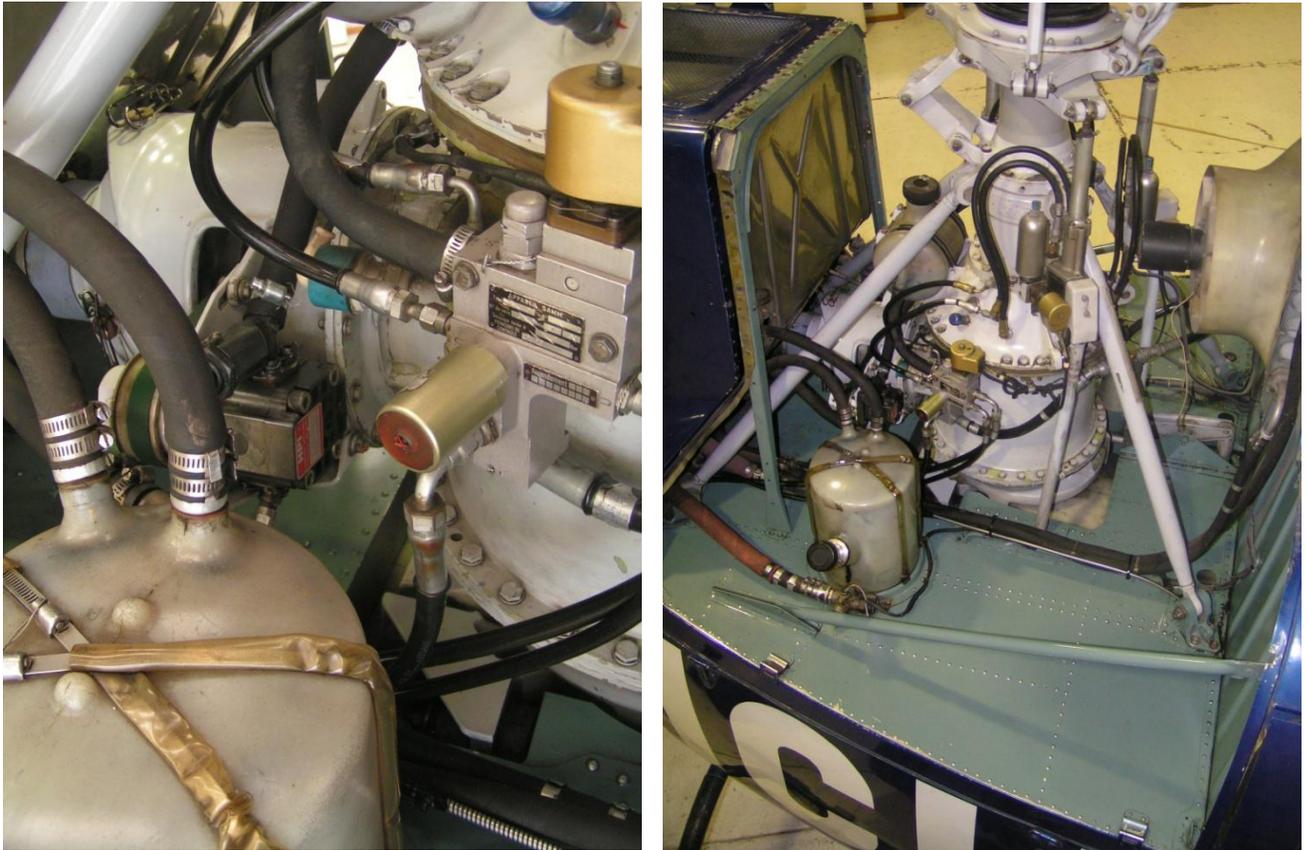
5.1.6 Optimización de niveles de hidráulico del Sistema, limpieza de la Transmisión Depósito y Tuberías

Fig. 58 Llenado del depósito hidráulico



Se llenó el depósito del sistema hidráulico con aproximadamente 800ml de fluido. Se verificó que no existiera ninguna fuga por parte de las conexiones de las tuberías o del mismo depósito. Esto realmente se comprobaría en vuelo; sin embargo se procedió al giro del rotor principal supervisando que la bomba no presentara ningún tipo de sonido, lo cual implicaría algún rozamiento debido a la incorrecta colocación del piñón o que la banda se encontrara con tensión excesiva.

Fig. 59 Estado final de la bomba y de los servo actuadores



Finalmente se efectuó la limpieza de la transmisión, mangueras y depósitos de aceite e hidráulico que podrían sufrir corrosión debido al fluido hidráulico.

5.2 Propuesta de operación: “Sistema externo para uso didáctico”

De acuerdo al análisis de resultados y a los procedimientos que se realizaron en la aeronave se concluyó que el cambio más conveniente que es posible realizar es el reemplazo de la bomba hidráulica ya que este es el principal componente que le transmite la presión al sistema por completo.

El problema medular que se tiene con la bomba hidráulica actual, que posee el sistema es que no cuenta con algún mecanismo que le transmita fuerza motriz ya que quien realiza ésta función en condiciones normales de operación es la flecha de la transmisión del motor de la aeronave.

Como se ha mencionado la propuesta radica en el cambio existencial de la bomba por una que cumpla las características y especificaciones técnicas como la que posee originalmente el sistema.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores aquí se expone un sistema auxiliar, con lo cual se exponen de igual manera los cálculos para elegir su sistema que impulsará a la bomba hidráulica.

a) Elección de la bomba de acuerdo a los parámetros requeridos

De acuerdo a la siguiente tabla, se realiza una comparación entre 2 modelos que aproximan las características de la bomba original, con esto podemos realizar la puesta en marcha del sistema.

Tabla 8. Características de las opciones de reemplazo de la bomba

Dispositivo	Fabricante	Presión pico (bar)	Max. Presión de trabajo(bar)	Max. Velocidad (RPM)	Flujo Nominal (L/min)	
					A 1500 rpm	A Max rpm
Bomba original	HPI	60	40	6125	6	
Observación: Esta bomba fue diseñada exclusivamente para el sistema hidráulico del helicóptero por lo que no existe en el mercado.						
Primera Opción Mod. 0200	HPI	125	105	5000	3	10
Observación: La bomba 0200 cumple los requerimientos de flujo, y sus características restantes se aproximan a los parámetros requeridos.						
Segunda Opción Mod. 1005	HPI	200	170	6000	7.68	30.7
Observación: Este modelo en particular, de acuerdo a sus gráficas mostradas, se aproxima a los parámetros de la original, teniendo en cuenta que el sistema funcionará sólo en tierra.						

b) Cálculo de la potencia requerida

Los datos obtenidos del catálogo de la empresa *Hydroperfect International*, esto demuestran que se puede obtener la presión necesaria para presurizar el sistema hidráulico, a la vez la bomba hidráulica necesita potencia externa por parte de un motor, cuya potencia se calcula a continuación.

Tabla 9. Datos de la bomba HPI modelo 1005

MOD.	CAPACIDAD		PRESION MAXIMA		VELOCIDAD		FLUJO NOMINAL				POTENCIA NECESARIA				PESO APROXIMADO	
	CC/re v	Plg3	Bar	PSI	Min. RPM	Max. RPM	A 1500 RPM		A Max. Vel		1000 RPM @ 100 Bar		A Max. Vel. Y Presión		Kg	Lbs
							l/min	Gal/mi n	l/min	Gal/ min	Kw	HP	Kw	HP		
100 5	5.12	0.30	200	290 0	500	6000	7.68	1.98	30.70	8.1 1	0.88	1.18	13.0 2	17.4 6	1.1	2.4

► Cálculo de la potencia a la entrada de la bomba

$$P_{ent\ bomba} = \rho_{Fluid\ 41} g h_{total}$$

Donde:

$$\rho_{Fluid\ 41} = 874\ Kg/m^3$$

$$g = 9.81\ m/s^2$$

$$h_{manguera} = 20\ cm = 0.20\ m$$

$$h_{dep\ ósito} = 13\ cm = 0.13\ m$$

$$h_{total} = h_{manguera} + h_{dep\ ósito} = 0.20\ m + 0.13\ m = 0.33\ m$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$P_{ent\ bomba} = (874\ Kg/m^3)(9.81\ m/s^2)(0.33\ m)$$

$$P_{ent\ bomba} = 2,829.40\ Pa = 2.8294\ KPa$$

Conversión de Pa a Bar:

$$2,829.40\ Pa = \frac{1\ Bar}{10^5 Pa} = 2.8294 \times 10^{-3} Bar$$

► Diferencia de presiones en la bomba

$$\Delta pp = P_{sal\ bomba} - P_{ent\ bomba}$$

$$\Delta pp = 50\ Bar - 2.8294 \times 10^{-3} Bar = 49.99\ Bar$$

► **Potencia entregada al fluido**

$$P_{fluido} = P_{ent bomba} = Q \Delta p = Q \Delta p$$

Donde:

$$\Delta p = 49.99 \text{ Bar}$$

Conversión de Bar a Psi:

$$49.99 \text{ Bar} = \frac{2900 \text{ Psi}}{200 \text{ Bar}} = 724.84 \text{ Psi}$$

$$Q = 7.68 \text{ l/min} = 2.02 \text{ gal/min}$$

Conversión de l/min a gal/min:

$$7.68 \text{ l/min} = 1.98 \frac{\text{gal}}{\text{min}} = 2.02 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Sustituyendo:

$$P_{fluido} = \left(2.02 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \right) \left(724.85 \text{ Psi} \left[\frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \right] \right) \left(\frac{\text{ft}^3}{7.48 \text{ gal}} \right) \left(\frac{\text{min}}{60 \text{ seg}} \right) \left(\frac{144 \text{ in}^2}{\text{ft}^2} \right) \left(\frac{\text{hp s}}{550 \text{ ft lb}_f} \right)$$

$$P_{fluido} = \mathbf{0.8541 \text{ Hp}}$$

► **Potencia que necesita la bomba para generar una presión de 50 Bar**

$$P_{input} = \frac{P_{fluido}}{\eta_{total}}$$

Donde:

$$\eta_{total} = \eta_{volumétrica} \times \eta_{mecánica} = 0.98 \times 0.65$$

$$\eta_{total} = \mathbf{0.637} \text{ (Dato presentado en la gráfica 2)}$$

$$\eta_{volumétrica} = 0.98 \text{ de la gráfica 3}$$

$$\eta_{mecánica} = 0.65 \text{ de la gráfica 4}$$

Sustituyendo:

$$P_{input} = \frac{\mathbf{0.8541 \text{ Hp}}}{\mathbf{0.637}} = \mathbf{1.34 \text{ Hp}}$$

► **Volumen de aceite por revolución entregada de la bomba**

$$V = \left(2.02 \frac{l}{min}\right) \left(\frac{min}{1500 rev}\right) \left(\frac{231 in^3}{gal}\right) = 0.31 \frac{in}{rev}$$

► **Cálculo realizado con las fórmulas de las gráficas**

$$P(Hp) = \frac{G.P.M. \times Psi}{1714 \times \eta_{total}} = \frac{2.02 \frac{gal}{min} \times 724.85 psi}{1714 \times 0.637} = 1.34 Hp$$

Conversión a Kw:

$$1.34 Hp = \frac{0.746 Kw}{1 Hp} = 0.99 Kw \approx 1 Kw$$

► **Cálculo del par torsional**

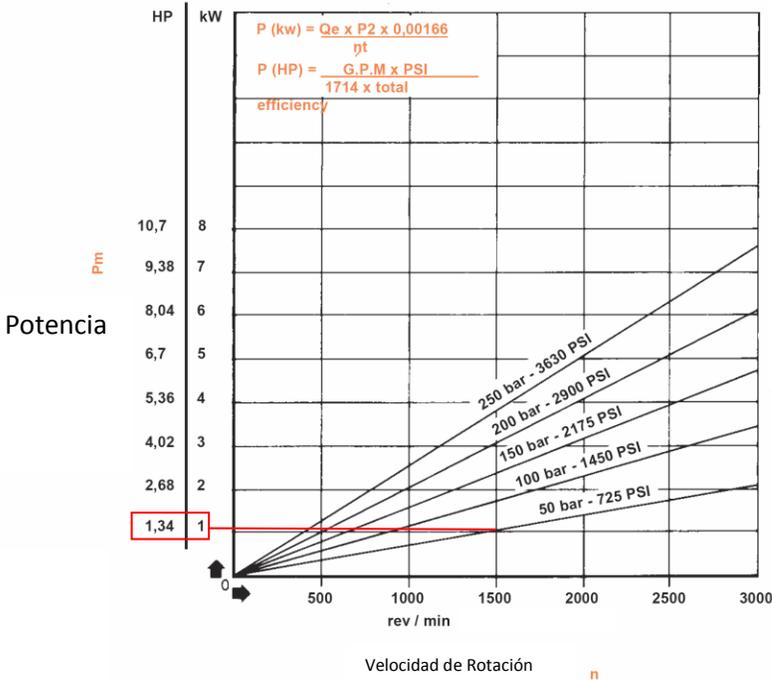
$$Par\ torsional = \frac{1.56 \times Q \times P}{1000 \times \eta_{mechanical}} = C (m. daN)$$

$$Par\ torsional = \frac{1.56 \left(5.12 \frac{cm^3}{rev}\right) (50 Bar)}{1000 \times 0.65} = 0.6144 m. daN = 4.53 lb ft$$

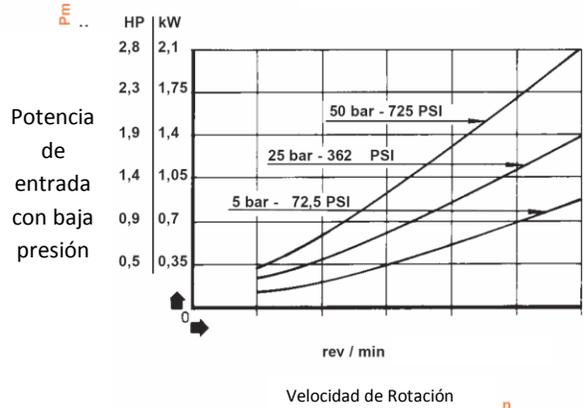
Conversión de m. daN a lb ft:

$$0.6144 m. daN = \frac{71.53 lb ft}{9.7 m. daN} = 4.53 lb ft$$

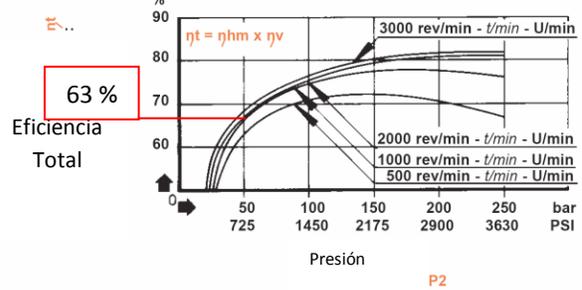
Gráfica 5



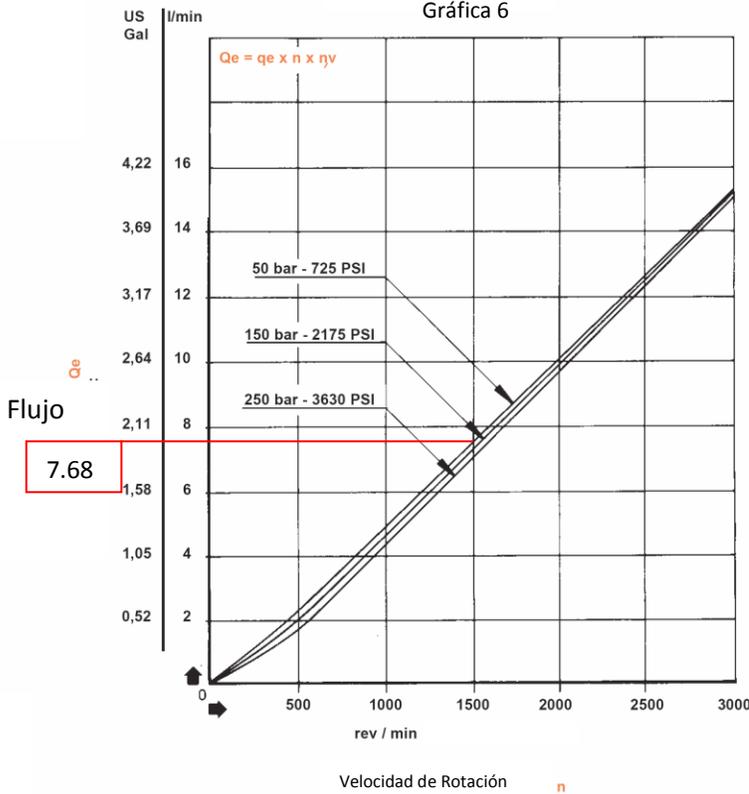
Gráfica 1



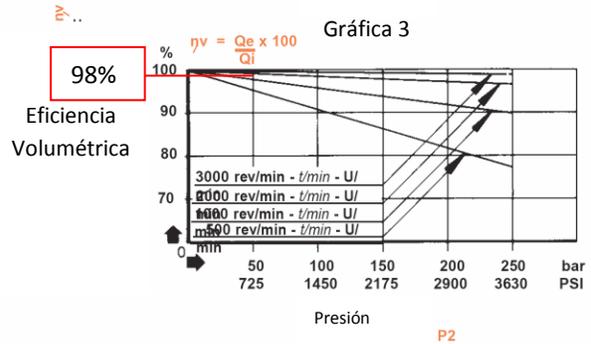
Gráfica 2



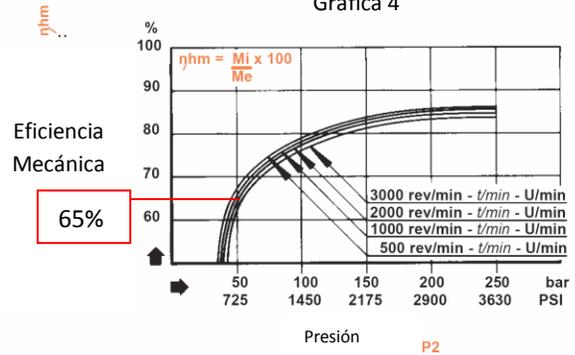
Gráfica 6



Gráfica 3



Gráfica 4



Capacidad exacta: 0,30 cc/pulg

La simbología está de acuerdo a la norma ISO 4391

Bomba
hidráulica

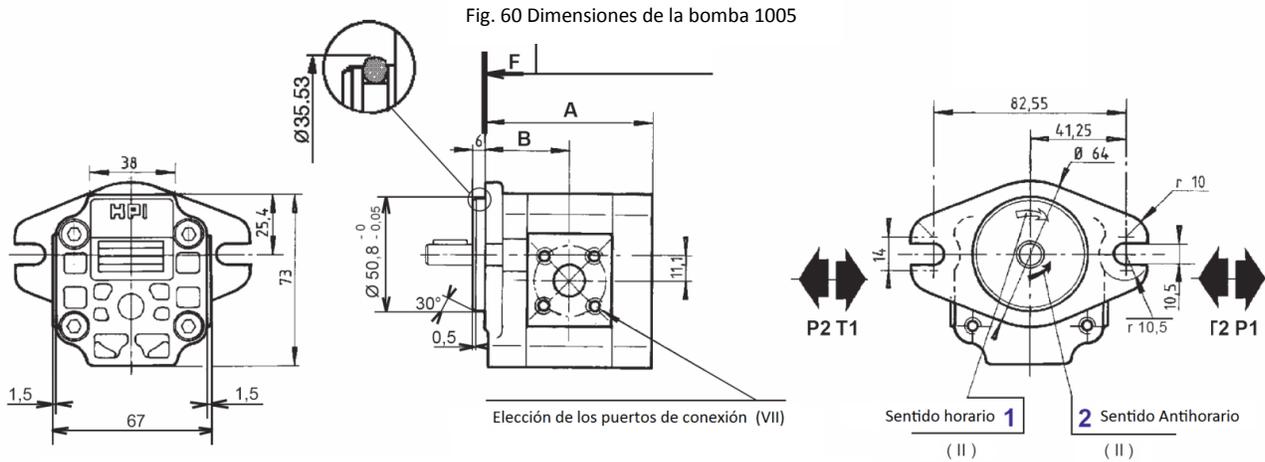
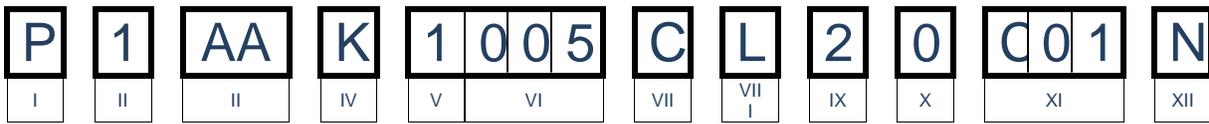
Serie

1 ECO

Modelo

1005

Dimensiones y clasificación



Nota: Todas las medidas declaradas en este dibujo están expresadas en mm.

De acuerdo al catálogo de *Hydroperfect International* y el sistema de clasificación que utiliza, se tienen la especificación física, de instalación y conexión de la bomba modelo 1005.

I Tipo Bomba (P)

II Dirección del sentido en que gira (1 Sentido horario)

III Número de pestañas para su instalación (AA 2 Barrenos)

IV Tipo de frente del cuerpo de la bomba (K Indica una junta delgada)

V Tipo de serie en base a los modelos manejados por HPI (Serie 1)

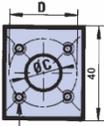
VI La capacidad de la bomba en CC/rev (005 CC/rev, las dimensiones de la bomba varían de acuerdo a la capacidad, ver tabla)

Tabla 10. Dimensiones de la bomba de acuerdo a su capacidad

Elección de la capacidad (VI)	Dimensiones	
	A	B
001		
002	71,8	35,9
003		
004		
005	81,5	40,7
006		

VII Elección de los puertos de conexión (C, que indica la necesidad de un dispositivo extra para conexión de la línea de succión y alimentación, ver tabla)

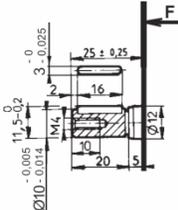
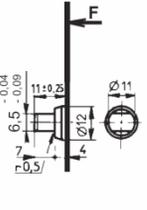
Tabla 11. Elección de la posición de los puertos de

Elección de los puertos de conexión (VII)	Capacidad (VI)	Entrada (T)			Salida (P)			Conexiones recomendadas (para una velocidad de 1500 rev / min)	
		ØC	D	E	ØC	D	E	Entrada (T)	Salida (P)
C (Cuadrado)  M6 Profundidad Eléctrica 13	001 + 006	14	30		14	30		1001 + 1003 1004 + 1006	1 / 4 " BSP N: 1.500292 V: 1.504770 3 / 8 " BSP N: 1.500293 V: 1.505027 1 / 4 " BSP N: 1.500292 V: 1.504770

VIII Parte posterior del cuerpo (L, no tiene ningún puerto de conexión en la parte posterior)

IX-X Indica el tipo de eje para el funcionamiento de la bomba (20 de acuerdo a la tabla)

Tabla 12. Elección del eje de arrastre de acuerdo al torque proporcionado

Elección del eje de arrastre	
20 (IX - X) C01 (XI)	40 (IX - X) C02 (XI)
	
Max. torque transmitido 2,5 m.daN	Max. torque transmitido 3 m.daN

XI Código único del eje (C01)

XII Sello del eje (N, es un sello de Nitrile)

c) Elección del dispositivo impulsor de la bomba hidráulica

El cálculo anterior ayuda a determinar qué tipo de dispositivo impulsor de la bomba hidráulica va a ser elegido como parte de la propuesta, a continuación se indican las características con las que debe de contar dicho dispositivo impulsor.

Tabla 13. Motores Monofásicos Jaula de Ardilla, aislamiento clase B 4 polos

Potencia [Hp]	Tipo	No. Catalogo	Peso [Kg]	Velocidad Nominal [r.p.m.]	Tensión Nominal [Volt]	Corriente Nominal [A]	Factor de Servicio	Corriente a F.S. [A]	Longitud [mm]
1.0	1RF3 056- 4YC4 1	30002066	15.4	1745/1720	127/220	16/7.4	1.15	16.9/8.2	313
1.5	1RF3 057- 4YB41	30003716	14.3	1740/1720	127/220	13.8/7.2	1.15	15.2/8.3	313
2	1RF3 058- 4YB41	30003717	15.4	1730/1710	127/220	18.2/9.6	1.0	-	313

Observaciones: Este tipo de motor está diseñado con un alto par de arranque y baja corriente de arranque. Para aplicaciones que requieran arranque con carga, tales como: compresores de aire, compresores de refrigerante, bombas para mover líquidos, maquinas, herramientas.

d) Cálculo del par motor (M) y carga ejercida (G) por el motor monofásico de jaula de ardilla

En base al cálculo de la potencia necesaria por la bomba HPI modelo 1005

$$P_{input} = 1.34 \text{ Hp} = 0.99 \text{ Kw}$$

► Cálculo de la carga del motor (G)

$$P_{input} = (G)(v)$$

Donde:

$$P = \text{Potencia en } \text{Kgf}m/s$$

$$G = \text{Carga en Kgf}$$

$$v = \text{Velocidad en } m/s$$

$$1 \text{ Kw} = 102 \text{ Kgfm/s}$$

Despejando y sustituyendo:

$$G = \frac{P}{v} = \frac{0.99 \text{ Kw}}{(1500)(1.047198^{-1})} = 6.3025 \times 10^{-3} (102 \text{ Kgfm/s}) = 0.6428 \text{ Kgfm}$$

► Cálculo del par motor (M)

$$M = 9.56 \frac{(G)(v)}{n} = 9.56 \frac{(0.6428)(157.07)}{1500} = 9.56(0.06730) = 0.6435 \text{ Kgfm}$$

Donde:

M = Par motor en Kgfm

G = Carga Kg

v = Velocidad en m/s

n = Velocidad de rotación en m/s

e) Dimensiones del motor de jaula de ardilla

Fig. 61 Motor Monofásicos Jaula de Ardilla, aislamiento clase B 4 polos

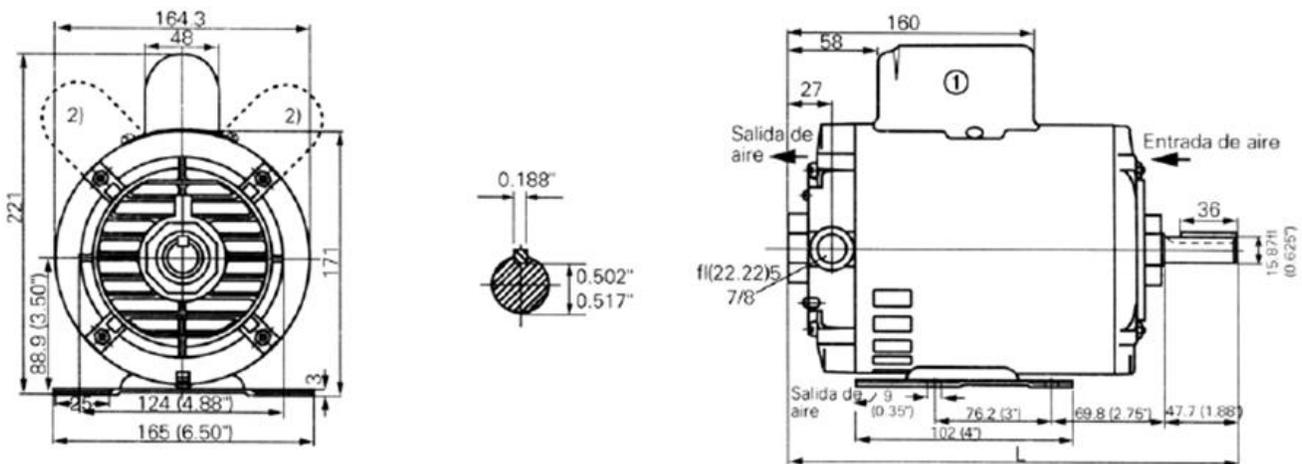


Tabla 14. Cableado y Protecciones para el motor Jaula de Ardilla (Voltaje de Operación 115/127v)

Capacidad del motor en [Hp]	Corriente Nominal [Amp]	Capacidad del Interruptor [Amps]	Calibre mínimo cable@20 mts
1	12.4	30	10 thw
1.5	15.5	35	10 thw
2	18.4	40	10 thw
3	24	50	8 thw

f) Acoplamiento necesario para la transmisión de movimiento a la bomba

► Dimensiones de la reducción del acoplamiento

Fig. 62 Acoplamiento de acero inoxidable marca Baumer

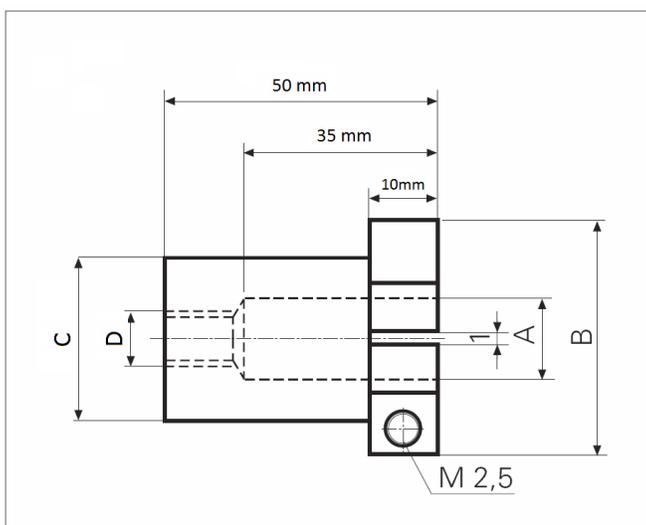


Tabla 15. Dimensiones del acoplamiento

Sigla	Dimensión (mm)
A	15.87
B	40
C	30
D	10

5.3 Costos de los consumibles y del sistema propuesto

Esta Tabla describe los componentes mostrados en el esquema anterior, así como el costo de cada uno de los componentes necesarios de la propuesta.

Tabla 16. Descripción de los componentes de la figura 66

ITEM	NOMBRE Y MARCA	DESCRIPCIÓN	COSTO C/IVA (pesos mexicanos)* Precio al tipo de cambio \$13.29 Pesos 29/06/09
A	Motor Eléctrico Siemens	Motor Jaula de Ardilla a Prueba de Goteo Asilamiento Clase B Con potencia de 1.5 HP	\$1,370.10
B	Acoplamiento de ejes Baumer	Acoplador reductor de ejes de acero inoxidable	\$ 2,500.00
C	Perfil de aluminio	Perfil de aluminio ADR 648 con una medida de 4" x 1/4" x 4"	\$30.00
D	Tornillos de titanio (x 2)	Kit 4 tornillos M10x45mm. cabeza hexagonal con balona de TITANIO gr. 5 Anodizados en color ANTRACITA Para sujeción de la bomba con el perfil de aluminio.	\$58.00
E	Bomba hidráulica de engranes Hydroperfect International	Bomba hidráulica de desplazamiento positivo que proporciona una presión de 50 Bar @ 1500 RPM's	\$2,869.00
F	Tornillos de titanio (x 2)	Kit 4 tornillos M8x45 mm. cabeza hexagonal con balona de TITANIO gr. 5 Anodizados en color ANTRACITA Para sujeción del perfil de aluminio a la placa.	\$58.00
G	Tornillos de titanio (x 4)	Kit 4 tornillos M9x45 mm. cabeza hexagonal con balona de TITANIO gr. 5 Anodizados en color ANTRACITA Para sujeción del motor a la placa a la placa.	\$ 116.00
H	Tornillo hexagonal ASTM A307 (x4)	Tornillo M12x40 de acero medio al carbono para sujeción de la placa al fuselaje.	\$48.00
I	Placa de aluminio	Placa de aluminio con una dimensión de 450 mm x 200 mm x 25.4 para soporte del motor y de la bomba hidráulica.	\$600.00

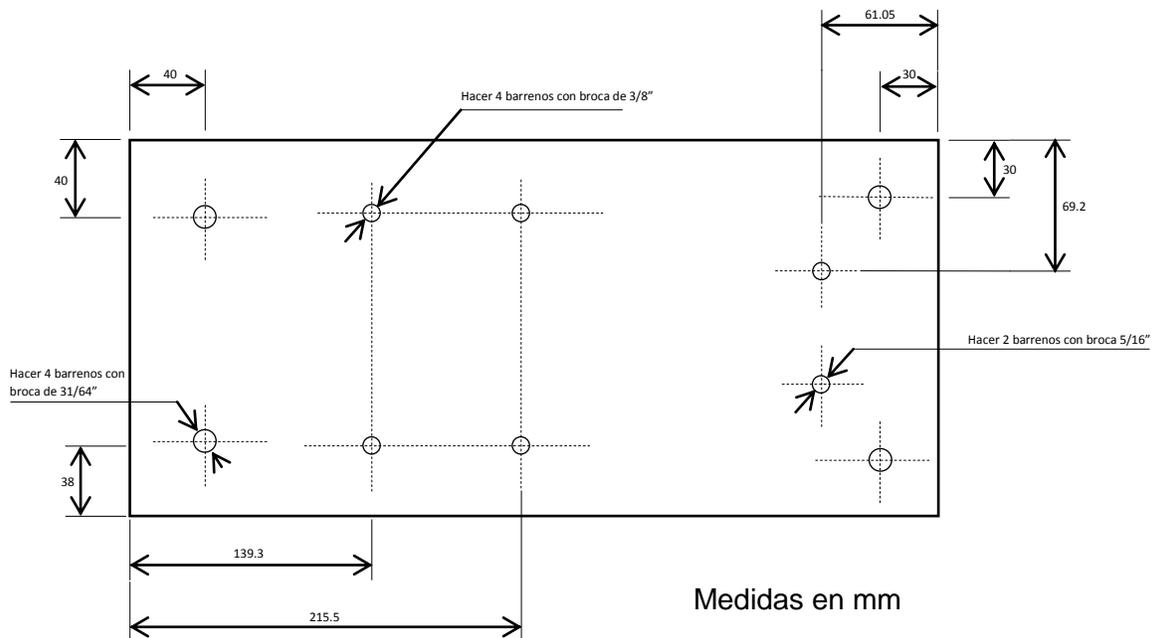
Elementos también contemplados en la instalación y la inspección		
Variadores de frecuencia (AFD Adjustable Frequency Drive)	Estos variadores mantienen la razón Voltaje/ Frecuencia (V/Hz) constante entre los valores mínimo y máximos de la frecuencia de operación. Para regular las RPM del motor eléctrico.	\$550.00
Manguera de alimentación de la bomba	Manguera de 3/4" con una longitud de 50 cm.	\$398.7
Tubería de descarga	Tubería de 7/8" con una longitud de 25 cm.	\$332.25
Cableado CONDULAC para conexión del motor jaula de ardilla	Cable Número 10 THW con una longitud de 10 m	\$105.00
Breaker Siemens EG	Energiza el motor eléctrico	\$332.25
AEROSHELL Fluid 41	Para completar el nivel del hidráulico en el depósito Cantidad 3.80 l	\$345.00
Dri Lube Plus	Para lubricación de la bomba HPI que está instalada en el helicóptero. Cantidad 295 gr en aerosol	\$277.00
Costo total del sistema externo propuesto		\$9,971.3

5.4 Planos e instrucciones de instalación

A continuación se describen los pasos necesarios para realizar la instalación del sistema propuesto, así como los planos de instalación con las medidas planificadas para lograr un buen desempeño por parte de cada uno de los componentes.

- a) Al Ítem (I) realizar los barrenos de acuerdo al siguiente diagrama, respetando las medidas correspondientes.

Fig. 63 Diagrama de posición de los barrenos



NOTA: De preferencia realizar los barrenos en un taladro de banco para mayor precisión.

- b) El ítem (C) consta del perfil de aluminio, este deberá ser barrenado de igual forma que el ítem (I) de acuerdo al diagrama siguiente, así como también será necesario el uso de una máquina fresadora para realizar la caja que embona con la bomba HPI.

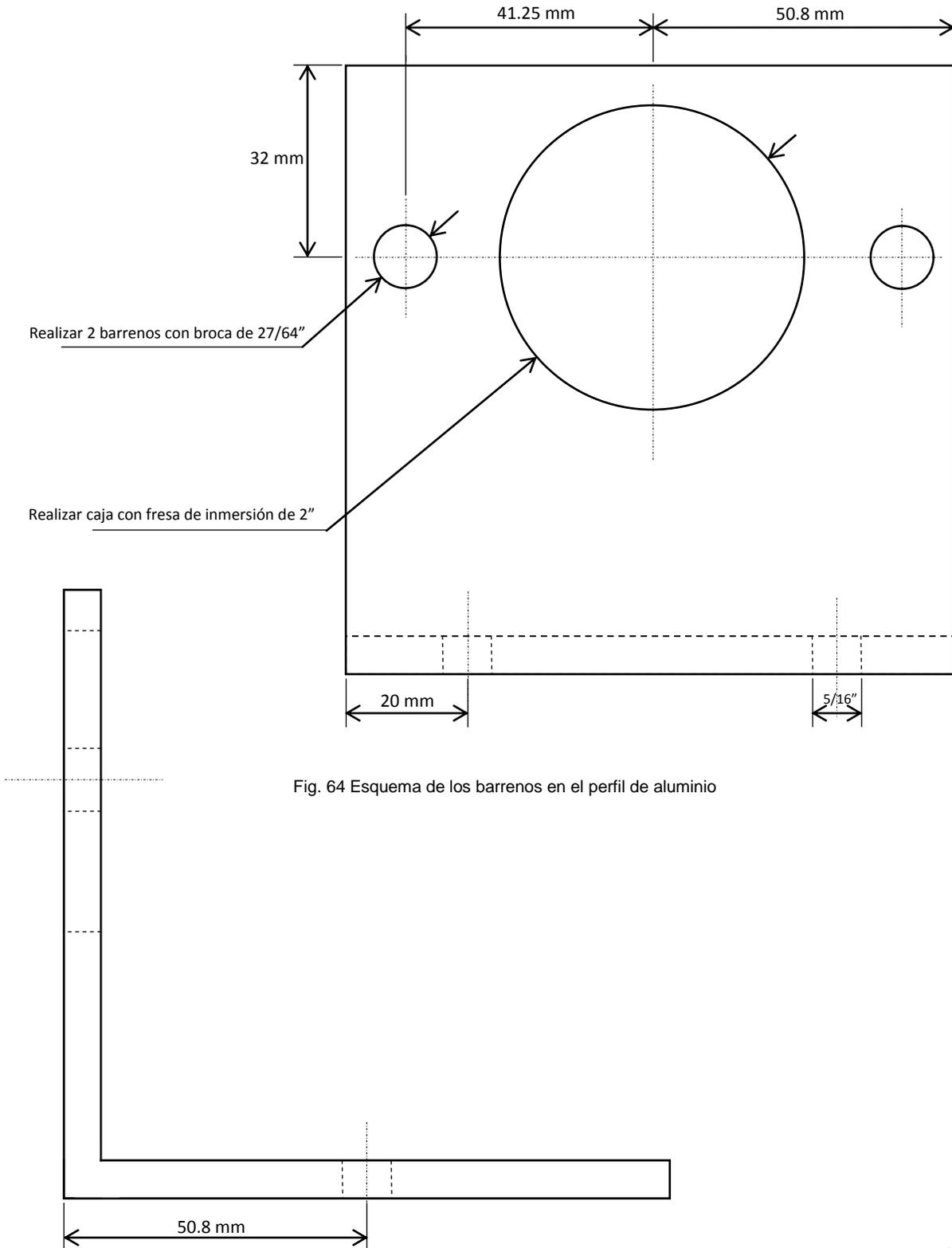
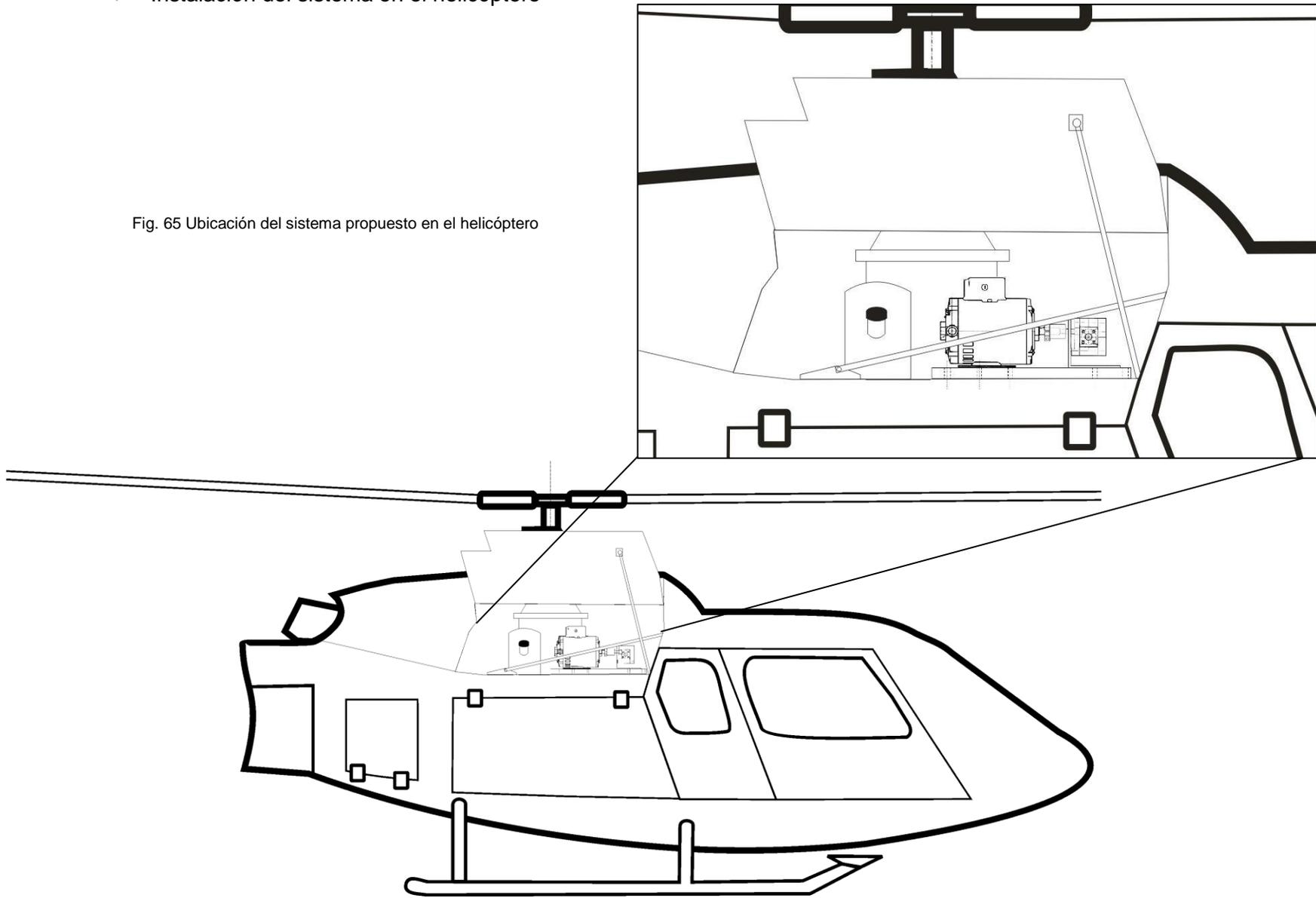


Fig. 64 Esquema de los barrenos en el perfil de aluminio

- c) Al tener los elementos anteriores se continuará con la realización de los barrenos en la estructura de la aeronave. Referirse a la sección 4.2.1 para la apertura y remoción de cubiertas.
- d) Colocar el ítem (I) dentro del espacio de la transmisión, con un taladro eléctrico y las brocas usadas con anterioridad, realizar los barrenos necesarios. La placa con los barrenos servirá de plantilla para saber la ubicación de barrenos a realizar a la lámina de la aeronave.
NOTA: Se debe tener mucha precaución a la hora de realizar estos barrenos, ya que se está cerca de la transmisión del helicóptero.
- e) Los ítems (G) serán los primeros en ser colocados, para esto necesitamos abrir el compartimiento de carga del lado derecho.
Los tornillos (G) serán colocados de forma aleatoria, usando para el tornillo una matraca, con dado de 3/8 y para la tuerca una llave española de 3/8.
- f) Colocar el Ítem (A) sobre la placa, este previamente probado y con las conexiones ya instaladas (Variadores de frecuencia, Cableado y Breaker). Alinear el motor a los barrenos indicados y utilizar la llave española de 13/32 en la parte superior y la matraca con un dado de la misma medida en la parte inferior. Apretar hasta donde sea conveniente.
- g) Instalar el Ítem (B) al eje del motor, apretar cuanto sea necesario.
- h) Presentar el Ítem (C) y alinearlos con los barrenos correspondientes. Usar el mismo procedimiento anteriormente mencionado para fijar los componentes. Usar llave 5/16 y dado de la misma medida para apretar.
- i) Colocar el Ítem (E) de frente al motor, embonar el ítem (E) con el perfil y alinear con los barrenos hasta que entre en el acoplamiento Ítem (B) y quede bien sujeto. Fijar el ítem (E) mediante los ítems (D). Utilizar la llave y el dado correspondiente.
- j) Por último conectar la manguera de alimentación que va del depósito hidráulico a la entrada del ítem (E), mediante abrazaderas comerciales. Al igual que se conectara la tubería de descarga desde el Ítem (E) al distribuidor del líquido hidráulico.

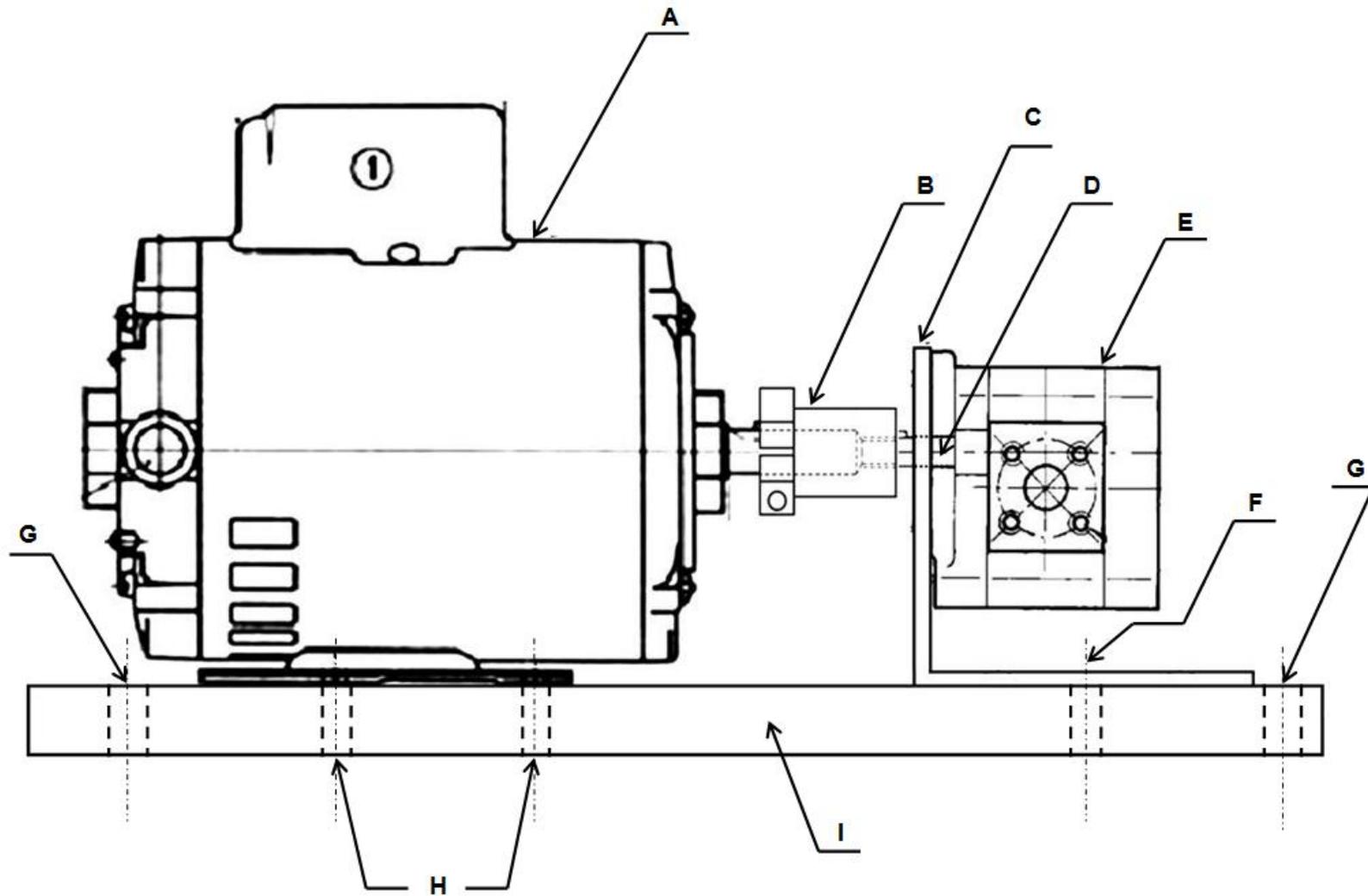
► Instalación del sistema en el helicóptero

Fig. 65 Ubicación del sistema propuesto en el helicóptero



► Instalación de los componentes en la placa

Fig. 66 Componentes del sistema de uso didáctico



Conclusiones

Con lo desarrollado en los capítulos, se buscó evaluar el sistema hidráulico del helicóptero **Ecureil AS350B**, el cual se encontró en un estado aceptable de acuerdo a los manuales del equipo.

Las tareas de inspección interpretadas del manual fueron la base para lograr el desarrollo y establecer los límites con el fin de ejecutar un mantenimiento adecuado.

Dentro de las limitantes que se tuvieron, estas mismas ayudaron a buscar y proponer la alternativa de solución a la habilitación del sistema.

La alternativa de habilitación del sistema es plenamente posible de acuerdo al análisis efectuado ya que se realizaron los cálculos para determinar los parámetros de la bomba y del motor eléctrico, siendo los resultados positivos y congruentes para poder habilitar el sistema hidráulico de manera didáctica pero así mismo apegada al desempeño del mismo en condiciones normales de operación.

En lo que a costos se refiere, se concluye que es factible realizar la habilitación si se considera que el plantel aporte los recursos materiales y económicos necesarios para lograr el proyecto.

Recomendaciones

Recomendaciones para proyectos subsecuentes

El desarrollo del presente trabajo puede dar cabida a posteriores investigaciones. Aquí se presentan algunas recomendaciones para el desarrollo de futuros proyectos acerca de éste tópico, se relacionen con el mismo, de manera significativa y concisa.

- ▶ Delimitar concretamente el alcance y definir los objetivos que se pretendan cubrir.
- ▶ Informarse mediante los medios indicados, acerca de la factibilidad del proyecto en todos los aspectos.
- ▶ Realizar un planteamiento del problema que se pretenda resolver y elaborar una planeación para abordarlo de manera correcta y a tiempo.
- ▶ En éste caso en particular, consultar los trabajos desarrollados sobre el helicóptero para tener referencias claras.
- ▶ Medir y evaluar los tiempos de trabajo para que de manera paulatina mediante un cronograma, para ir alcanzando las metas propuestas.
- ▶ Si se pretende continuar con éste proyecto en específico, se recomienda verificar el desarrollo completo del trabajo y realizar los pasos anteriormente citados.
- ▶ Si se desea habilitar el sistema hidráulico y aún no está operable el motor, se recomienda efectuar la propuesta de habilitación del sistema auxiliar citado en el presente trabajo y las actividades mencionadas en el desarrollo del mismo.
- ▶ Finalmente se recomienda ampliamente efectuar el cambio de las tuberías del sistema ya que estas presentan marcas de envejecimiento y erosión por tiempo.

Bibliografía

Libros utilizados

- ▶ OÑATE, Antonio Esteban (1992). *Energía Hidráulica*. Madrid, Paraninfo
- ▶ CREUS, Solé Antonio (2007). *Neumática e hidráulica*. México Barcelona, Alfaomega
- ▶ WHITE, Frank M. (2004). *Mecánica de fluidos* (5a Ed.) España, McGraw-Hill
- ▶ MATAIX, Claudio (1982). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. México, Alfaomega
- ▶ POTTER, Merle C. (2002). *Mecánica de fluidos*. México, Thomson
- ▶ MARTÍNEZ, Rueda Jesús (2007). *Sistemas eléctricos y electrónicos de las aeronaves*. Capítulo 6 componentes del sistema eléctrico de las aeronaves, electroválvulas (pp 207-208). España, Thomson-Paraninfo
- ▶ GILES, Ranald V. (1994). *Mecánica de los fluidos e hidráulica* (3a Ed.). Madrid, McGraw-hill

Páginas web consultadas

- ▶ Hydroperfect International, Catálogo de bombas (2009). Disponible en: <http://www.hpicanada.com/>
- ▶ Olagorta, Bombas de engranes (Abril 2009). Disponible en: http://www.olagorta.com/bombas_de_engranes.htm
- ▶ Hidráulica Niche, Clasificación de componentes hidráulicos. Disponible en: <http://siticioniche.nichese.com/clases-hidra.html>
- ▶ Universidad Politécnica de Madrid, Elementos y sistemas del helicóptero. Disponible en: <http://ocw.upm.es/ingenieria-aeroespacial/helicopteros/otros-recursos/>

- ▶ EATON CORP, Catálogo de bombas (2009). Disponible en:
<http://www.eaton.com/EatonCom/Markets/Hydraulics/ProductsCategory/Pumps/index.hht>
- ▶ OLAER-OILTECH IBÉRICA, Catálogo de acumuladores (2009). Disponible en:
<http://www.olaer.es/>
- ▶ PARKER, Catálogo de ensamble de tuberías y recomendaciones de mantenimiento. Disponible en: <http://www.parker.com/portal/site/PARKER/>

Manuales consultados

EUROCOPTER AS 350 PILOT TRAINING MANUAL (Versión impresa)

EUROCOPTER MAINTENANCE MANUAL (Versión electrónica)

EUROCOPTER MASTER SERVICE MANUAL (Versión electrónica)

EUROCOPTER STANDAR PRACTICE MANUAL (Versión electrónica)

***Anexo I: Aeroshell fluid 41
Especificaciones técnicas y
certificado de material***

Características y especificaciones técnicas de los consumibles

Fluido hidráulico

Fluido Aeroshell 41

Es un aceite hidráulico mineral hecho para un alto nivel de limpieza y que posee propiedades mejoradas. El fluido Aeroshell 41 contiene aditivos los cuales le otorgan excelente fluidez a bajas temperaturas así como características excepcionales anti desgaste, inhibición de corrosión- oxidación y estabilidad de corte. Además posee desactivadores de metal e inhibidores de espuma para el alto índice de viscosidad del fluido con el fin de mejorar el desempeño en las aplicaciones hidráulicas. El fluido Aeroshell 41 es capaz de operar en un amplio rango de temperaturas y es de color rojo.

Aplicaciones

El fluido Aeroshell 41 está destinado para usarse como un fluido hidráulico en todas las aplicaciones en aeronaves modernas que requieren un tipo de fluido mineral. Éste líquido es particularmente recomendado donde debe hacerse uso de un fluido extremadamente limpio, por lo que puede contribuir en mejorar la confiabilidad de los componentes. De igual manera puede utilizarse en sistemas de aeronaves que operen sin presurización entre -54°C y 90°C y con presurización entre -54°C y 135°C.

El fluido 41 es compatible con los fluidos Aeroshell 4, 31, 51, 61 y 71.

El uso de solventes clorados no debe ser usado para la limpieza de los componentes que utilicen éste tipo de fluidos. Los residuos de los solventes contaminan el fluido hidráulico y pueden provocar corrosión.

Especificaciones.

Estados Unidos de América	Aprobado MIL-PRF-5606H* (ambos U.S y producción europea)
Británica	Aprobado DEF STAN grado 91-48 superlimpio*(producción europea únicamente)
Francesa	Aprobado DCSEA 415/A
Rusa	Análogo a AMG-10
Código NATO	H-515*(equivalente a H-520)
Servicio común de designación	OM-15* (equivalente a OM-18)

Tabla de especificaciones técnicas del fluido hidráulico

Propiedades	MIL-PRF-5606H	Típico	
		U.S	Europeo
Tipo de aceite	Mineral	Mineral	Mineral
Viscosidad cinemática mm ² /s	@100°C	4.90 min	6.13
	@40°C	13.2 min	15.68
	@-40°C	600 máx	384
	@-54°C	2500 máx	1450
			2300
Índice de viscosidad	-	214	Más de 200
Punto de inflamación	82 min	104	105
Temperatura de auto ignición	-	230	230
Densidad relativa @15.6/15.6°C	-	0.874	0.87
Color	Rojo	Rojo	Rojo



CERTIFICATE OF ANALYSIS REPORT

November 15, 2007

Product: AEROSHELL FLUID 41 Lot No.: 7432
 Specification No.: MIL-PRF-5606H, AM3
 Approval No.: MLB 06-07 25OCT06
 Date of Manufacture: October 23, 2007 Retest Date: 3 YEARS

PETROLEUM HYDRAULIC FLUID

TESTS	RESULTS
ASTM D130 COPPER CORR AT 135C FOR 72 HRS	19
COLOR, VISUAL	RED
ASTM D1500 COLOR TEST - COMPARISON TO STANDARD	PASS
ASTM D1500 COLOR TEST - BASE OIL	<0.5
ASTM D6304 WATER CONTENT BY COULOMETRIC KF TITRATION, ppm	64
ASTM D287 SPECIFIC GRAV - BASE OIL	0.8702
ASTM D4052 API GRAVITY BY DIGITAL DENSITY METER	30.86
ASTM D4172 4-BALL SCAR AT 167°F : 40kg : 1200 RPM, mm	0.53
ASTM D664 ACID NUMBER, mgKOH/g	0.01
ASTM D664 ACID NUMBER - BASE OIL, mgKOH/g	0.02
ASTM D892 FOAM SEQ I Initial, mL	30
ASTM D892 FOAM SEQ I Final, mL	0
ASTM D93 PMCC FLASH POINT - BASE OIL, °C	90
ASTM D93 PMCC FLASH POINT, °C	94
ASTM D972A EVAPORATION AT 71°C : 6HRS OIL BATH, mass %	13
ASTM D97 POUR POINT, °C	<-69
ASTM D97 POUR POINT - BASE OIL, °C	-63
FTM 3458 LOW TEMPERATURE STABILITY AT -54°C/72HRS	PASS
ASTM D445 KINEMATIC VIS AT -40°F(°C), cSt	424
ASTM D445 KINEMATIC VIS AT -54°C, cSt	1829
ASTM D445 KINEMATIC VIS AT 100°C, cSt	5.09
ASTM D445 KINEMATIC VIS AT 40°C, cSt	13.6
POUNDS PER GALLON	7.255
MATERIALS	CONFORMS
FTM 3012 HIAC 5-15 MICRON SIZE, count/100 mL	843
FTM 3012 HIAC 16-25 MICRON SIZE, count/100 mL	94
FTM 3012 HIAC 26-50 MICRON SIZE, count/100 mL	37
FTM 3012 HIAC 51-100 MICRON SIZE, count/100 mL	5
FTM 3012 HIAC 100+ MICRON SIZE, count/100 mL	1
GRAVIMETRIC ANALYSIS, mg/100 mL	0.0
ASTM D5185 BARIUM CONCENTRATION BY ICP-AES, ppm	0
FTM 3603 L-SWELL AT 158°F (70°C) : 168 HRS, wt% WORKMANSHIP	26.06
	PASS

This Batch has been Tested, Inspected,
 and is in Compliance with the Specification
 Requirements of MIL-PRF-5606H, AM3

Product: AEROSHELL FLUID 41
Specification No.: MIL-PRF-5606H, AM3
Approval No.: MLB 06-07 25OCT06
Date of Manufacture: October 23, 2007

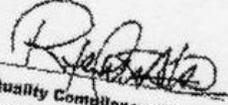
Lot No.: 7432

Retest Date: 3 YEARS

PETROLEUM HYDRAULIC FLUID

RESULTS

TESTS


Quality Compliance Group
ANDEROL Inc.
East Hanover, NJ 07936

This Batch has been Tested, Inspected,
and is in Compliance with the Specification
Requirements of MIL-PRF-5606H, AM3

Anexo II: Especificaciones DRI LUBE PLUS

DRI LUBE PLUS

Lubricante en seco con Moly



- SOPORTA TEMPERATURA Y PRESION EXTREMA.
- REEMPLAZA A LOS ACEITES Y GRASAS PEGAJOSAS.
- PROTEGE LOS PUNTOS DE FRICCION.

DRI-LUBE PLUS está especialmente formulado con disulfuro de molibdeno para proporcionar una lubricación duradera. DRI-LUBE PLUS forma una película negra delgada y duradera que resiste polvo y abrasivos. Efectivo hasta temperaturas de 399°C.

INSTRUCCIONES:

Para mejores resultados, DRI-LUBE PLUS debe ser aplicado a temperatura ambiente sobre superficies limpias y secas. Agite la lata en posición invertida hasta que la bola de metal suene. Continúe agitando por 30 segundos, luego voltee la lata hacia arriba y girela hasta que la bola gire libremente en el fondo. El aerosol está listo para ser usado.

Mantenga el recipiente a unos 15 o 20 centímetros de la superficie a ser lubricada. Evite dejar una película gruesa ya que disminuye la eficacia de DRI-LUBE PLUS. Permita que el producto se seque completamente. Si aplica aire puede ayudar a que seque más rápido.

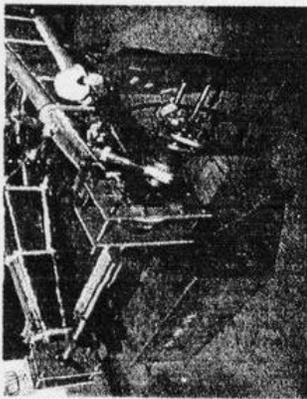
PELIGRO

Contenido bajo presión. No use o almacene cerca de superficies calientes, chispas o flama abierta. No perforo o incinere la lata. La exposición a temperaturas mayores a 49°C puede causar explosión.

NOTA: Los interiores de los vehículos puede exceder de los 49°C durante los meses de calor.

LABORATORIOS CERTIFICADOS, S.A. DE C.V.

Apartado Postal 19-536 México, D.F.
Tel. 55-16-00-60 Fax. 55-15-90-71



Lea toda la etiqueta antes de usar este producto.

PELIGRO
¡LIQUIDO Y VAPOR
EXTREMADAMENTE INFLAMABLE!

PUEDA SER PERJUDICIAL SI SE INHALA.

CAUSA IRRITACION EN PIEL Y OJOS.

PERJUDICIAL O FATAL SI SE INGIERE.

CONTENIDO BAJO PRESION
MANTENGASE ALEJADO DE LOS NIÑOS

PESO NETO: 295g



Contiene isopropanol. Evite respirar los vapores o rocío. Emplee suficiente ventilación para prevenir la acumulación de rocío y vapores. La inhalación puede causar dolores de cabeza, náuseas y mareos. Evite el contacto con la piel, ojos y ropa. Emplee guantes de neopreno o nitrilo si se presenta contacto prolongado o repetido con las manos. Use lentes de seguridad con protección lateral si el método de aplicación presenta la posibilidad de contacto con los ojos. Lávese las manos después de usar. No ingiera.

PRIMEROS AUXILIOS:

Si se inhala: Remueva a la persona a un lugar con suficiente ventilación y aire fresco. Busque atención médica si se presenta irritación respiratoria o si es difícil respirar.

Contacto con la piel: Lave el área afectada con grandes cantidades de agua y jabón por varios minutos. Quite y lave la ropa y zapatos contaminados. Busque atención médica si se presenta irritación.

Contacto con los ojos: Lave los ojos con agua. Remueva lentes de contacto si este es el caso y continúe lavando con abundante agua por varios minutos. Busque atención médica si se presenta irritación.

Si se ingiere: Dar a beber 3 o 4 vasos con agua pero no induzca al vómito. Si ocurre el vómito, dar líquidos nuevamente. Busque atención médica inmediata. No de nada por la boca a una persona inconsciente o convulsionándose.

Mayor información consulte la hoja de seguridad.
Para emergencias médicas o ambientales, llame a

(01) 58-72-41-55



4401

NO CONTIENE CLOROFLUOROCARBONOS **NO DAÑA LA CAPA SUPERIOR DE OZONO**

Anexo III: Proveedores

Los costos de consumibles fueron consultados con las empresas y distribuidores que se enlistan a continuación:

▶ **Soporte Aerológico S.A de C.V**

Domicilio: Calle Trabajo y Previsión Social No. 263 Col. Federal Del. Venustiano Carranza México, DF.

▶ **Mobile Oil de México**

Domicilio: Poniente 146 No. 760 Col. Industrial Vallejo C.P 02300 Del. Azcapotzalco México, DF.

▶ **Aeropartes Concord**

Domicilio: Santos Dumont No. 207 Col. Aviación Civil Del. Venustiano Carranza México México, DF.

Proveedores de Motores Eléctricos y Bombas de Engranés Externos

▶ **“Bombas y Accesorios Industriales”** Andalucía No.52 Cp03400 DF.

Teléfono.- 55900289

▶ **“Servicio Hidraulico Industrial SA de C.V.”** Latonero N0.102 Col. Trabajadores del Hierro

Cp. 02650 D.F. Teléfono.- 55874214

▶ **“Bombas y Motores Cerro SA de C.V.”** Calzada de Guadalupe No.29 Colonia Maza Cp. 06270 DF.

Teléfonos.- 55294089 y 55292184

▶ **“Sede Central Siemens México”** Poniente 116 No.590 Col. Industrial Vallejo Cp.

02300 Mex DF. Teléfono.- 53282000

▶ **“Start Service Motores Eléctricos”** Poniente 112 No. 457 Col. Panamericana

Cp. 07770 DF.

Teléfono.- 91125436

▶ **“Equipomp y Motores Eléctricos”** Av. Ricardo Flores Magón No. 518 Col. Santa

María la Ribera Cp.06400 México DF. Teléfonos 55411331 y 55417826

Anexo IV: Factores de conversión

Equivalencias y factores de conversión utilizados en los cálculos de potencia.

▶ Área :

$$1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in}^2$$

▶ Tiempo:

$$1 \text{ min} = 60 \text{ segundos}$$

▶ Densidad específica:

$$S_{\text{Líquido}} = \rho_{\text{Líquido}} / \rho_{\text{Agua}}$$

Donde:

$$\rho_{\text{Agua}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

▶ Aceleración debida a la gravedad:

El valor de la aceleración debida a la gravedad en el Sistema Internacional es:

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

▶ Presión:

Los factores de conversión utilizados en presión son los siguientes:

$$1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Donde:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$101.325 \text{ Kpa} = 14.696 \text{ psi (lb}_f\text{/ in}^2\text{)}$$

▶ Volumen y flujo volumétrico :

$$1 \text{ galón (gal) (EE.UU)} = 231 \text{ in}^3 = 0.0037854 \text{ m}^3 = 3.7854 \text{ L}$$

$$1 \text{ galón/ min (gal) (EE.UU)} = 0.06309 \text{ L/s}$$

▶ Potencia:

$$1 \text{ HP} = 550 \text{ ft. Lb}_f\text{/ s} = 0.746 \text{ KW}$$

▶ Par torsional:

$$1 \text{ N} = 0.225 \text{ lb}_f$$

$$1 \text{ daN} = 10 \text{ N}$$

$$9.7 \text{ m.daN} = 4.53 \text{ lb-ff}$$

