

POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

[www.upm.es](http://www.upm.es)



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**Escuela Universitaria de  
Ingeniería Técnica Aeronáutica**

# **HELICÓPTEROS**

**Profesores: Miguel A. Barcala Montejano**

*Ángel A. Rodríguez Sevillano*

POLITÉCNICA





**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**Escuela Universitaria de  
Ingeniería Técnica Aeronáutica**

**SISTEMA DE  
TRANSMISIÓN DE  
POTENCIA**

POLITÉCNICA





## INTRODUCCIÓN

- Existen muchas configuraciones posibles.
- Sólo 5 de estas configuraciones han sido importantes y 3 de ellas son poco frecuentes.
  - Helicóptero monorrotor.
  - Birrotor en tándem (*twin tandem*).
  - Birrotor lado a lado (*twin side-by-side*).
  - Birrotor con dos ejes distintos cruzándose (*twin intermeshing*).
  - Birrotor coaxial (*twin coaxial*).



## INTRODUCCIÓN

- Helicóptero monorrotor, en el cual el par generado por el rotor principal es compensado por el rotor de cola u otro dispositivo.







## INTRODUCCIÓN

- Birrotor en tándem (*twin tándem*): Rotores situados de forma simétrica respecto al eje transversal del vehículo; palas entrecruzándose; girando en sentidos contrarios; ejes inclinados se cancela cualquier par transmitido al fuselaje.





## INTRODUCCIÓN

- El helicóptero birrotor lado a lado (*twin side-by-side*) nunca ha sido popular aunque se utilizó en uno de los mayores helicópteros construido, el Mil V-12.





## INTRODUCCIÓN

- El tipo de birrotor con dos ejes distintos cruzándose (*twin intermeshing*) está compuesto por dos rotores girando en sentido opuestos en 2 ejes inclinados y situados muy juntos entre si.







## INTRODUCCIÓN

- La última de las configuraciones a mencionar es la del helicóptero birrotor coaxial (*twin coaxial*) en la que los rotores están uno encima del otro girando en sentidos contrarios. Es una disposición bastante compacta.



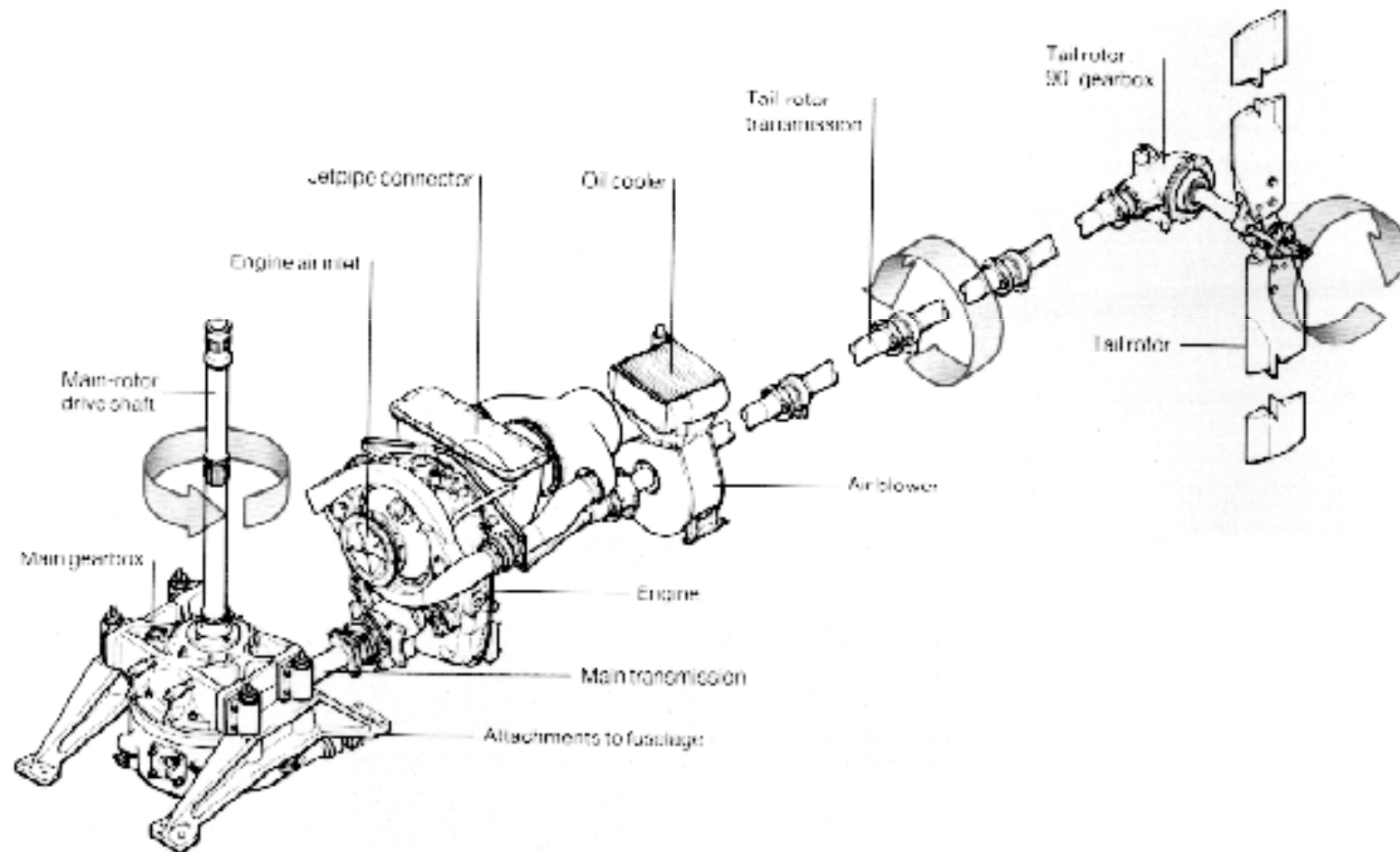
Photo courtesy [www.egroups.com/group/recognition](http://www.egroups.com/group/recognition)



Photo courtesy [www.egroups.com/group/recognition](http://www.egroups.com/group/recognition)



## PARTES MÓVILES





## PARTES MÓVILES

- Cajas reductoras, ejes de transmisión y sistemas de control (cap 10).
- Existirán una o varias cajas reductoras que conecten el o los motores cuya salida del eje está girando a una velocidad entre 6000 y 50000 R.P.M.
- Rotor principal girando del orden de las 300 R.P.M.
- El diseño es fundamental, no sólo por su misión transmisora y reductora sino porque puede penalizar gravemente el peso total del vehículo.





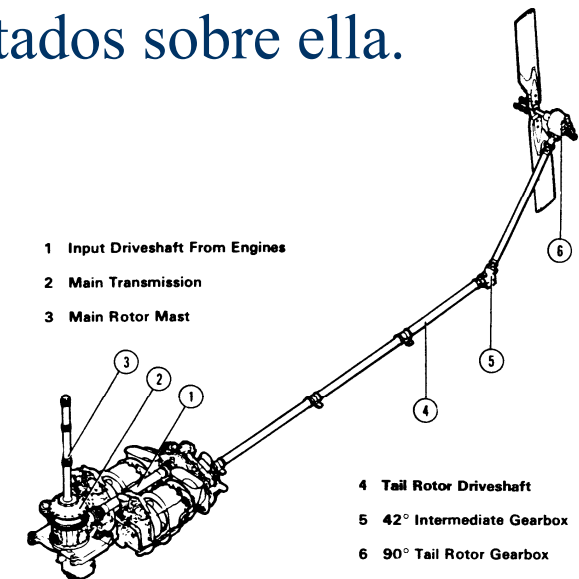
## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

- Conjunto de ejes y cajas de reducción de R.P.M.
- Reciben movimiento del motor una serie de elementos giratorios.



## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

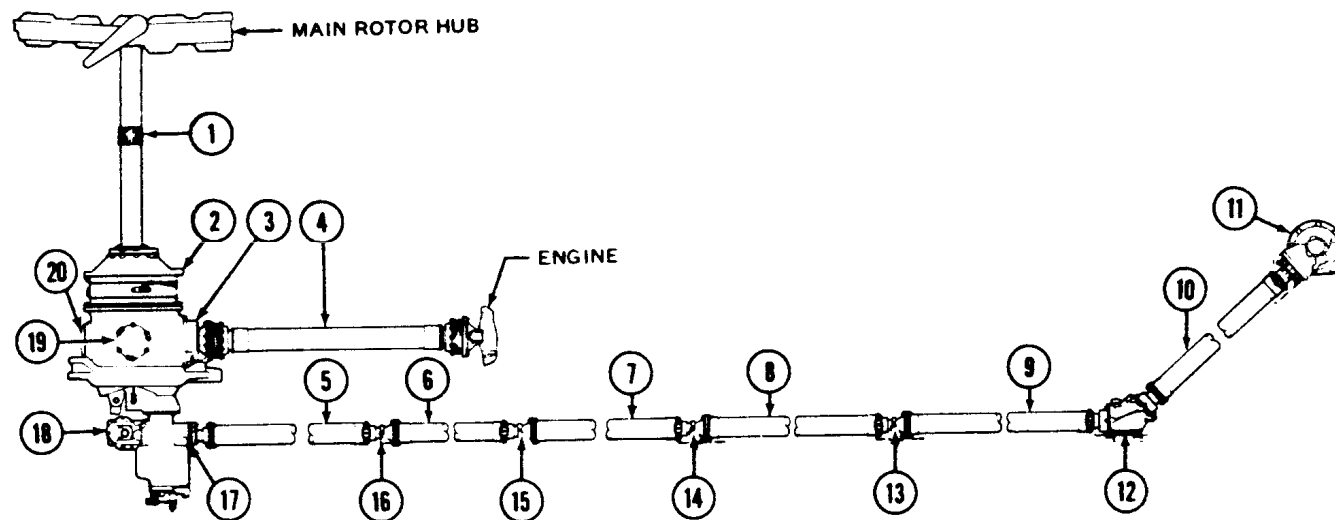
- Transmisión de potencia del **Agusta AB412**.
  - Potencia de turbinas es transmitida a través del eje corto , a la transmisión principal y de ahí al rotor principal y al rotor de cola por medio de los ejes, caja de 42 ° y caja de 90° .
  - Conjunto de accesorios que van montados sobre ella.





## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

- Otro sistema de transmisión.



1. Mast assembly
2. Transmission
3. Input quill
4. Engine to transmission driveshaft
5. Tail rotor driveshaft
6. Tail rotor driveshaft (short section)
7. Tail rotor driveshaft
8. Tail rotor driveshaft
9. Tail rotor driveshaft
10. Tail rotor driveshaft

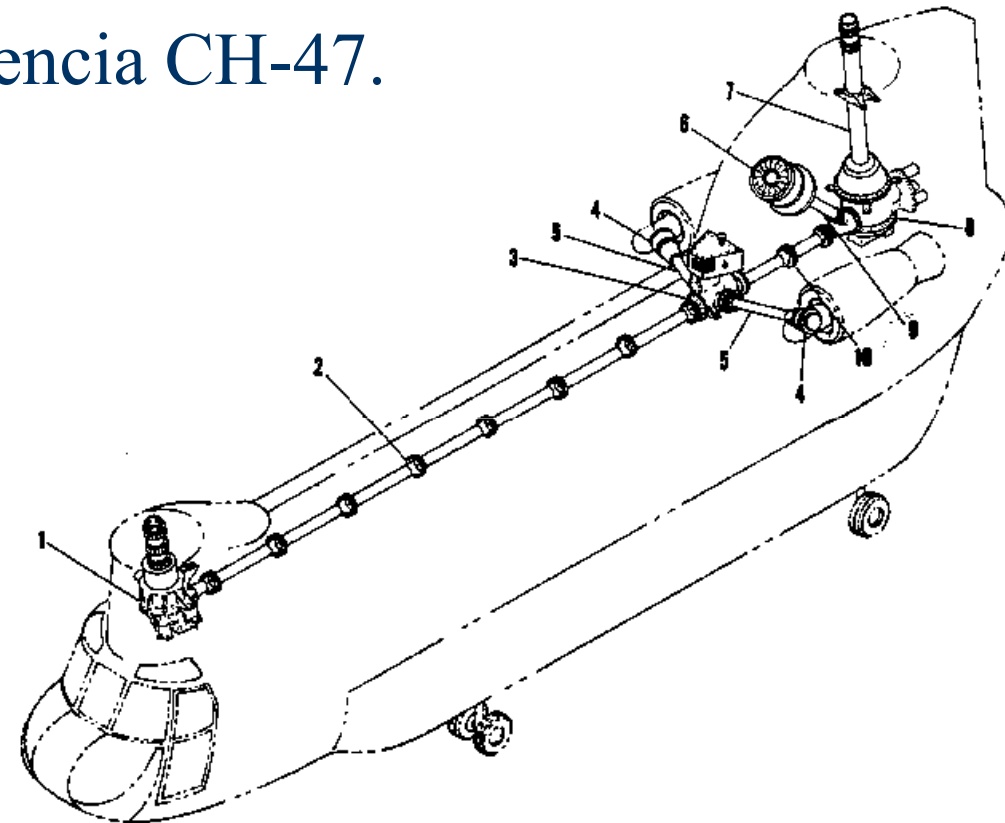
11. Tail rotor gearbox
12. Intermediate gearbox
13. Hanger assembly
14. Hanger assembly
15. Hanger assembly
16. Hanger assembly
17. Tail rotor drive quill
18. Hydraulic pump and tachometer (system 1)
19. Cover
20. Hydraulic pump drive quill (system 2)





## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

- Transmisión de potencia CH-47.

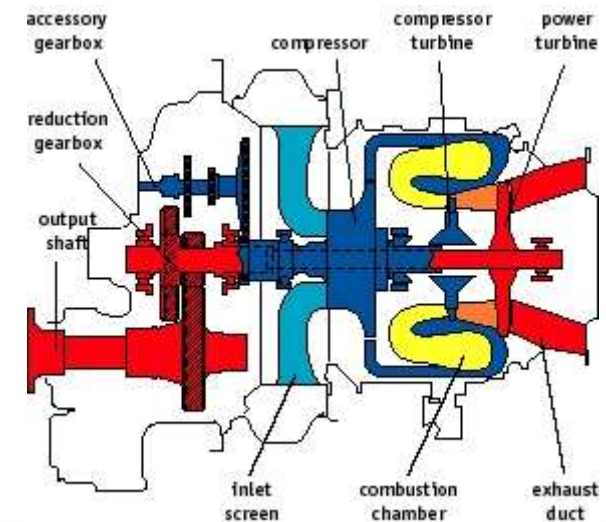
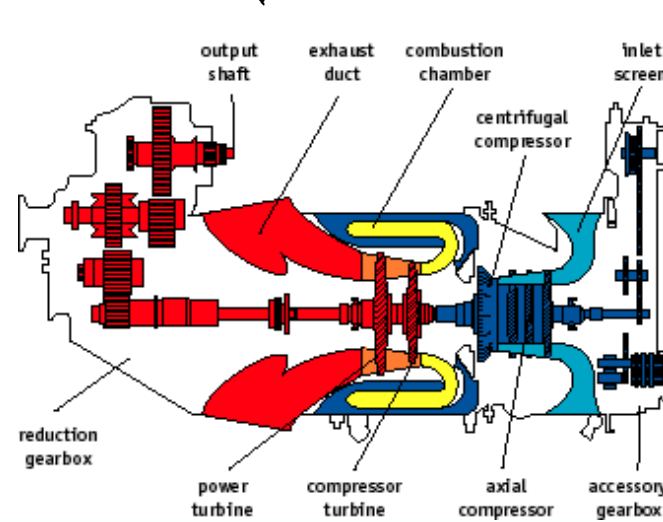
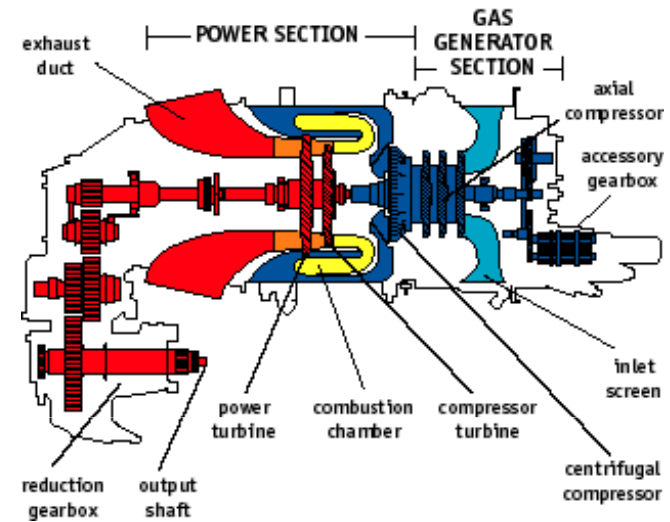
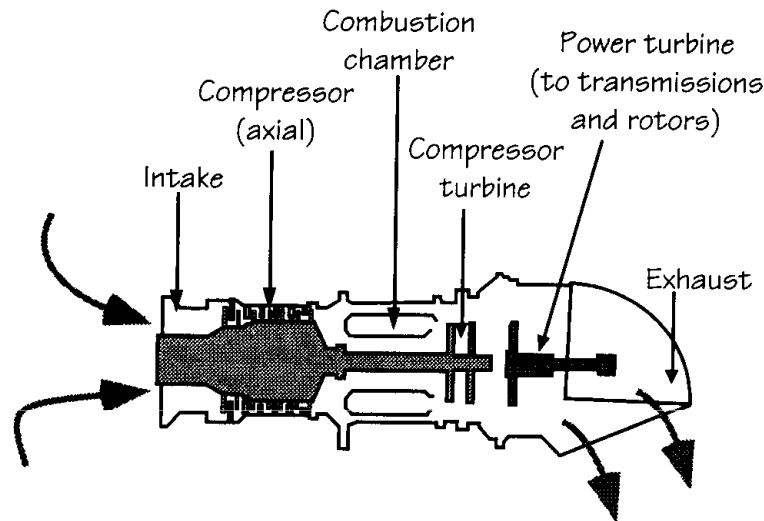


- |   |                                 |   |
|---|---------------------------------|---|
| 1. Forward rotary-wing drive transmission | 4. Engine transmission          | 8. Aft rotary-wing drive transmission       |
| 2. Forward sync shaft                     | 5. Engine shaft                 | 9. Transmission oil cooling fan drive shaft |
| 3. Engine combining transmission          | 6. Transmission oil cooling fan | 10. Aft synchronizing shaft                 |
|   | 7. Aft rotary-wing drive shaft  |   |

Figure 6-1. Drive Train System

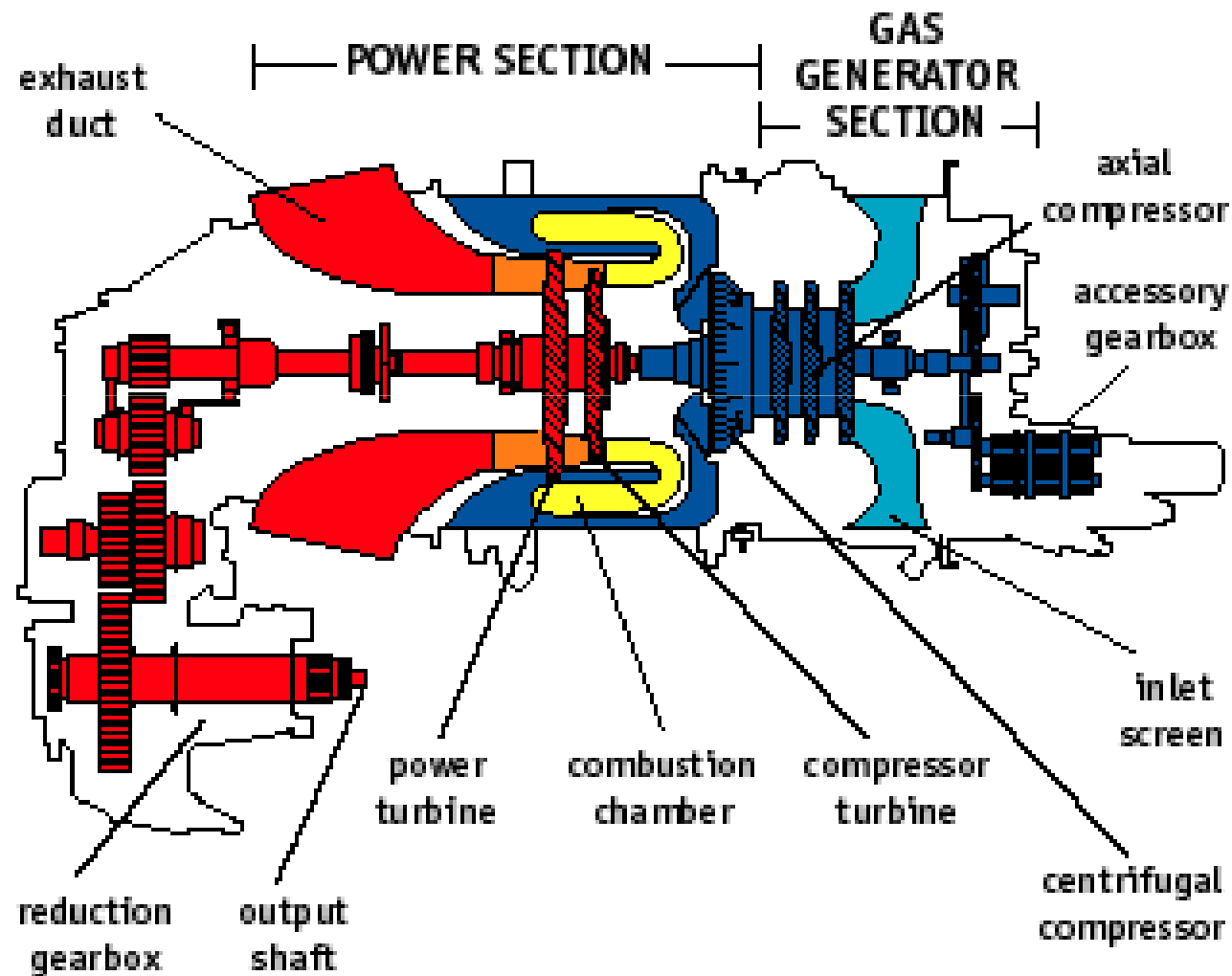


# Motor





## Motor







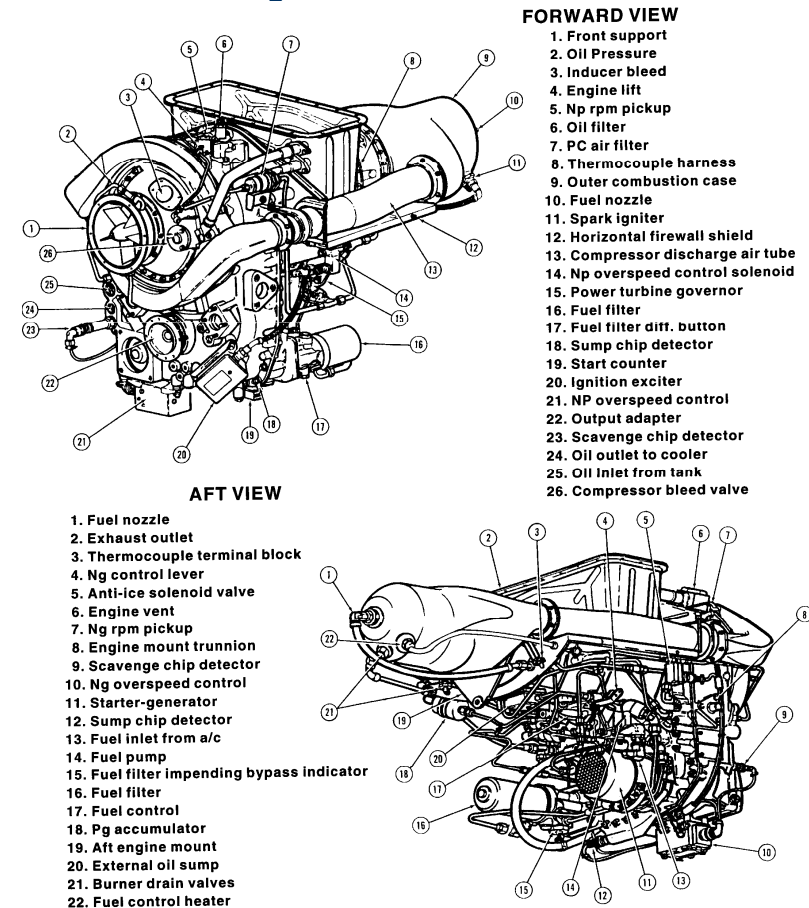
## Motor

- Razones para utilizar turbinas son:
  - Funcionamiento más suave con una disminución apreciable de vibraciones.
  - Helicóptero más silencioso, o al menos con un tipo de ruido distinto.
  - Más ligero para la misma producción de potencia.
  - Las velocidades de rotación típicas son entre 6000÷50000 R.P.M. en la mayoría de motores.



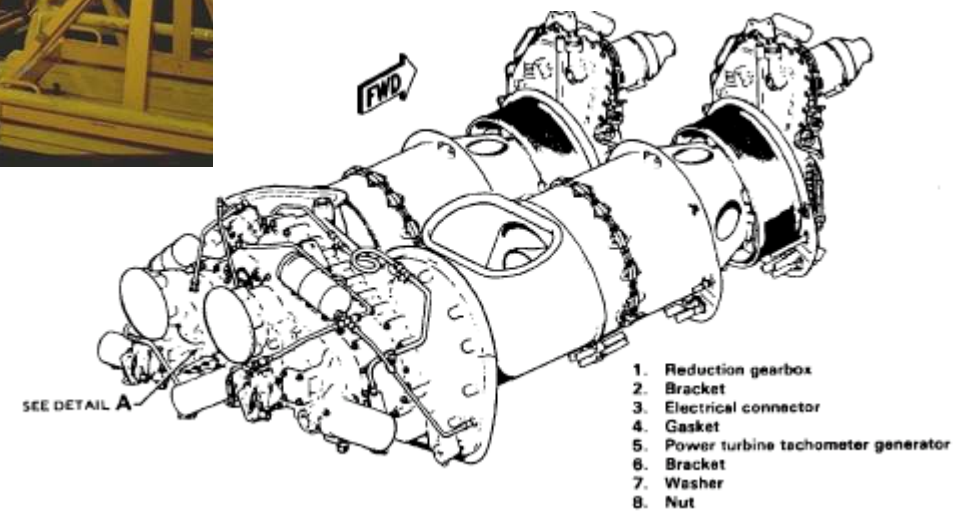
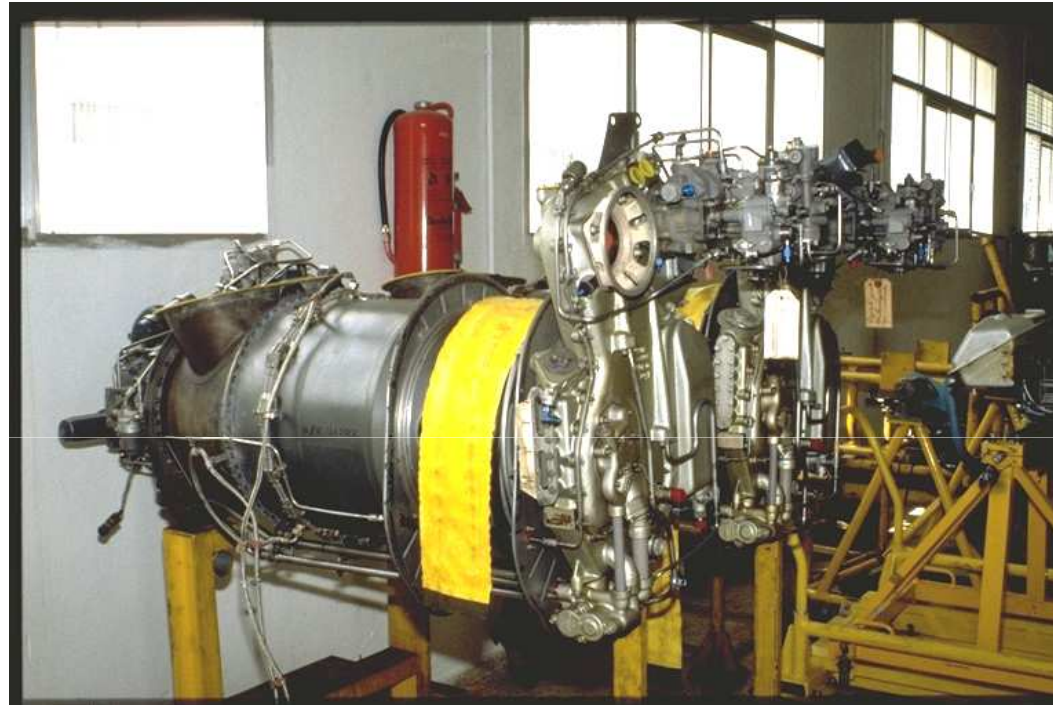
## Motor

- Figura 9-18 (Bell 230). Accesorios y controles del motor



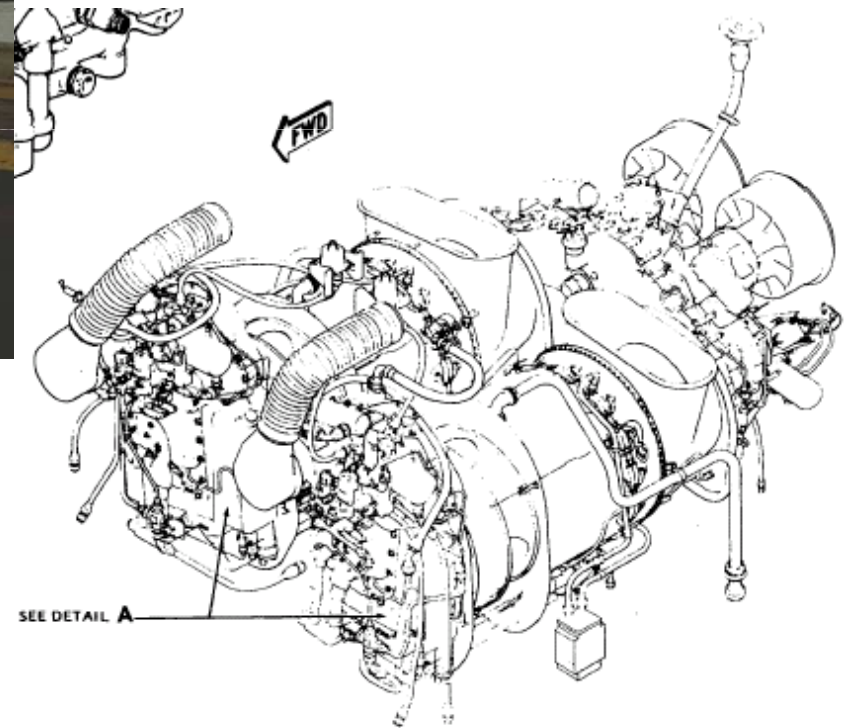


## Motor





## Motor



412 M-71-36





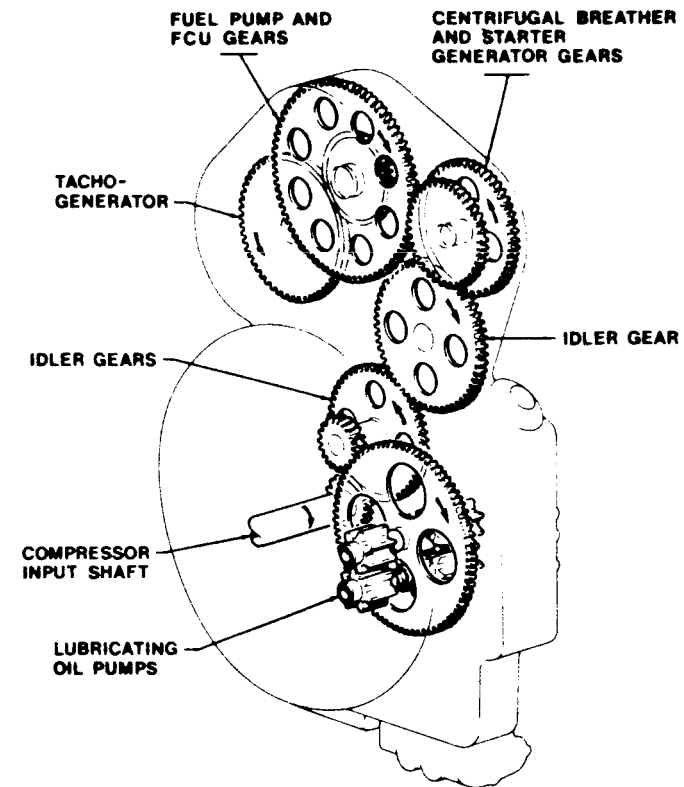
## Motor

- Dentro del bloque motor generalmente se instalan cajas reductoras a la salida.
  - Proporcionan una primera reducción de las R.P.M. (del orden de 5:1).
  - Alimentan los sistemas auxiliares y accesorios: torquímetro, bomba de aceite, sistema de arranque (entrada/salida), sistema de control de combustible.



## Motor

- Caja reductora (*gearbox*) del Agusta AB412.





## Motor

- También pueden tener la misión de combinar la salida de potencia cuando el helicóptero dispone de dos motores.
- Últimas décadas: nueva generación de cajas reductoras con disminuciones considerables del peso de la transmisión.
- Numerosas ventajas: cajas de materiales ligeros con 3 escalones de reducción con relación de velocidades de 12:1 e incluso mayores que:
  - reducen los esfuerzos en los dientes de las cajas,
  - reducen el número de partes,
  - reducen los ruidos,
  - facilitan la instalación de dispositivos MMS (*mast-mounted sight*) y,
  - otras ventajas menores.



## Motor

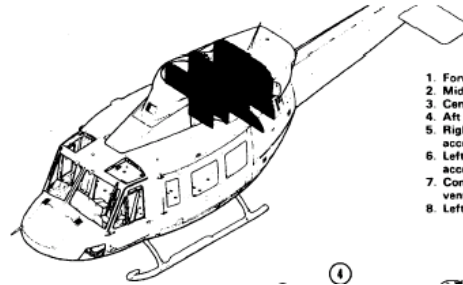




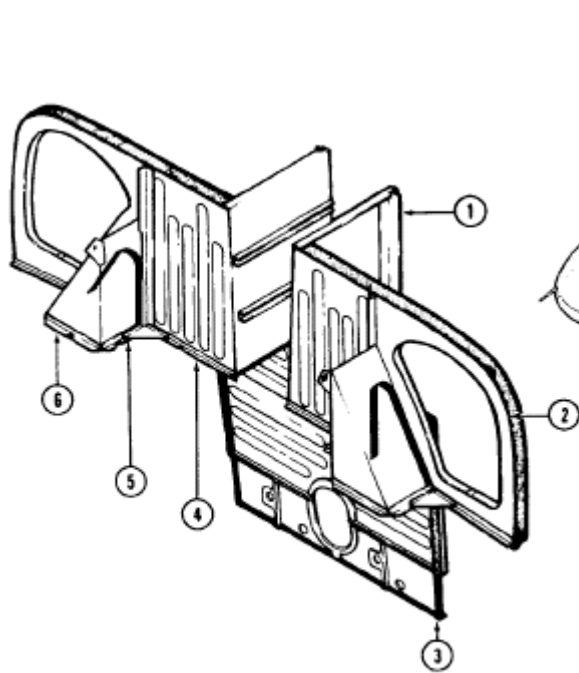


## Motor

### ● Cortafuegos.

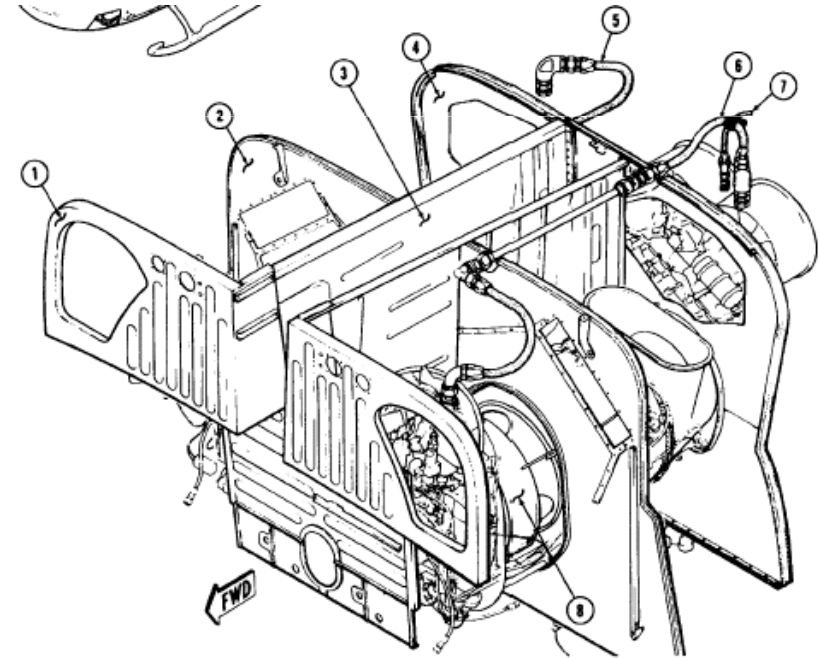


1. Forward firewall assembly
2. Middle firewall assembly
3. Cantirine firewall assembly
4. Aft firewall assembly
5. Right power section accessory case vent hose
6. Left power section accessory case vent hose
7. Combining (reduction) gearbox vent hose
8. Left power section



1. Seal
2. Forward firewall assembly
3. Seal
4. Seal
5. Seal
6. Seal

412-M-71-29



412-M-71-28

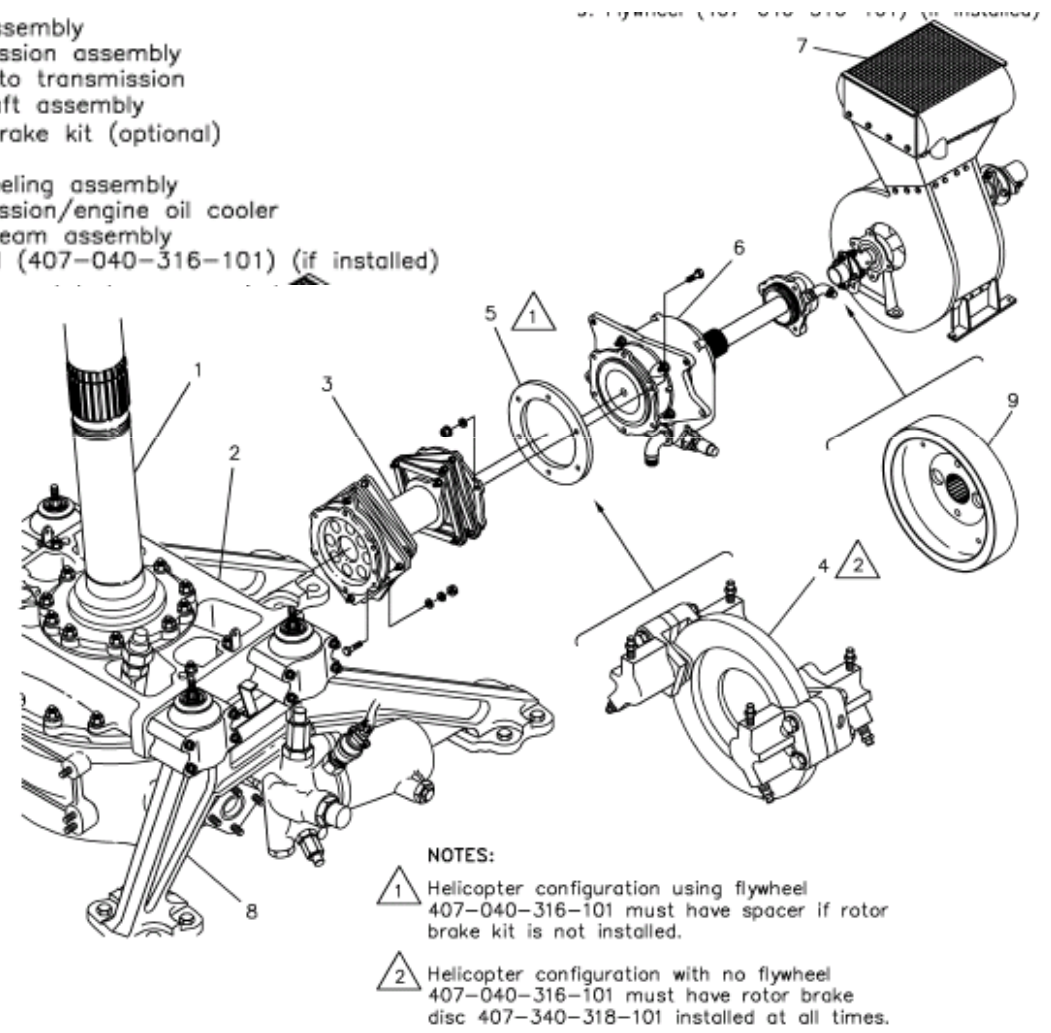
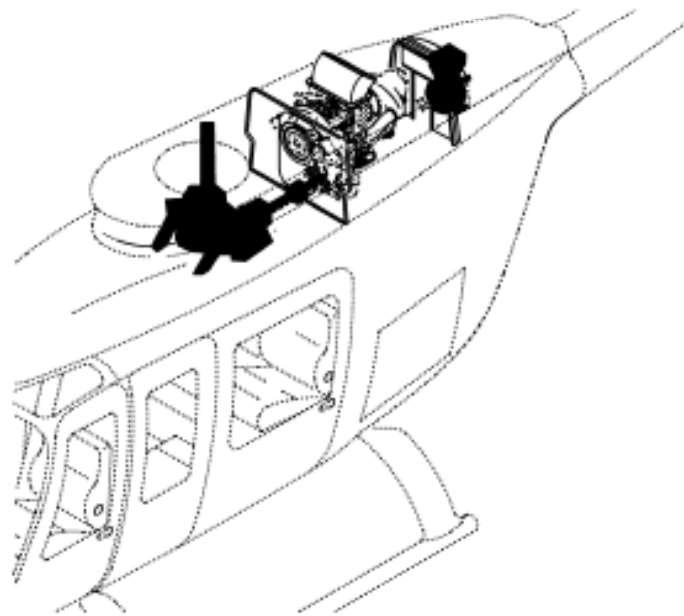
Figure 71-28. Engine Firewalls



## Motor

### ● Bell 407.

1. Mast assembly
2. Transmission assembly
3. Engine to transmission driveshaft assembly
4. Rotor brake kit (optional)
5. Spacer
6. Freewheeling assembly
7. Transmission/engine oil cooler
8. Pylon beam assembly
9. Flywheel (407-040-316-101) (if installed)

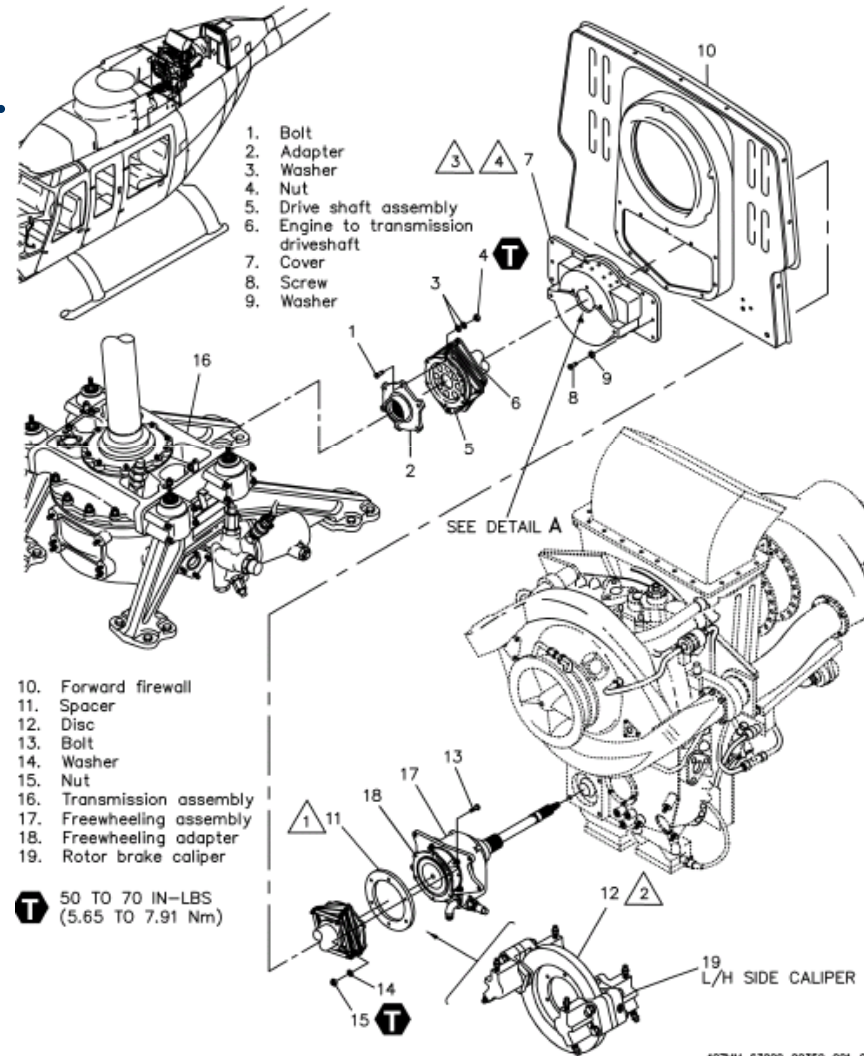


407MM\_63000\_00010\_001\_C01



## Motor

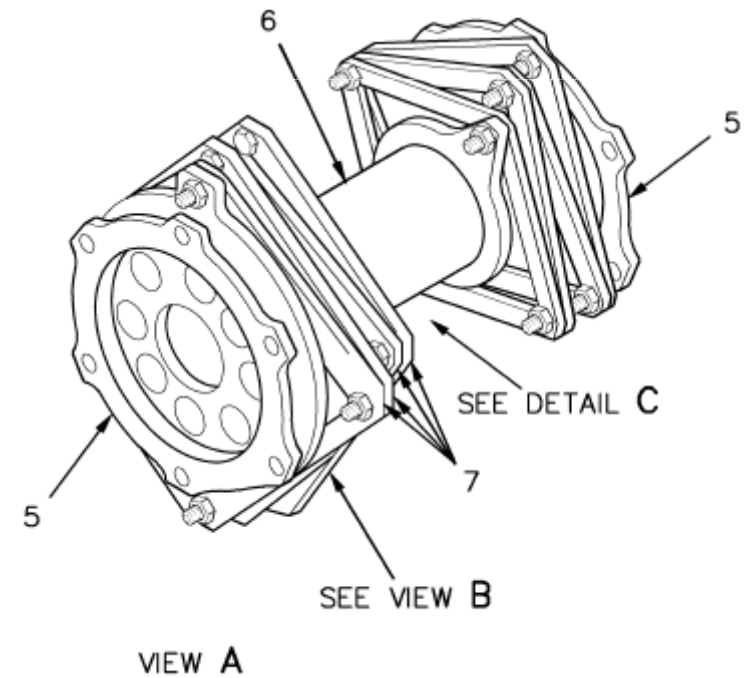
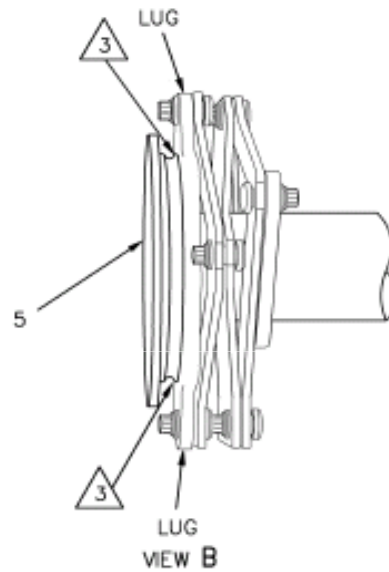
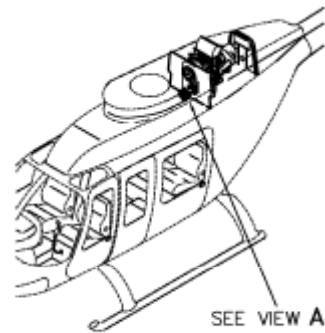
- Bell 407.





## Motor

- Bell 407.







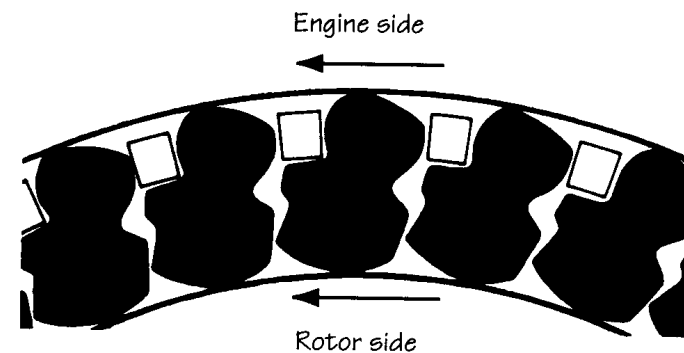
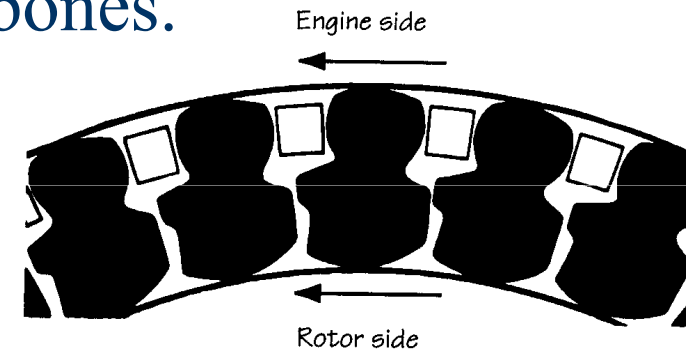
## Rueda libre

- Tanto para los helicópteros de pistón como turbina.
- Necesario un dispositivo para desacoplar el motor del rotor en caso de fallo de motor o en el caso de funcionamiento en ralentí.
- Este mecanismo se denomina *rueda libre*.



## Rueda libre

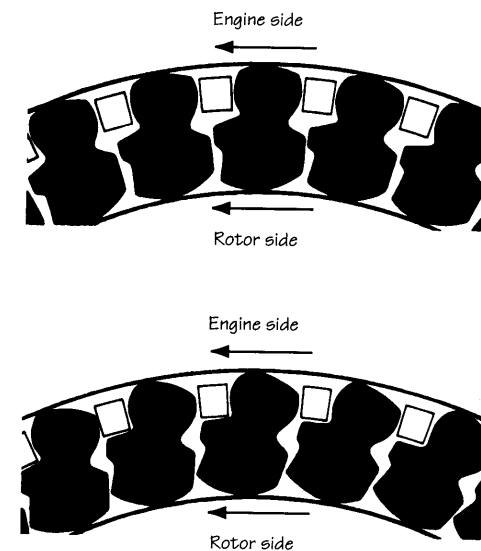
- La *rueda libre* se compone de dos pistas, una interior y otra exterior más una jaula en la que van montados una serie de eslabones.





## Rueda libre

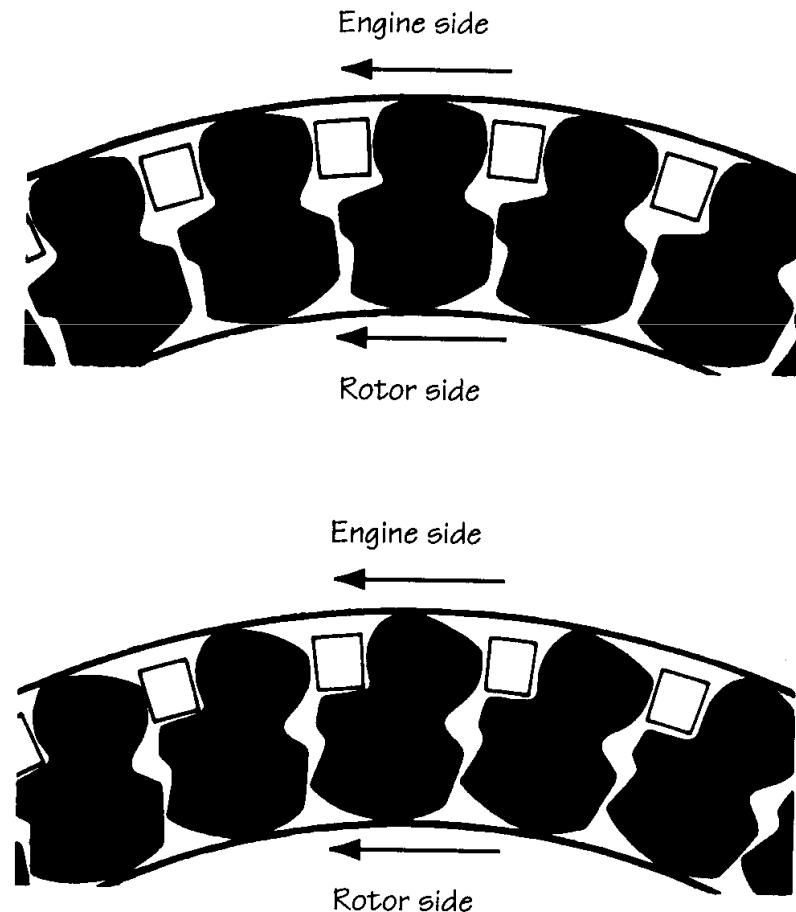
- Cada eslabón presenta dos diámetros y siendo uno de ellos de mayor longitud que el otro.
  - Si movimiento viene por la pista exterior (*engine side*), hace bascular a los eslabones presentando su diámetro mayor lo que hace que dichos eslabones se acúñen a las pistas, girando todo el conjunto.





## Rueda libre

- Si el movimiento viene por la pista interior (*rotor side*), hace bascular los eslabones presentando su diámetro menor, con lo cual se desacoplan ambas pistas, girando la pista interior y quedando libre la exterior (parada, o girando a menos revoluciones de la interior).







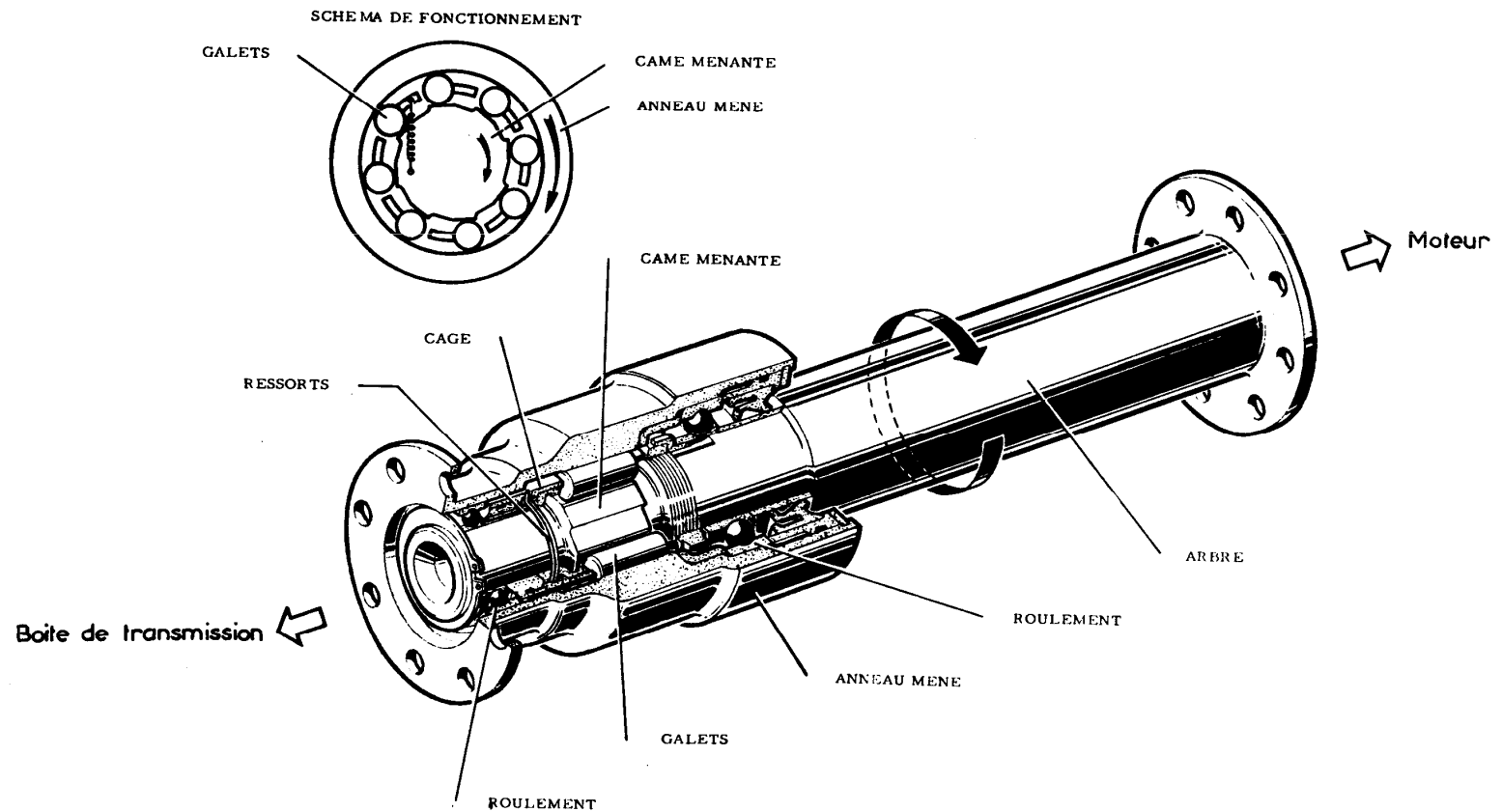
## Rueda libre





## Rueda libre

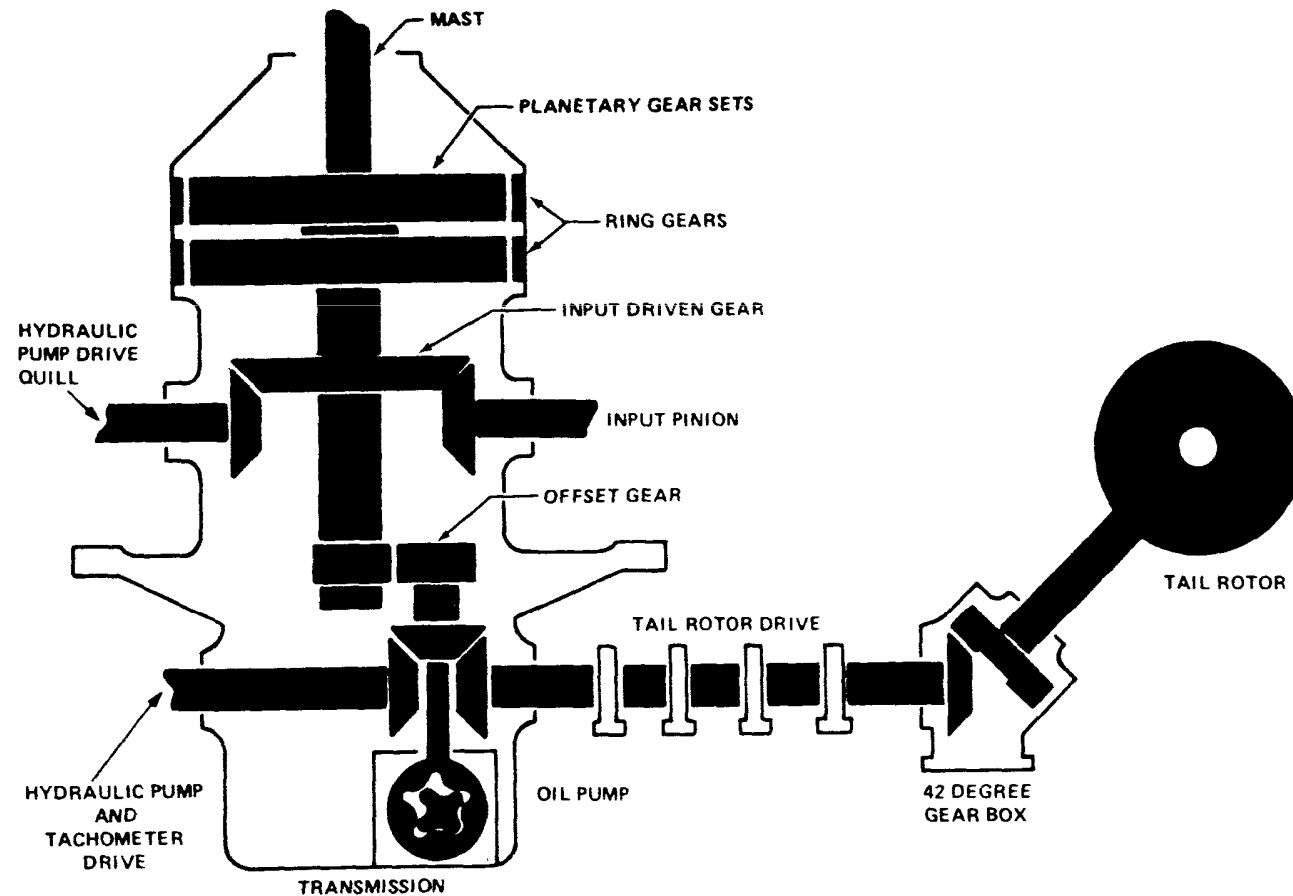
- Otro diseño de rueda libre.





## Transmisión principal

- Reductor principal. MGB.





## Transmisión principal

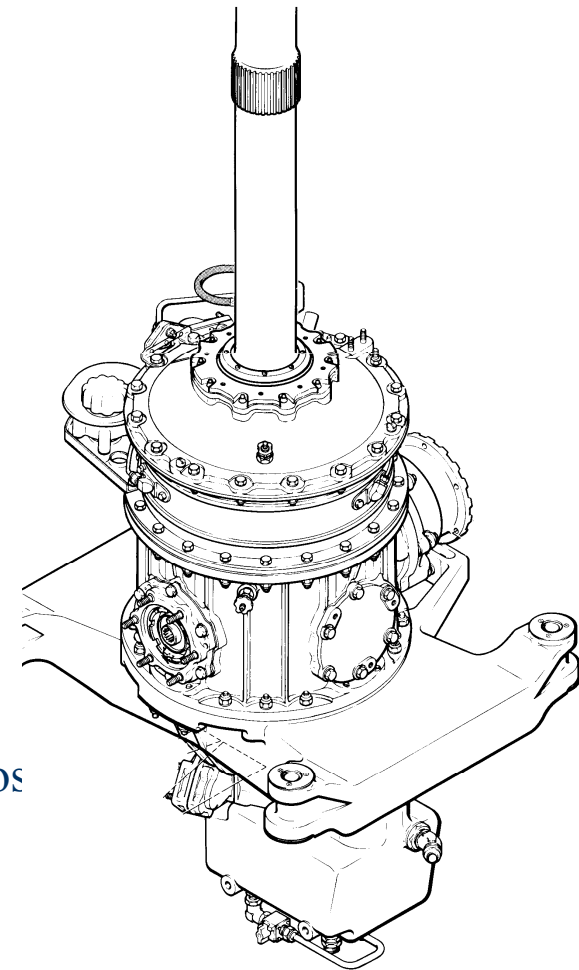
- **Transmisión principal:** El tipo universal suele estar situada delante del motor y suspendida por montantes sobre los soportes estructurales sobre el techo de cabina.
- Acoplada al motor o a los motores por un eje conductor o ejes.
- Misión de la transmisión principal es doble:
  - reducir el movimiento del motor y,
  - cambiar la dirección del eje de giro  $90^\circ$ .





## Transmisión principal

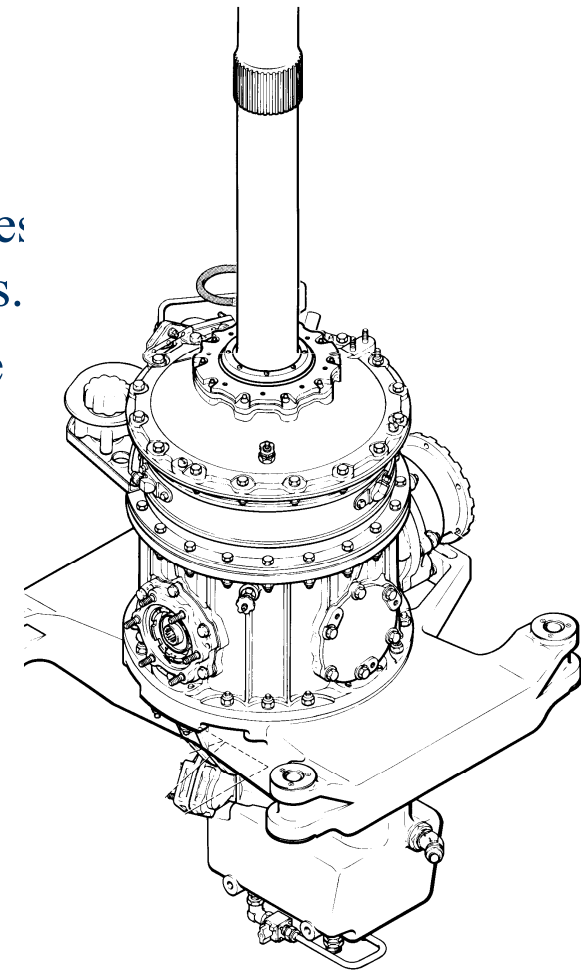
- Se compone generalmente de 3 secciones:
  - *Intermedia*: carcasa sobre la cual va
    - por su parte trasera el piñón de ataque del motor,
    - por su parte delantera la caja de engranajes del generador principal y,
    - por la parte izquierda lleva una salida de potencia opcional.
  - *Superior* compuesta por una carcasa que va montada sobre la sección intermedia y atornillada a ésta.
    - Interiormente llevará la o las coronas dentadas que forman el sistema de planetarios que producen una de las reducciones de R.P.M.





## Transmisión principal

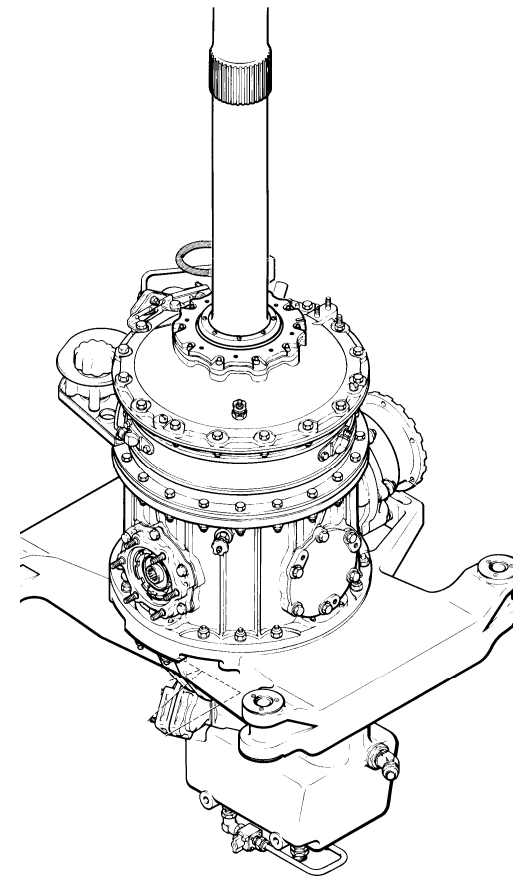
- *Inferior* que consiste en una carcasa que servirá como cárter de aceite de la transmisión principal.
  - Sobre ella van montados una serie de ejes de salida de movimiento para accesorios.
  - La sección inferior toma movimiento de la intermedia a través de un eje.





## Transmisión principal

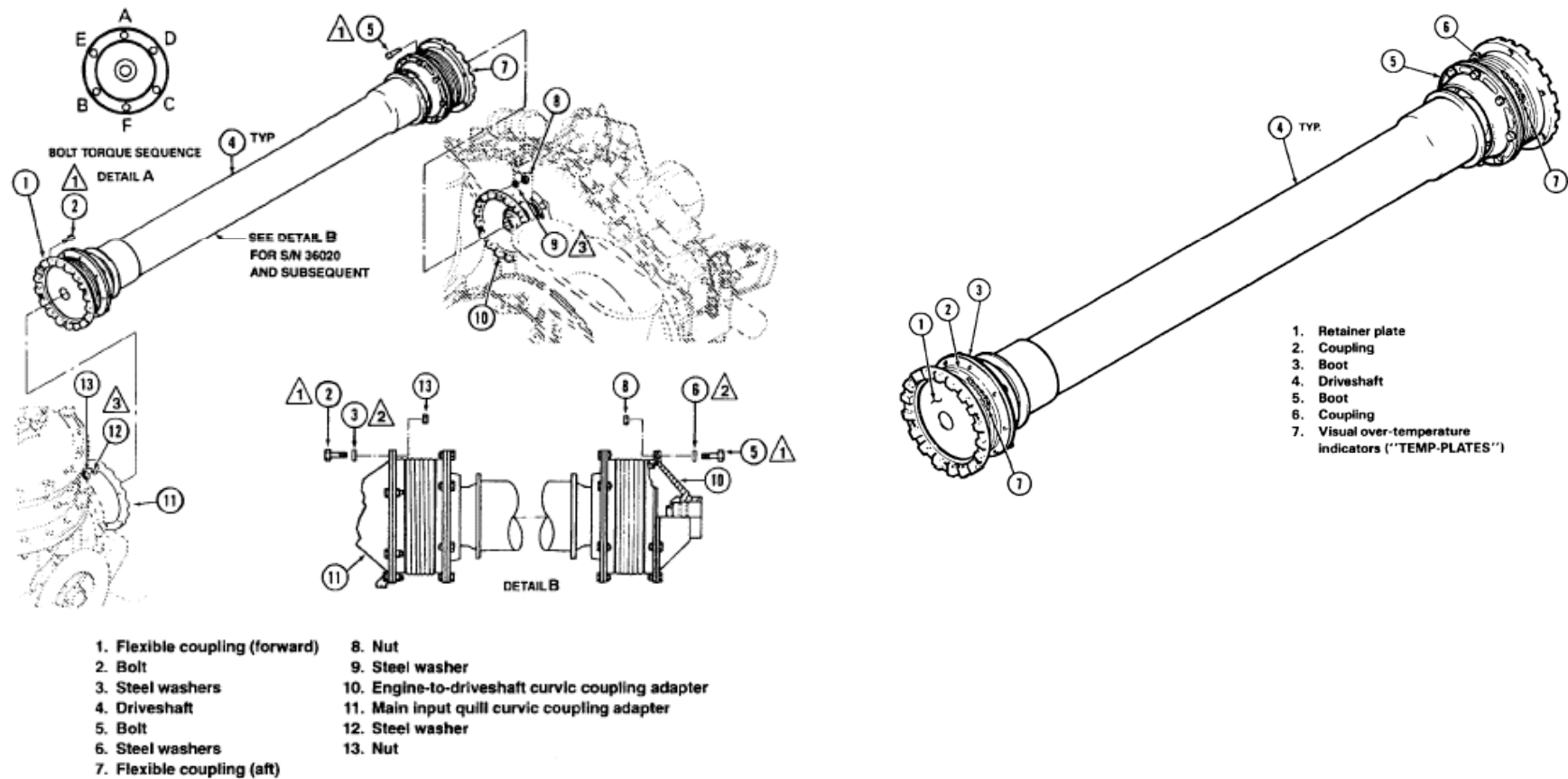
- Transmisión principal Bell 412





## Transmisión principal

### ● Transmisión principal Bell 412





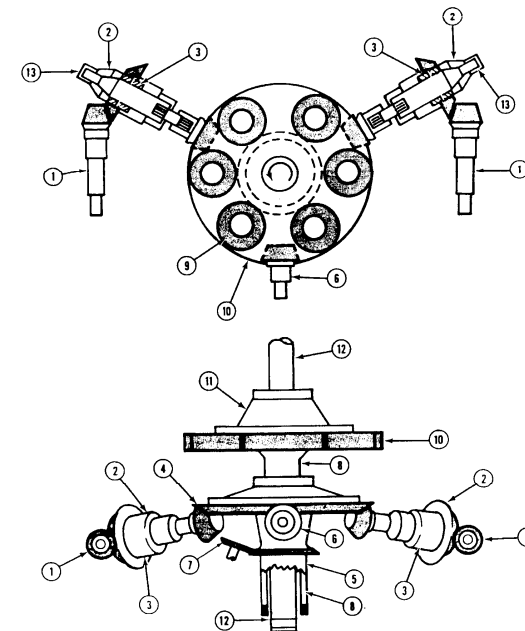
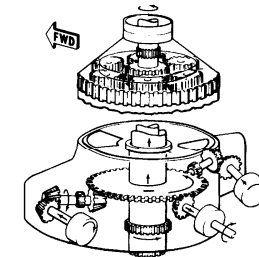


## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

- Ejemplo (helicóptero biturbina, Bell 230).

### TRANSMISSION SCHEMATIC

1. Input pinion gear (2)
2. Outboard gear assembly (2)
3. Freewheeling clutch (2)
4. Spiral bevel collector gear
5. Collector gear shaft
6. Tail rotor drive gear
7. Oil pump drive gear
8. Sun gear
9. Pinion gear (6)
10. Ring gear
11. Planetary carrier
12. Main rotor mast
13. Hydraulic pump drive (2)



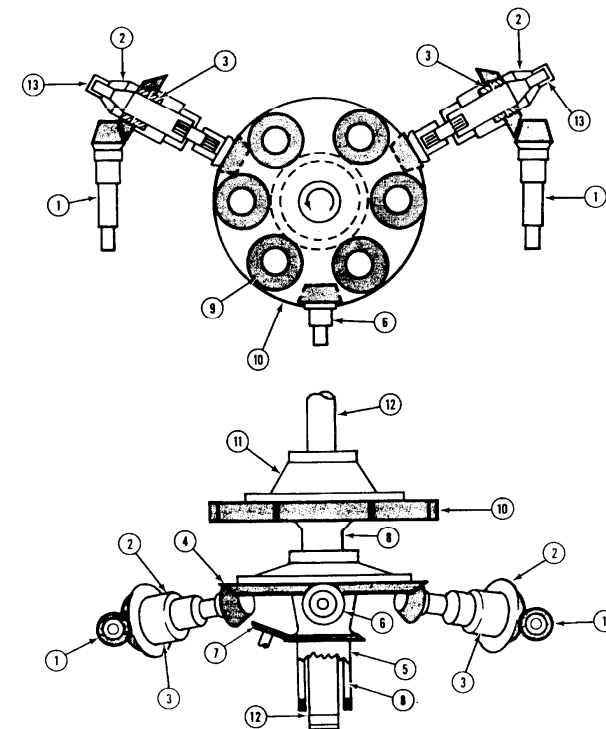
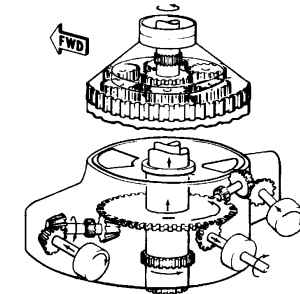


## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

- El movimiento se transmite desde cada eje corto a un primer engranaje reductor exterior con su rueda libre correspondiente.
- Del engranaje por un lado sale el movimiento para el sistema hidráulico y por otro hacia el engranaje colector principal que combina la salida de las dos turbinas.

### TRANSMISSION SCHEMATIC

1. Input pinion gear (2)
2. Outboard gear assembly (2)
3. Freewheeling clutch (2)
4. Spiral bevel collector gear
5. Collector gear shaft
6. Tail rotor drive gear
7. Oil pump drive gear
8. Sun gear
9. Pinion gear (6)
10. Ring gear
11. Planetary carrier
12. Main rotor mast
13. Hydraulic pump drive (2)



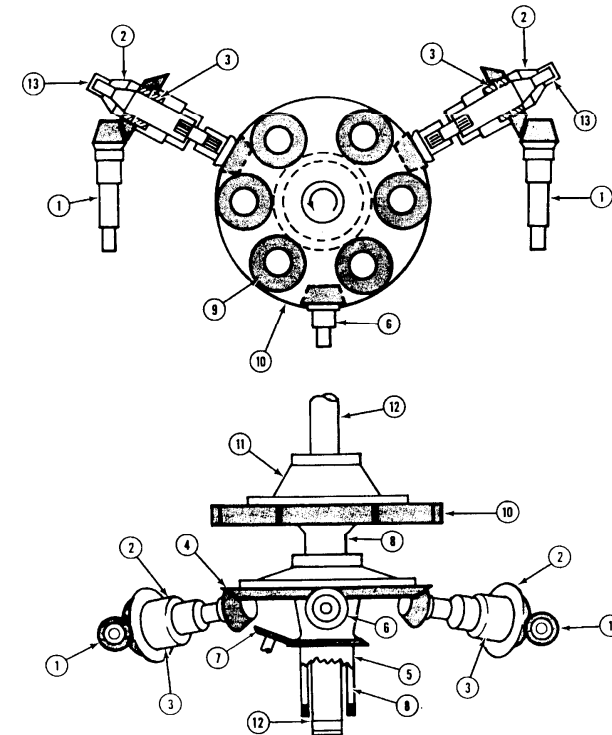
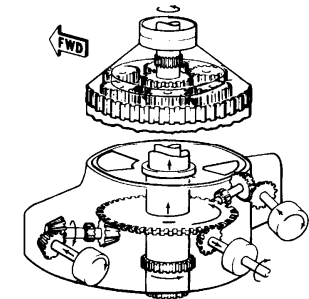


## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

- Éste, a través de sus eje, lo transmite al sol de sistema de planetarios los cuales se ven obligados a girar con un movimiento de traslación por estar engranados en una corona fija.
- Los planetas están unidos a una caja soporte que gira con estos y da movimiento al mástil del rotor principal. Del engranaje obtenemos la salida para el movimiento del rotor de cola.

### TRANSMISSION SCHEMATIC

1. Input pinion gear (2)
2. Outboard gear assembly (2)
3. Freewheeling clutch (2)
4. Spiral bevel collector gear
5. Collector gear shaft
6. Tail rotor drive gear
7. Oil pump drive gear
8. Sun gear
9. Pinion gear (6)
10. Ring gear
11. Planetary carrier
12. Main rotor mast
13. Hydraulic pump drive (2)





## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

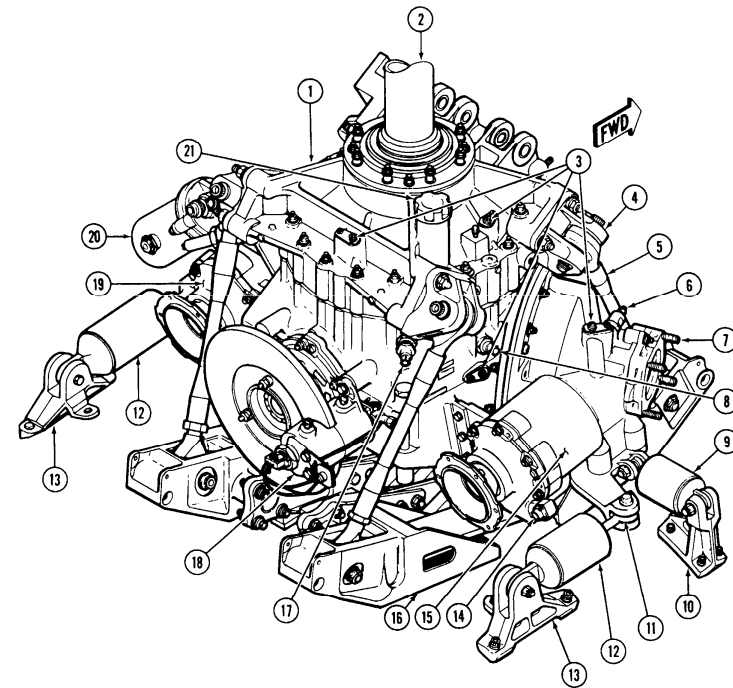
- Con ello se consigue tres reducciones para el rotor principal:
  - la primera en el engranaje exterior (eje corto-rueda libre),
  - la segunda en el engranaje colector principal y,
  - la tercera en el sistema de planetarios.





## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

- Bloque de la transmisión principal (Bell 230).



- |                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 1. Transmission             | 12. Longitudinal isolation mount |
| 2. Mast                     | 13. Isolation mount support      |
| 3. Oil jet                  | 14. Chip detector                |
| 4. Lift fitting             | 15. Outboard quill               |
| 5. Lift link                | 16. Nodal beam assembly          |
| 6. Low pressure switch      | 17. Chip detector                |
| 7. Hydraulic pump adapter   | 18. Rotor brake                  |
| 8. Tachometer sensor        | 19. Input quill                  |
| 9. Lateral isolation mount  | 20. Oil filter                   |
| 10. Isolation mount support | 21. Filler cap                   |
| 11. Isolation mount fitting |                                  |



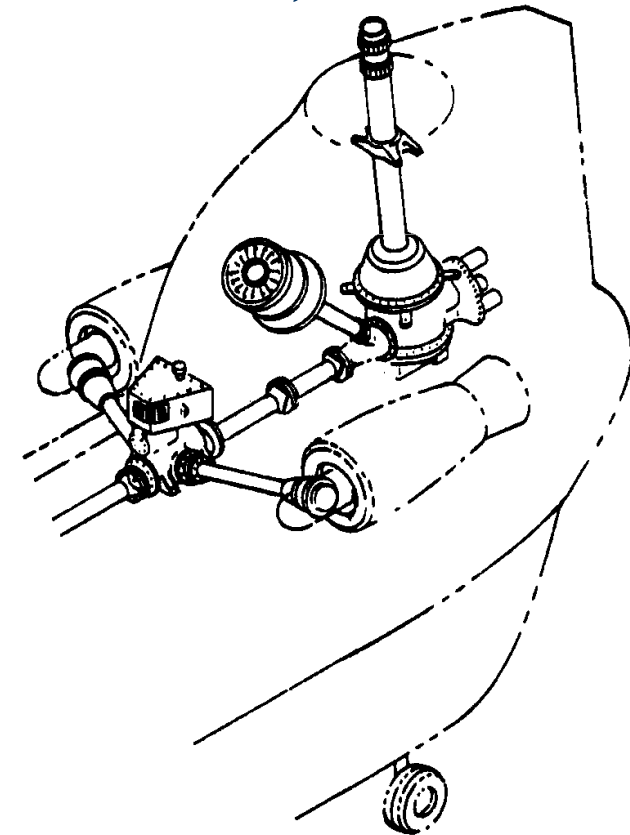
## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

- En otras configuraciones de helicóptero la combinación de la salida de los dos motores se produce en una caja de engranajes adicional.
- Otros casos donde existen dos sistemas de sol-planetarios que producen la reducción necesaria; en esos casos no suele existir el sistema de engranajes exterior.



## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

- **Detalle transmisión rotor trasero CH-47.**  
Detalle de la transmisión del rotor trasero,  
helicóptero birrotor en tándem.





## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

- Reductor principal SH60.







## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

- Reductor principal Super Puma.



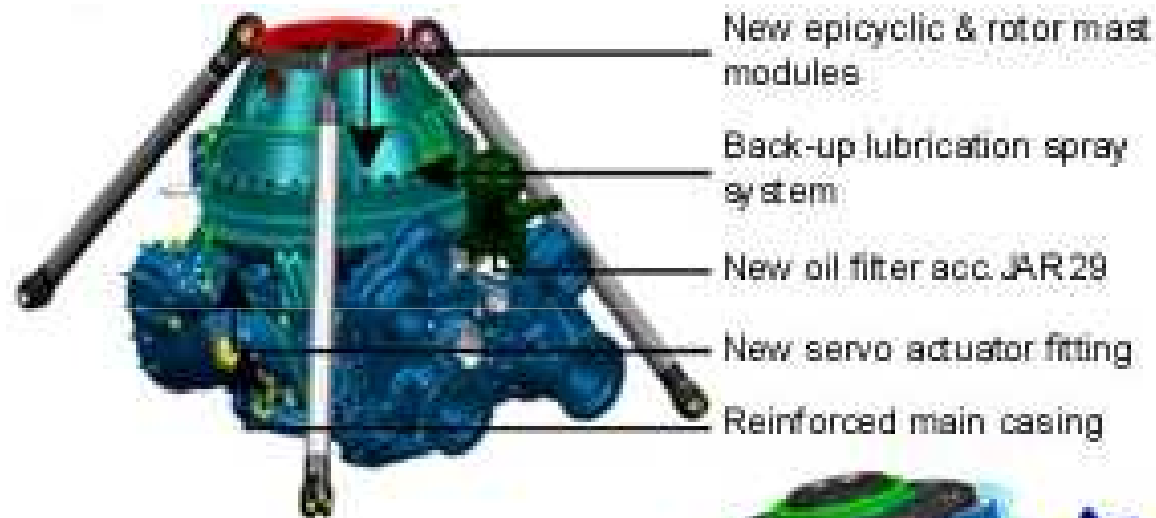


## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB





## FUNCIONAMIENTO DE LA MGB



Reinforced Main gear drive

Chip detectors acc. JAR 29





# FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

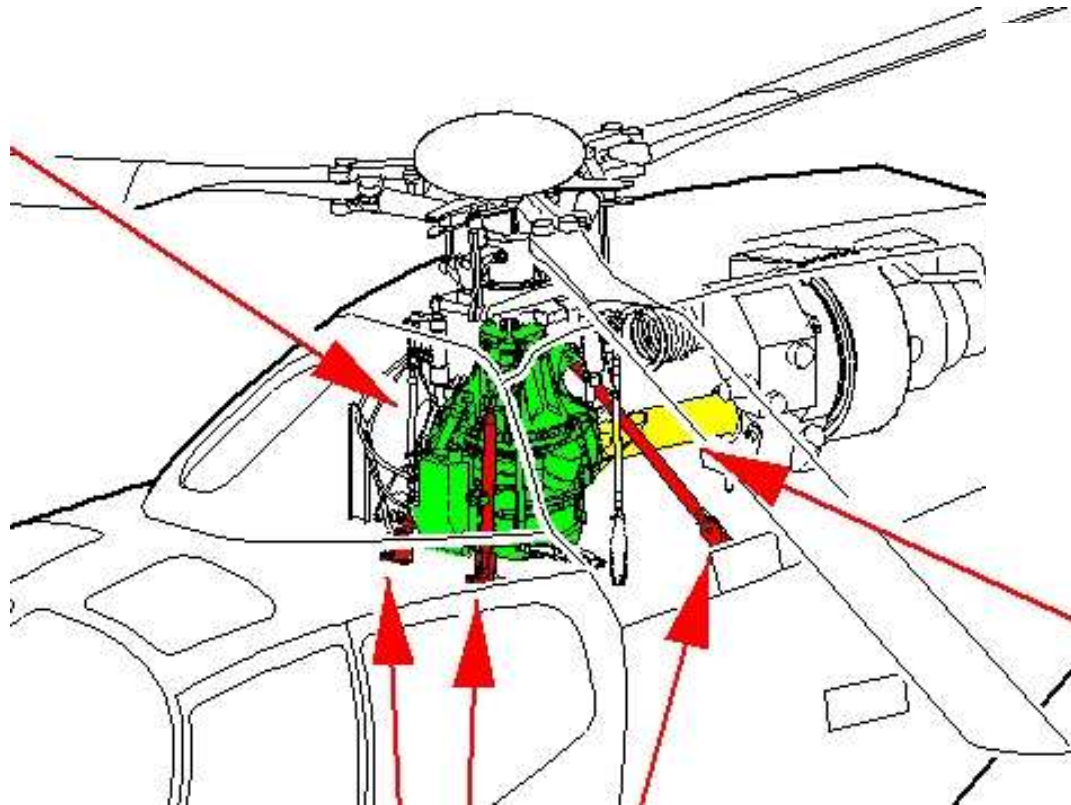
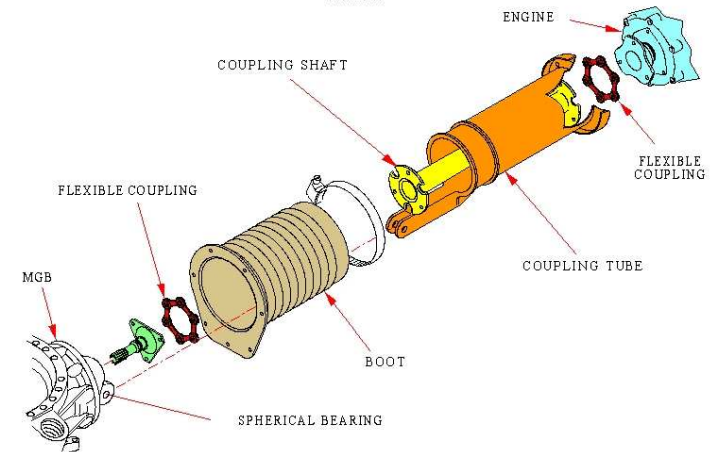


Figure 1. General Description - Engine-to-MGB Coupling  
Sheet 1.







# FUNCIONAMIENTO DE LA MGB

Figure 1. General Description - Main Gearbox

Sheet 1.

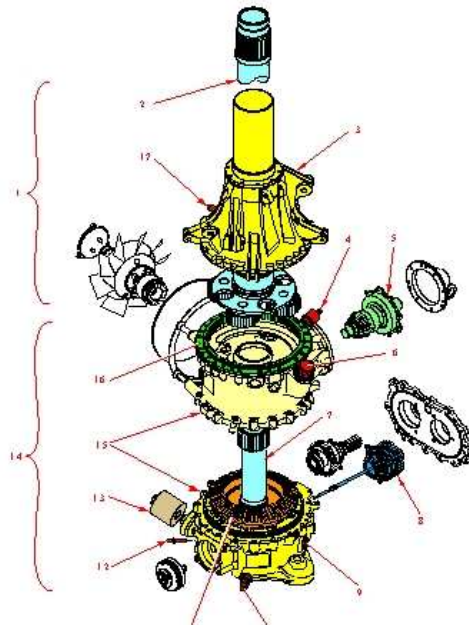


Figure 2. Detailed Description - MGB Lubrication

Sheet 1.

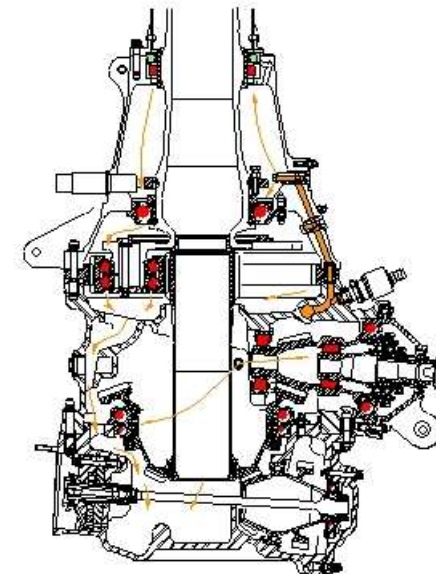
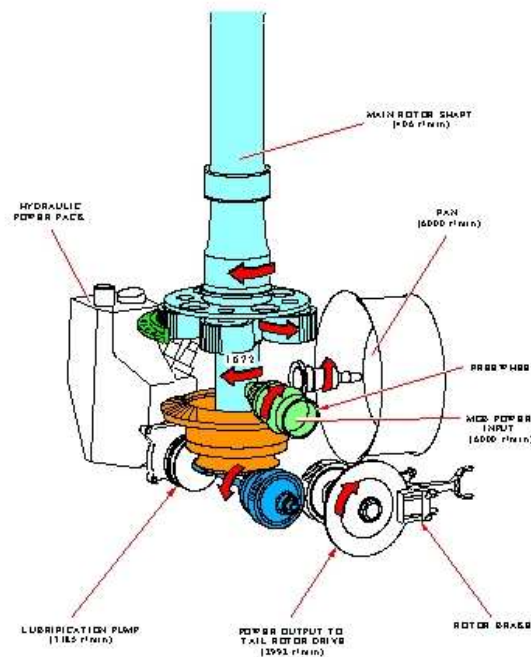


Figure 1. Detailed Description - Main Gearbox

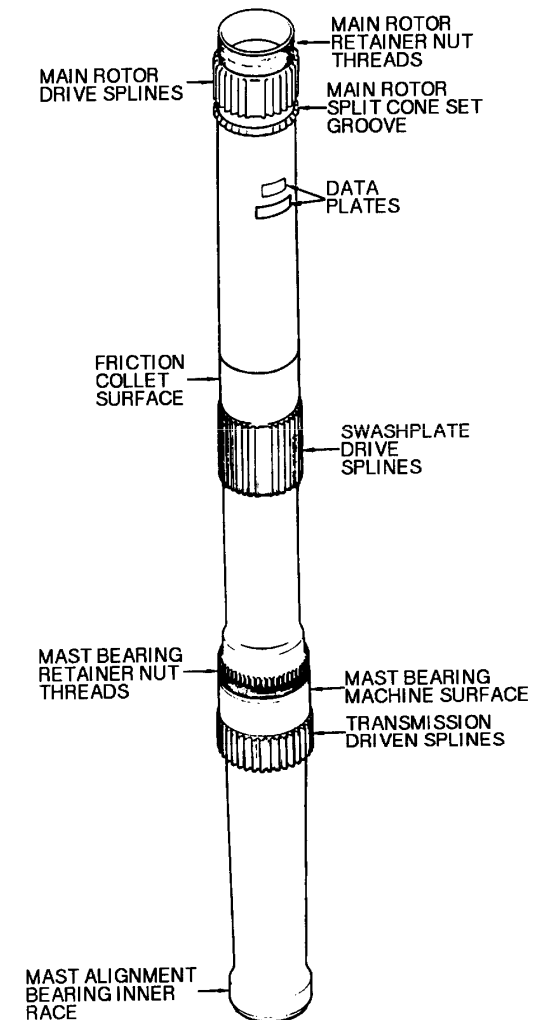
Sheet 1.





## MÁSTIL

- Generalmente un eje tubular construido de acero (Bell 230), alineado con la transmisión por medio de una serie de cojinetes.
- Presenta una serie de zonas estriadas y roscadas.
- En las estriadas van acoplados: el rotor principal, el conjunto de mandos y plato oscilante, el sistema planetario de la transmisión principal del cual toma movimiento.





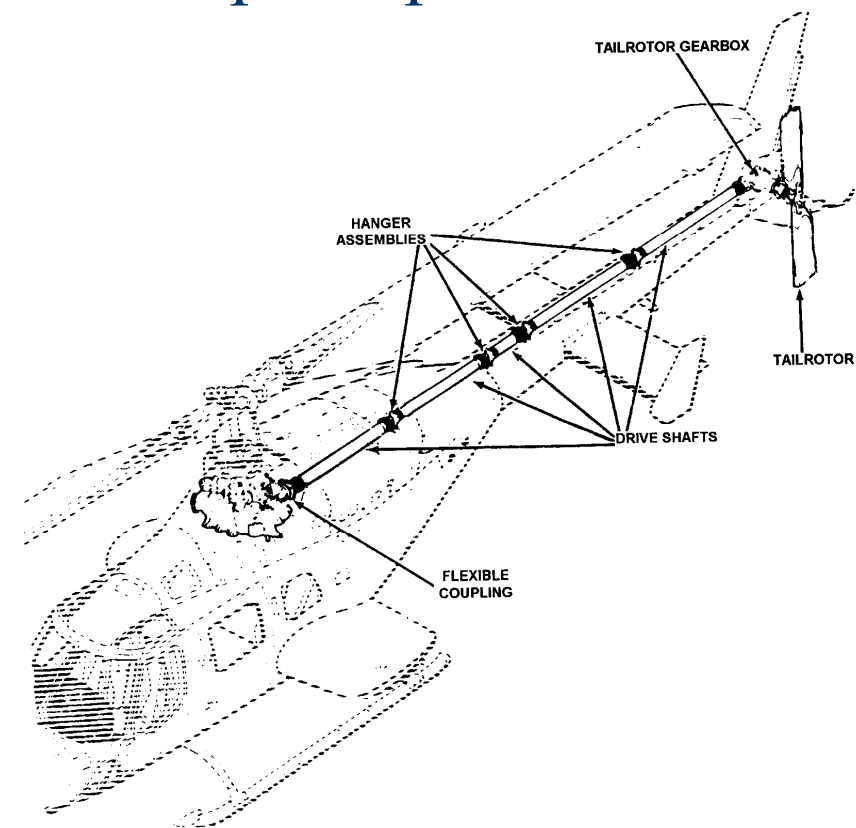
## MÁSTIL

- Sobre las zonas roscadas van:
  - la tuerca de retención del rotor principal,
  - la tuerca de retención del cojinete superior del mástil,
  - la tuerca de retención del cojinete inferior del mástil.



## TRANSMISIÓN AL ROTOR DE COLA

- Conjunto de elementos que transmiten el movimiento de la transmisión principal al rotor de cola.





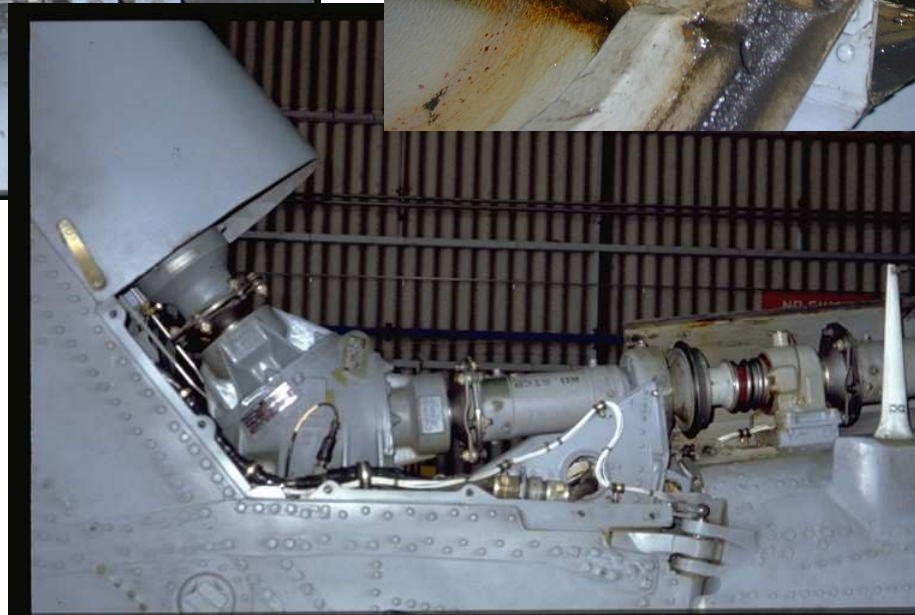
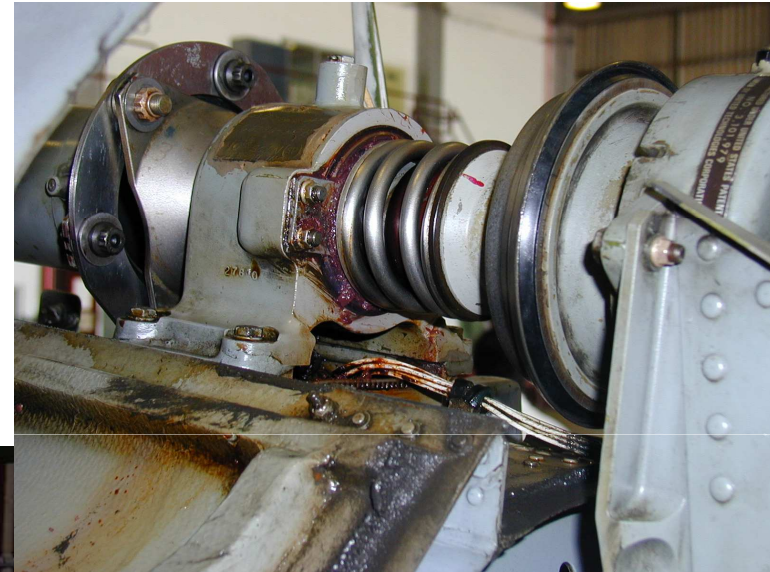
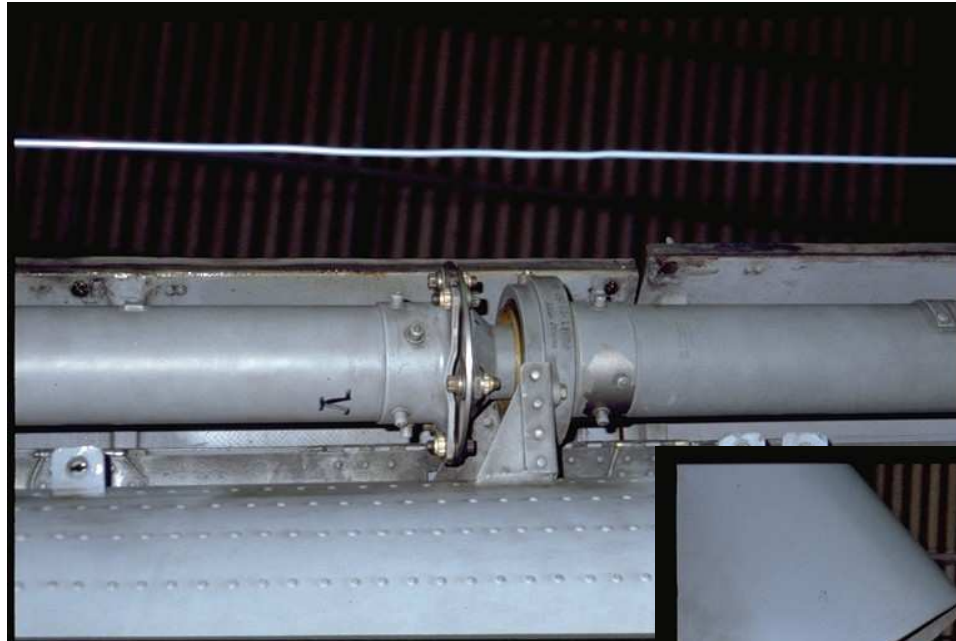


## TRANSMISIÓN AL ROTOR DE COLA

- Movimiento por medio de un eje dividido en una serie de tramos, una o dos cajas de engranajes y acoplamientos diseñados para absorber las vibraciones del sistema (*hangers*) y desajustes en el alineamiento de los ejes.



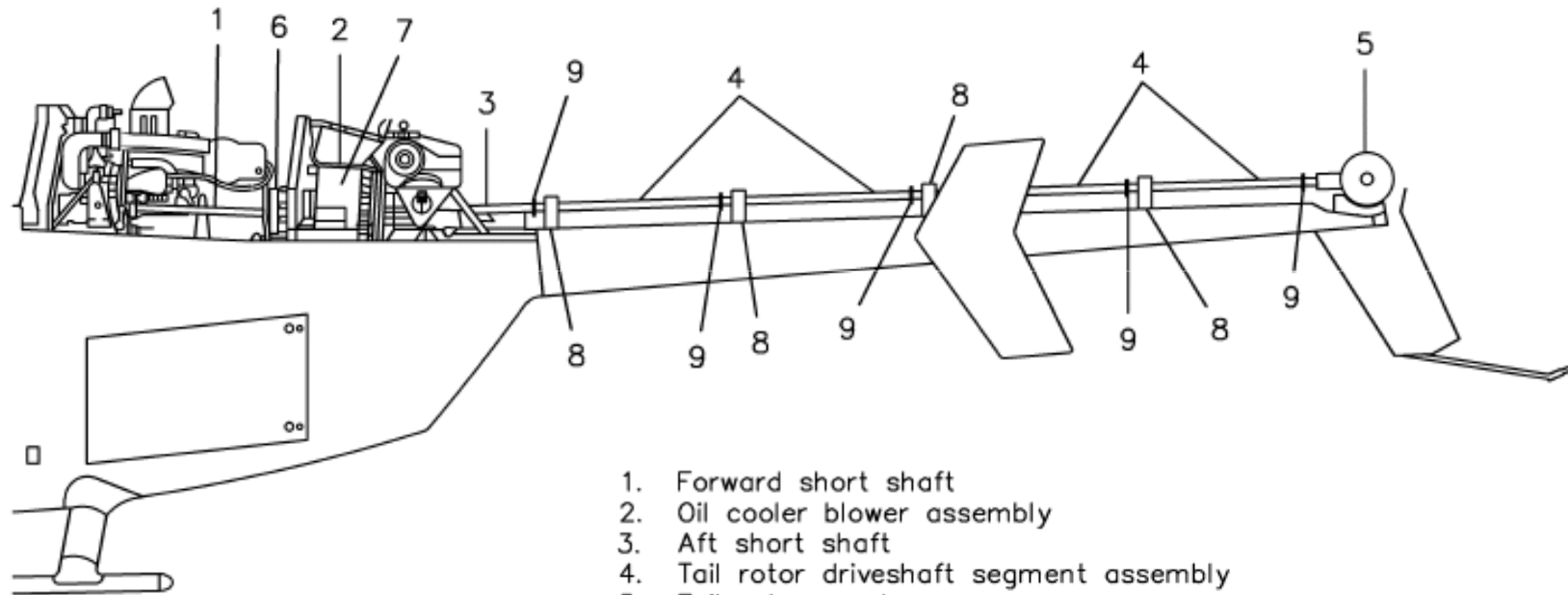
## TRANSMISIÓN AL ROTOR DE COLA





## TRANSMISIÓN AL ROTOR DE COLA

- Bell 407.

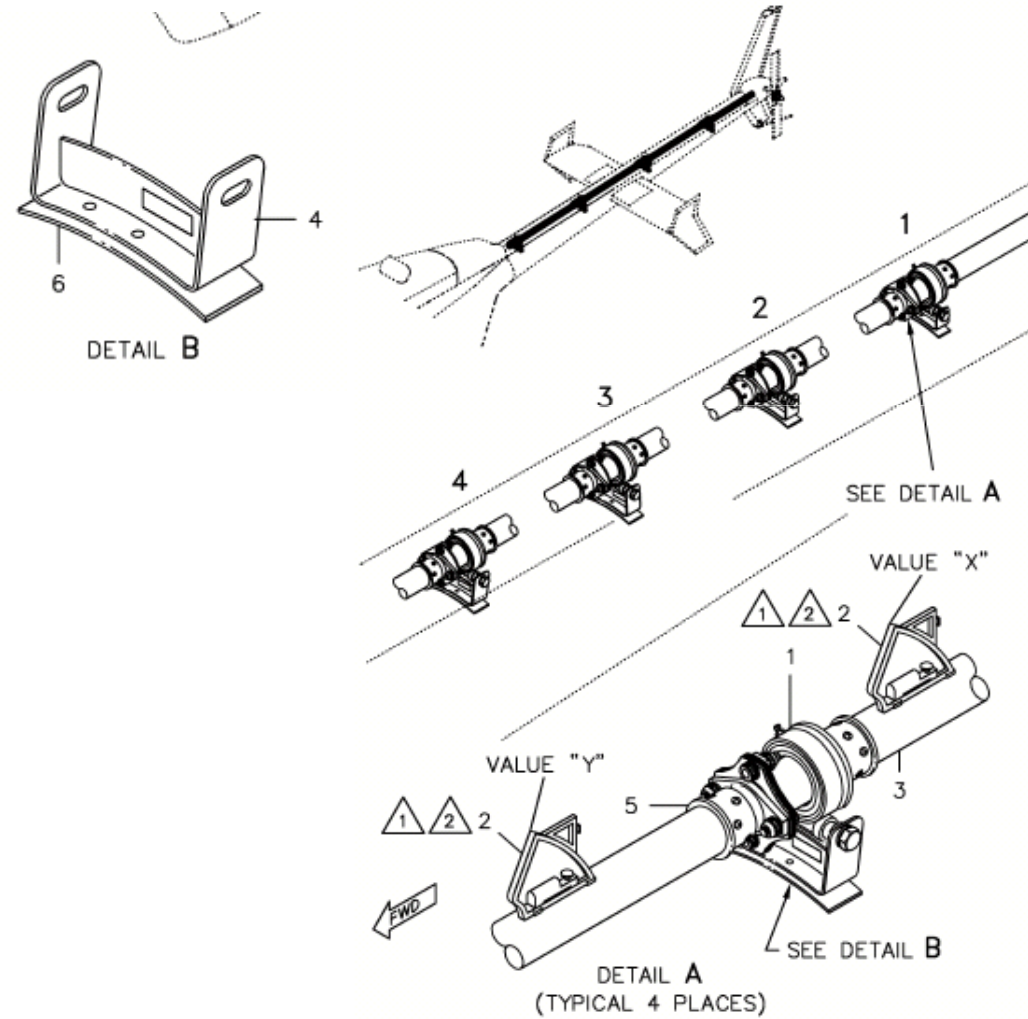


1. Forward short shaft
2. Oil cooler blower assembly
3. Aft short shaft
4. Tail rotor driveshaft segment assembly
5. Tail rotor gearbox
6. Splined flywheel adapter (S/N 53000 thru 53442 pre BHT-407-II-30), splined adapter (S/N 53443 and sub. or S/N 53000 thru 53442 post BHT-407-II-30)
7. Weights (qty-2) (S/N 53443 and sub. or S/N 53000 thru 53442 post BHT-407-II-30)
8. Bearing hanger
9. Coupling disc pack



## TRANSMISIÓN AL ROTOR DE COLA

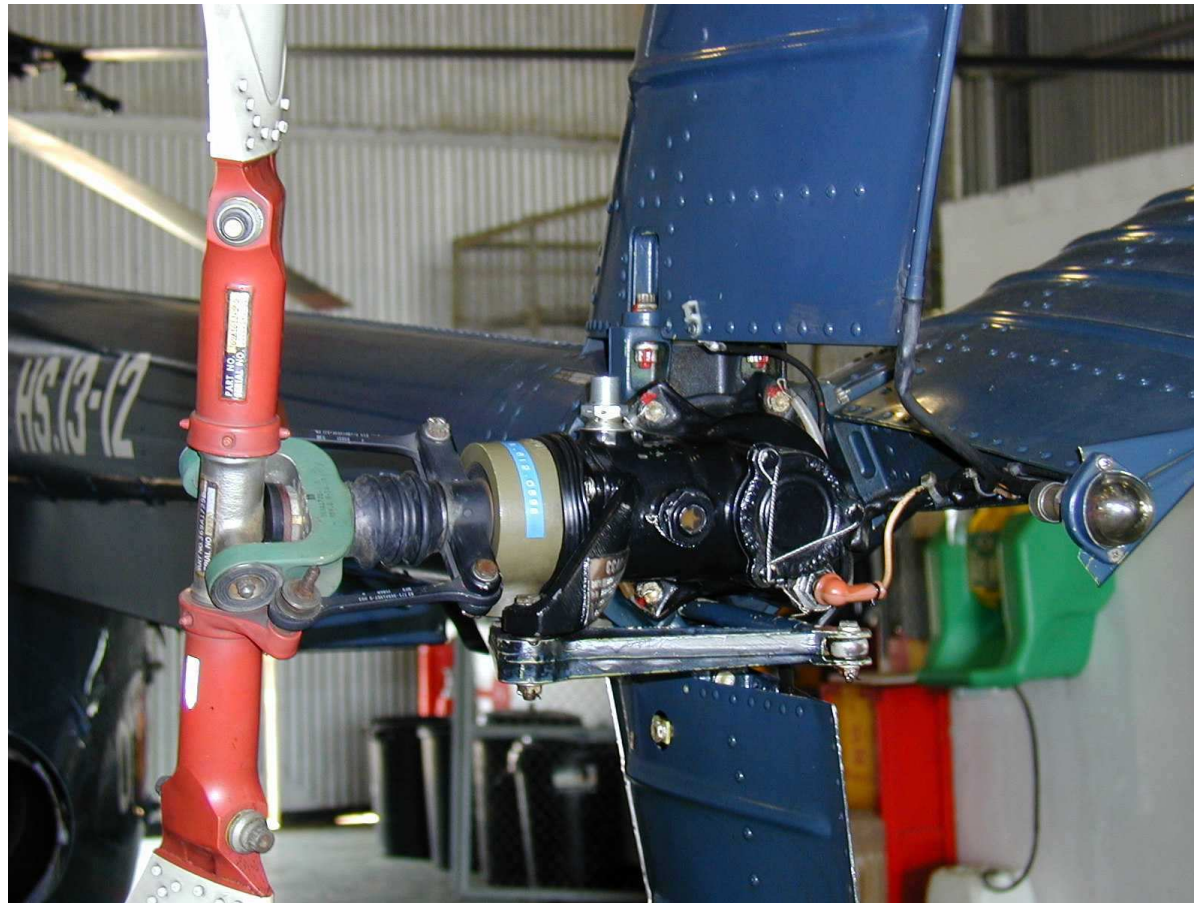
- Bell 407.







## TRANSMISIÓN AL ROTOR DE COLA





## Bibliografía

- M.A. Barcala Montejano y A.A. Rodríguez Sevillano. *Helicópteros. Teoría y Descriptiva*. Sección de Publicaciones E.U.I.T.A. Fundación General U.P.M.
- Alastair K. Cooke, Eric W.H. Fitzpatrick. *Helicopter Test and Evaluation*. Blackwell Science.
- A.R.S. Bramwell, George Done, David Balmford. *Bramwell's Helicopter Dynamics*. Butterwoth Heinemann, 2 edition 2001.
- J. Gordon Leishman. *Principles of Helicopter Aerodynamics*. Cambridge University Press, 2000.
- J. Seddon, Simon Newman. *Basic Helicopter Aerodynamics*. Blackwell Science, second edition 2002.
- John Watkinson. *The Art of the Helicopter*. Elsevier Butterwoth Heinemann, 2004.