ACOPLAMIENTO NO CONVENCIONAL

ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Ing. Carlos Barrera 2026

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



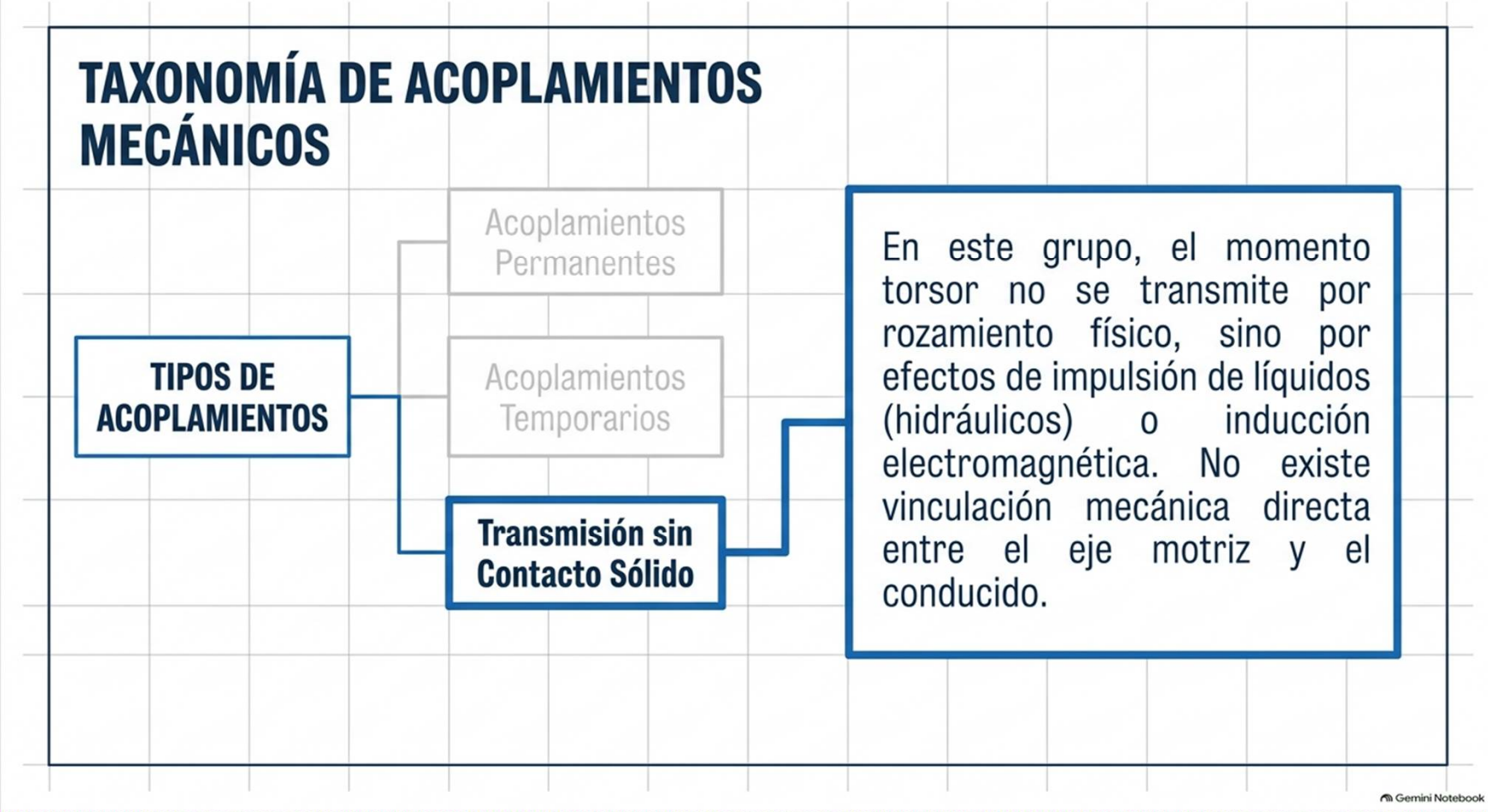
16:29

Ing. Carlos Barrera

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

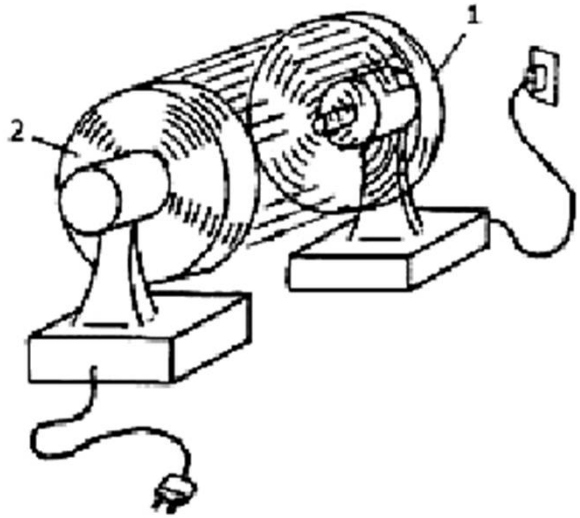


Incluimos dentro de este grupo de acoplamientos a aquellos en que el momento transmitido no lo es por rozamiento sino por otros efectos (hidráulicos, inducción magnética, etc)

EMBRAGUE HIDRÁULICO

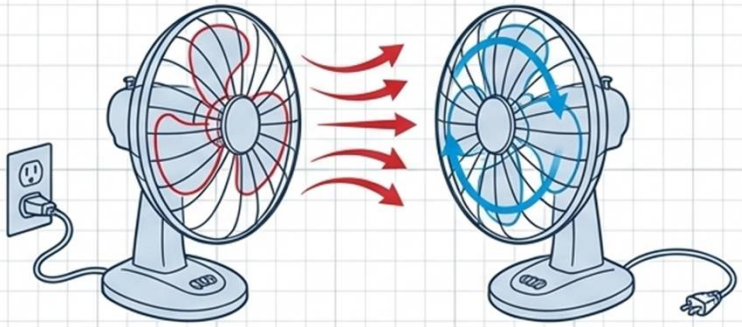
Está constituido por dos rotores idénticos, colocados frontalmente sobre los ejes motriz y conducido, a los que se les denomina **bomba o impulsor** y **turbina o conducido**. No existe vinculación mecánica entre ambos elementos. Por ello la cupla se transmite por efectos de impulsión de líquido.

Para entender el principio de funcionamiento, usemos el ejemplo de dos ventiladores enfrentados. El ventilador 1 conectado a la red, mueve el aire y lo proyecta como impulsor sobre el otro ventilador , que está sin conectar, éste último al recibir el aire se pone a girar



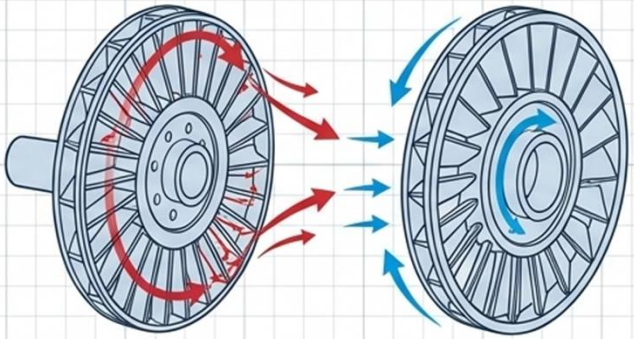
EL MODELO MENTAL: TRANSFERENCIA DE ENERGÍA CINÉTICA

LA ANALOGÍA



Dos ventiladores enfrentados. El 'Ventilador 1' (conectado a la red) mueve el aire y lo proyecta. El 'Ventilador 2' (desconectado) recibe el impacto del aire y comienza a girar por pura transferencia de energía cinética.

LA APLICACIÓN MECÁNICA



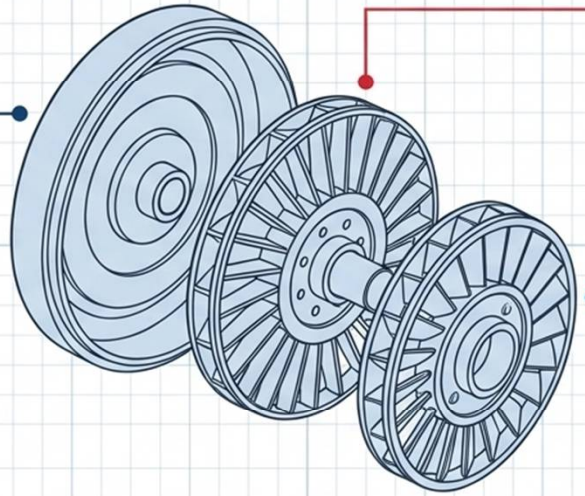
Reemplazamos el aire por aceite y los ventiladores por coronas de álabes.

Al arrancar el motor, el aceite contenido en la carcasa es impulsado por la bomba, formando un torbellino que choca contra los álabes de la turbina.

Gemini Notebook

ANATOMÍA DEL EMBRAGUE HIDRÁULICO

Carcasa: Contenedor hermético que aloja el fluido de trabajo.



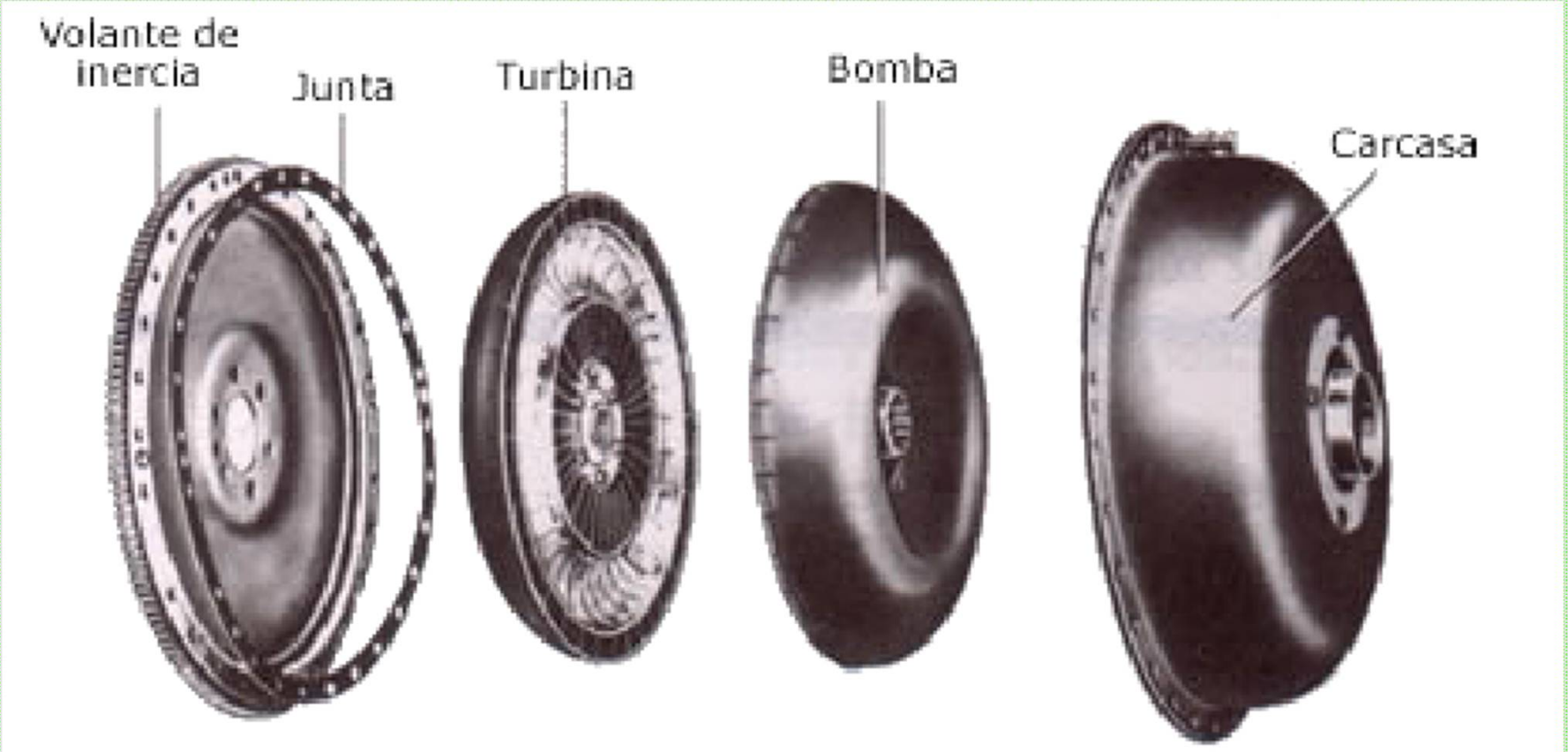
Bomba (Impulsor): Rotor conectado frontalmente al eje motriz. Impulsa el líquido.

Turbina (Conducido): Rotor idéntico enfrentado a la bomba. Recibe el impacto del fluido sin rozamiento metálico.

La transmisión de la cupla depende enteramente de la energía cinética del líquido fluyendo en el pequeño espacio entre los rotores.

Gemini Notebook

Ambos rotores van alojados en una carcasa y están separadas por un pequeño espacio para que no haya rozamiento entre ellos.



Despiece de un embrague hidráulico

Este tipo de embrague presenta el inconveniente de que no sirve para su acoplamiento a una caja de cambios normal, es decir, de engranes paralelos; ya que aun funcionando a ralentí, cuando el resbalamiento es máximo, la turbina está sometida a una fuerza de empuje que, aunque no la haga girar por ser mayor el par resistente, actúa sobre los dientes de los engranajes.

Por esta razón este embrague se utiliza en cajas de cambio automático. Para su acoplamiento a una caja normal, habría que intercalar un embrague auxiliar de fricción que permita desacoplar la caja de cambios en el momento del cambio. Debido a la inevitable pérdida de energía por deslizamiento del aceite en su acoplamiento para obtener el par máximo, los vehículos equipados con este tipo de embrague consumen algo más de combustible que los equipados con un embrague normal de fricción. Presentan también la desventaja de un mayor costo económico, así como la necesidad de tener que acoplar una caja de cambios automática.

VENTAJAS

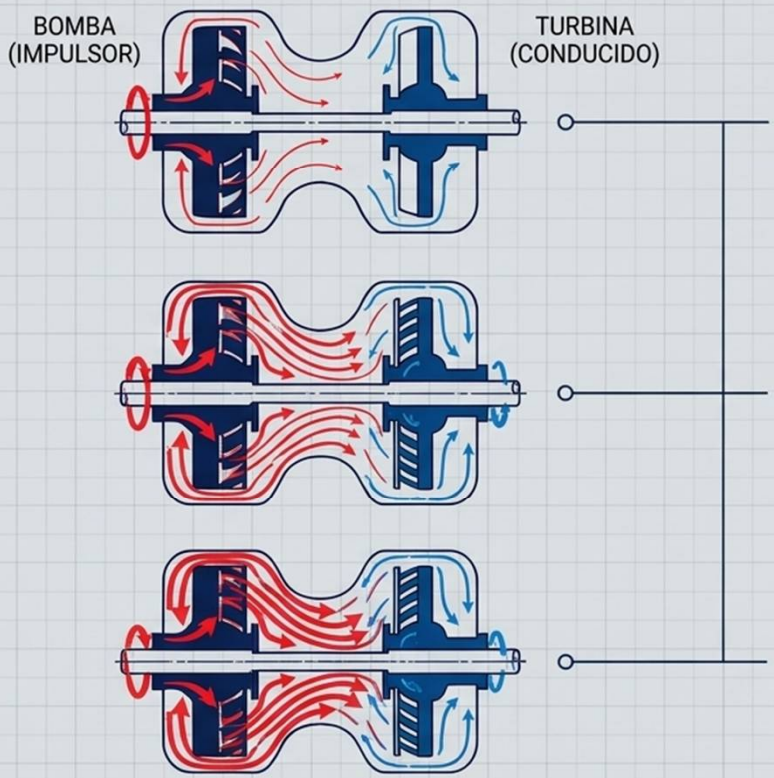
- ✓No hay contacto metálico entre los elementos motriz y conducido, por ello no hay desgaste. Circunstancialmente puede haber necesidad de cambio de un rodamiento o reten y reposición de aceite.
- ✓Permite el arranque gradual de la máquina conducida, ya que en el inicio el deslizamiento entre los árboles motriz y conducido es del 100% y se va reduciendo gradualmente.
- ✓Si se trabaja con un motor eléctrico el arranque puede ser directo, sin necesidad de sistemas de arranque.
- ✓Se eliminan las vibraciones torsionales
- ✓En caso de que el arranque fuera brusco, se puede regular el tiempo de arranque colocando en el interior del conjunto una cantidad de aceite menor hasta lograr la suavidad deseada.
- ✓El costo de estos acoplamientos es moderado.
- ✓Al no haber desgaste no requieren mayores gastos de mantenimiento ni paradas de reparación.

Pueden aplicarse contramarchas al equipo.

INCONVENIENTES

- ✓No permite un desacople directo.
- ✓Son voluminosos.
- ✓La velocidad del árbol conducido es un 2 a 4% menor que la del motriz, esto origina una pérdida de potencia.
- ✓En su funcionamiento normal, existe una fuerza axial que tiende a separar la bomba de la turbina.
- ✓No son adecuados para velocidades moderadas o reducidas.

FASES DE OPERACIÓN Y RÉGIMEN DE GIRO



Fase 1: Marcha Lenta (Ralentí)
Estado: Bomba gira lento, Turbina detenida. Deslizamiento = 100%.
Dinámica: La energía cinética del aceite es insuficiente para vencer el par resistente. No hay movimiento del vehículo.

Fase 2: Régimen Bajo/Medio (Acoplamiento Progresivo)
Estado: Bomba > Turbina.
Dinámica: Aumentan las RPM. El torbellino incide con mayor fuerza, venciendo la resistencia. La turbina comienza a girar con resbalamiento significativo.

Fase 3: Régimen Alto (Transmisión Plena)
Estado: Bomba ≈ Turbina.
Dinámica: Impulsión de aceite a máxima fuerza. El resbalamiento se reduce a un mínimo del 2% al 4%. El par motor se transmite casi íntegramente.

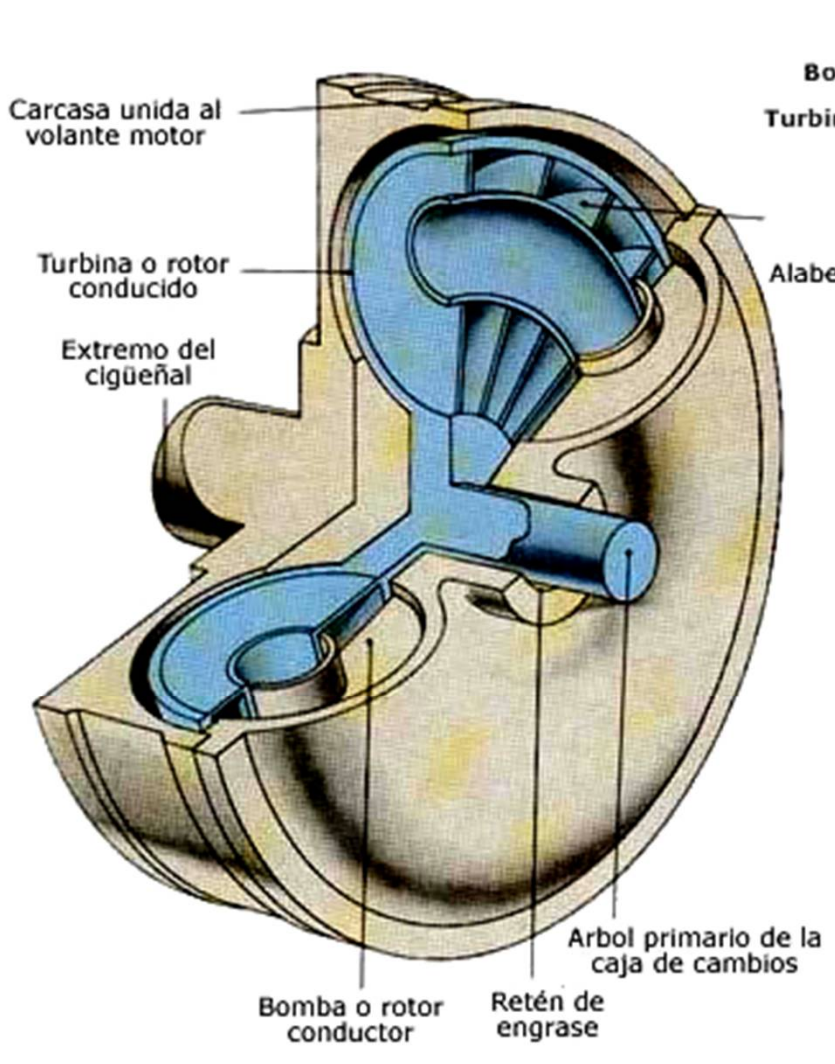
Gemini Notebook

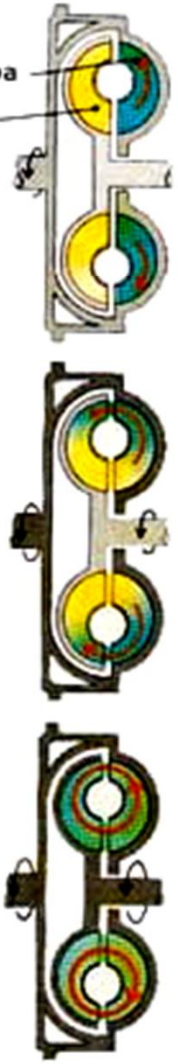
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Esquema y funcionamiento de un embrague hidráulico





Marcha lenta o ralentí: A esta velocidad el volante motor mueve la bomba o rotor conductor impulsando el aceite con tan poca fuerza que es incapaz de mover la turbina o rotor conductor por lo que el vehículo no se mueve.

Regimenes bajo y medios: A medida que el motor va aumentando de revoluciones, aumenta la fuerza del aceite impulsado por la bomba, contra los alabes de la turbina, por lo que esta empieza a moverse y a cojer velocidad. La velocidad de la bomba sigue siendo superior al de la turbina

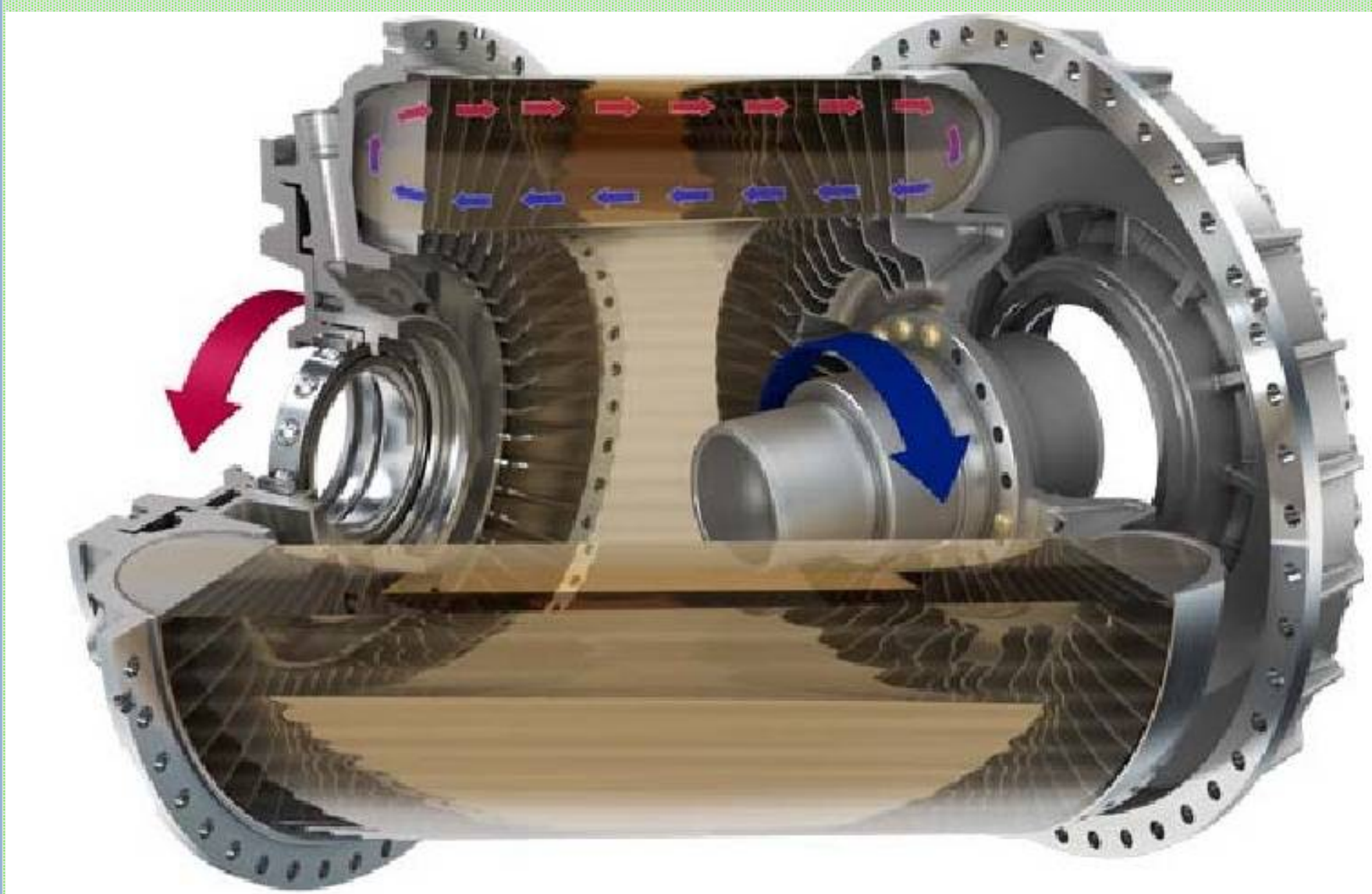
Regimenes medios y altos: a partir de un nº de revoluciones alto, la velocidad de la bomba y la turbina se igualan por lo que se transmite todo el regimen del motor a la caja de cambios

16:29

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



16:29

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

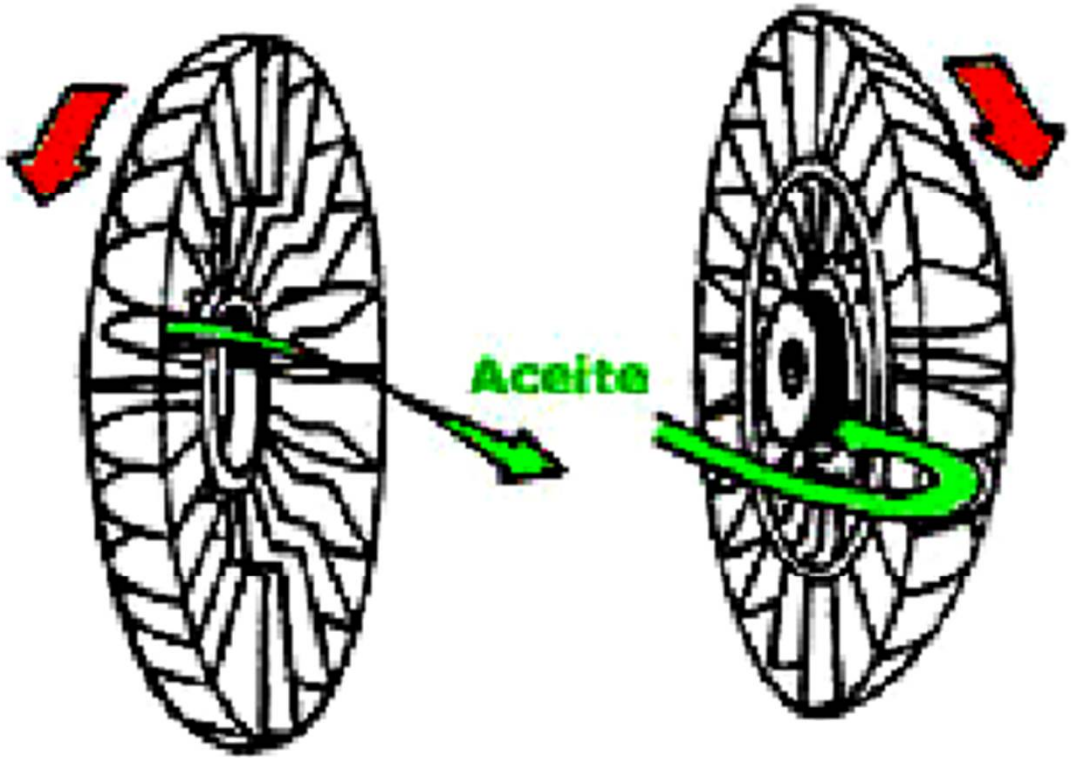
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



Voith Turbo Fluid Coupling Hydrodynamicsavi.wmv

16:29



Coronas de un embrague hidráulico

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Cuando el motor comienza a girar, el aceite contenido en la carcasa es impulsado por la bomba, proyectándose hacia la turbina. Dicho aceite es arrastrado por la propia rotación de la bomba, formándose un torbellino.

La energía cinética del aceite que choca contra los álabes de la turbina, produce en ella una fuerza que tiende a hacerla girar.

Cuando el motor gira en ralentí, la energía cinética del aceite es pequeña y a la turbina se transmite una fuerza que es insuficiente para vencer el par resistente.

Hay un resbalamiento entre bomba y turbina con lo que la turbina permanece sin movimiento.

A medida que aumentan las revoluciones del motor, el torbellino de aceite va incidiendo con más fuerza sobre los álabes de la turbina.

Esta acción vence al par resistente y la turbina comienza a girar, mientras que se verifica un resbalamiento de aceite entre bomba y turbina debido al acoplamiento progresivo del embrague.

Cuando el motor gira rápidamente desarrollando su par máximo, el aceite es impulsado con gran fuerza en la turbina y ésta es arrastrada a gran velocidad, existiendo un pequeño resbalamiento entre ambas (del orden del 2 al 4 % aproximadamente con par de transmisión máximo).

El par motor se transmite integro a la transmisión de embrague, cualquiera sea el par resistente y de esta forma, aunque se acelere rápidamente el movimiento del vehículo se produce progresivamente, existiendo un resbalamiento que disminuye a medida que la fuerza cinética va venciendo al par resistente.

El deslizamiento está dado por la siguiente expresión:

$$S = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{\Delta\omega}{\omega_1} = \frac{\Delta n}{n_1}$$

Ш1: Velocidad angular del impulsor

Ш2 : Velocidad angular de la turbina.

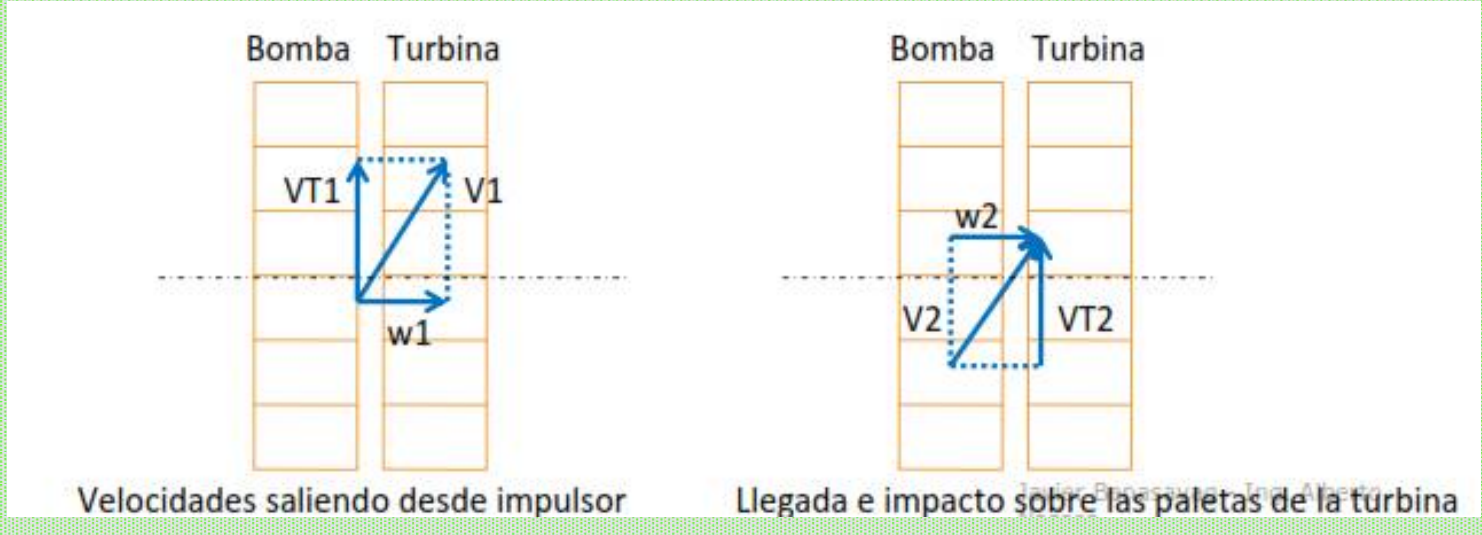
Sobre la carcasa hay tapones para el vaciado y el relleno de líquido, y en algunos casos un tapón con metal de bajo punto de fusión, que en caso de sobretemperatura evite el estallido del embrague.

La temperatura normal de trabajo es del orden de 80º

Tomando el filete de corriente medio, tenemos dos velocidades componentes:

1) Una velocidad relativa ш1 con la dirección axial que le imprimen las paletas.
2) Una velocidad de dirección tangencial

La velocidad absoluta es la suma vectorial de dichas velocidades.

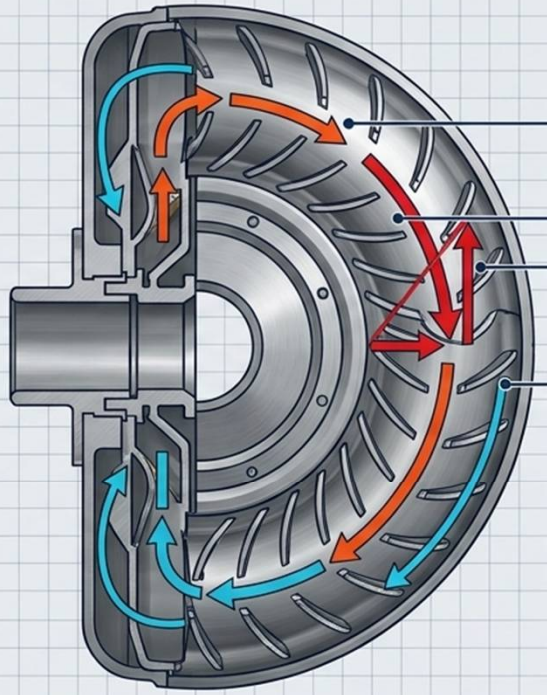


DINÁMICA DE FLUIDOS INTERNA: EL TORBELLINO

Dynamic Engineering Blueprint

Tomando el filete de corriente medio, el flujo desarrolla una velocidad absoluta que es la suma vectorial de dos componentes:

1. Velocidad Relativa (Axial): La dirección que le imprimen las paletas de rotor a rotor.
2. Velocidad Tangencial: Provocada por la rotación general del conjunto.



Safety & Thermo

PANEL DE SEGURIDAD TÉRMICA

- **Temperatura normal de trabajo:** ~80ºC.
- **Mecanismo de seguridad:**
  Tapón con metal de bajo punto de fusión en la carcasa. En caso de sobretemperatura extrema, se funde para evacuar el fluido y evitar el estallido del embrague.

Gemini Notebook

La cupla entregada por la máquina motriz se puede expresar por la siguiente ecuación:

$$Mt = k^* s^* D^5 * n_1^{\,2}$$

k: depende de las proporciones geométricas del diseño.

La potencia absorbida es:

$$N_1 = K_1 * s^*$$

El rendimiento:

$$\eta = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\eta = 100 - s\ (\%)$$

Los rendimientos están comprendidos entre el 96 y 98 %

Potencia perdida en el acoplamiento:

$$\Delta N = N_1 - N_2$$

Calor generado en el acoplamiento:

- En régimen, la potencia que se transforma en calor será:

$$Q_{GEN} = 632.\Delta N = 632.\lambda.N_1$$

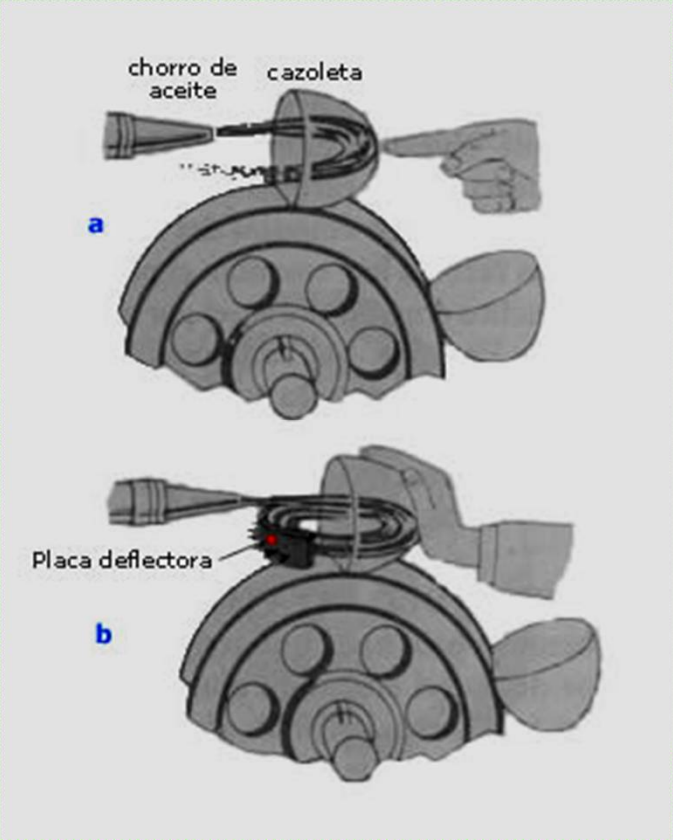
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

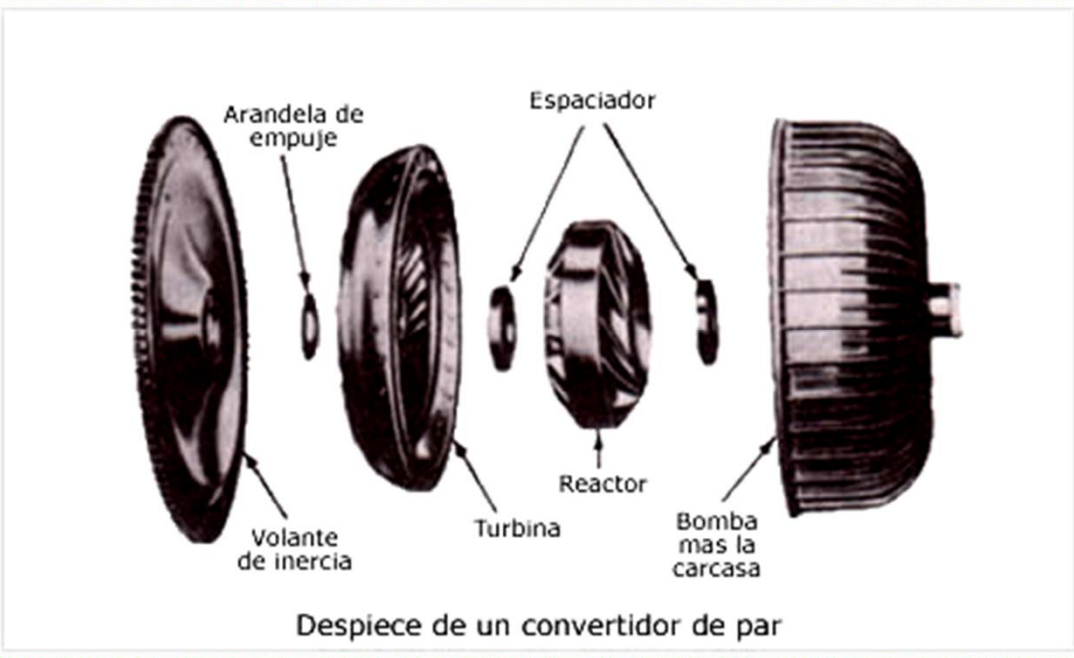
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

CONVERTIDOR DE PAR O CUPLA

Son elementos de transmisión hidráulica que permiten que el árbol de salida pueda tener una cupla superior a la de entrada.





Despiece de un convertidor de par

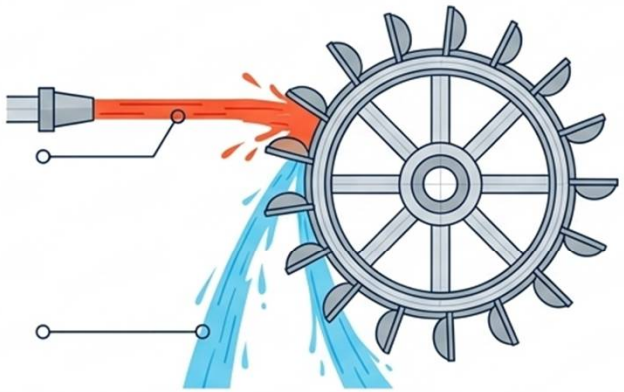
Ing. Carlos Barrera

LA EVOLUCIÓN: EL CONVERTIDOR DE PAR

Concepto Clave: A diferencia del embrague simple, el convertidor de par es capaz de aumentar por sí solo el par del motor antes de transmitirlo al eje de salida.

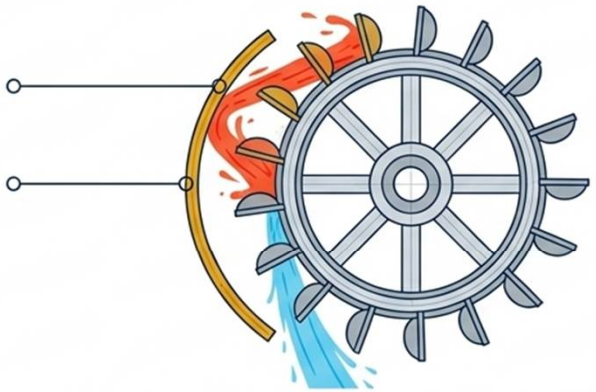
LA ANALOGÍA DE LA NORIA

Sin Deflector (Embrague)



Sin Deflector (Embrague): Un chorro de aceite empuja la taza de una noria. La fuerza es limitada; el fluido rebota y se pierde.

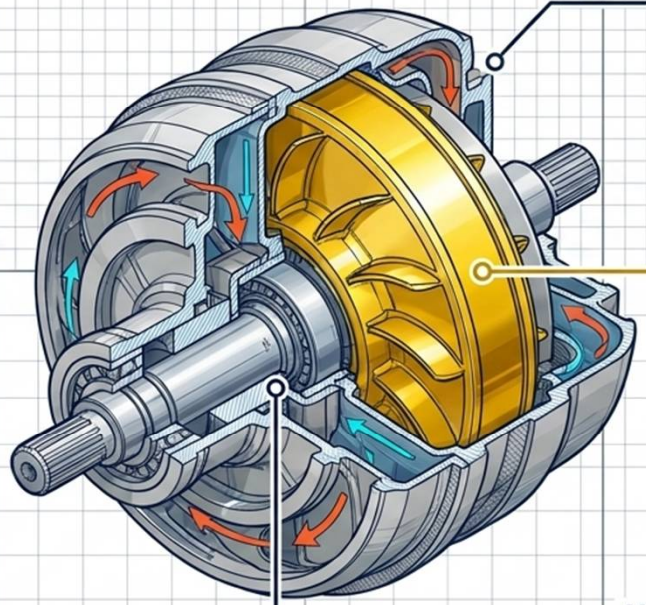
Con Deflector (Convertidor)



Con Deflector (Convertidor): Se añade una placa deflectora. El aceite empuja la taza, rebota en la placa, y es dirigido de nuevo contra la taza, reforzando el empuje. Se requiere mucha más fuerza de resistencia para detener la rueda.

Gemini Notebook

ARQUITECTURA DEL CONVERTIDOR: LA PIEZA FALTANTE



Bomba y Turbina: Mantienen sus funciones clásicas de impulsión y recepción de energía cinética.

El Reactor (Estátor): El elemento intermedio clave. Posee álabes con curvatura opuesta a los de la bomba y la turbina.

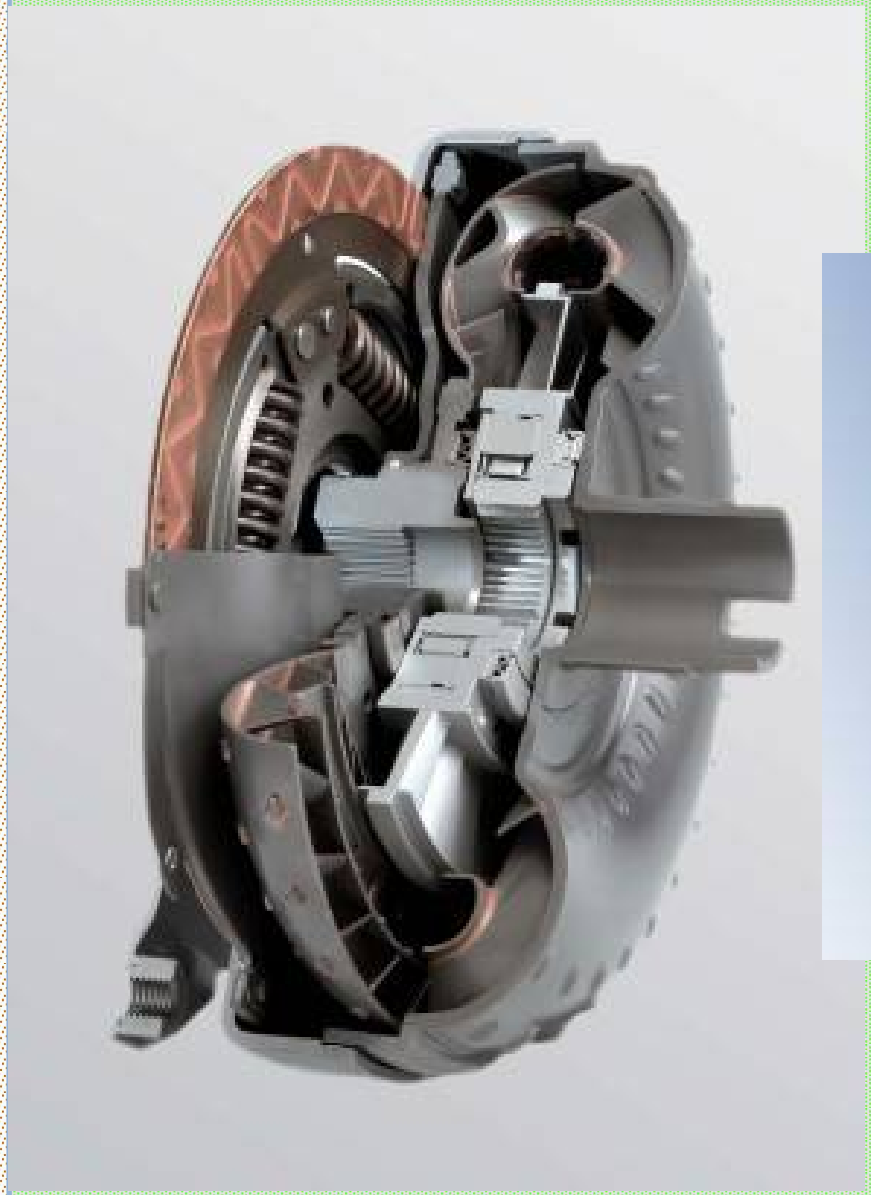
Mecanismo de Rueda Libre: Soporta al reactor sobre un árbol hueco unido a la caja de cambios. Permite que el reactor gire en un solo sentido, bloqueándolo en el sentido opuesto.

Gemini Notebook

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS





16:29

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El convertidor de par tiene un funcionamiento que se asemeja al de un embrague hidráulico pero posee una diferencia fundamental, y es que el convertidor es capaz de aumentar por sí sólo el par del motor y transmitirlo. En la figura superior vemos el principio de funcionamiento tanto del embrague hidráulico y del convertidor. En a tenemos una rueda con unas tazas como si se tratara de una rueda de noria de las utilizadas para sacar agua de los pozos. Hacemos incidir un chorro de aceite a presión sobre la taza, esta es empujada moviendo la rueda. Vemos que la fuerza de empuje no es grande ya que con un dedo de la mano paramos la rueda. En b hemos añadido una placa deflectora entre el chorro de aceite y la taza: Ahora el chorro de aceite empuja la taza pero en vez de perderse rebota en la placa deflectora que lo dirige otra vez contra la taza por lo que se refuerza el empuje del chorro. Vemos ahora que el empuje del chorro sobre la taza es mayor y necesitamos mas fuerza en la mano para evitar que gire la rueda

En la figura superior se muestra un esquema de los componentes del convertidor hidráulico.

Además de la bomba y de la turbina característicos de un embrague hidráulico, el convertidor de par dispone de un elemento intermedio denominado reactor. La rueda de la bomba está accionada directamente por el motor mientras que la turbina acciona el eje primario de la caja de velocidades.

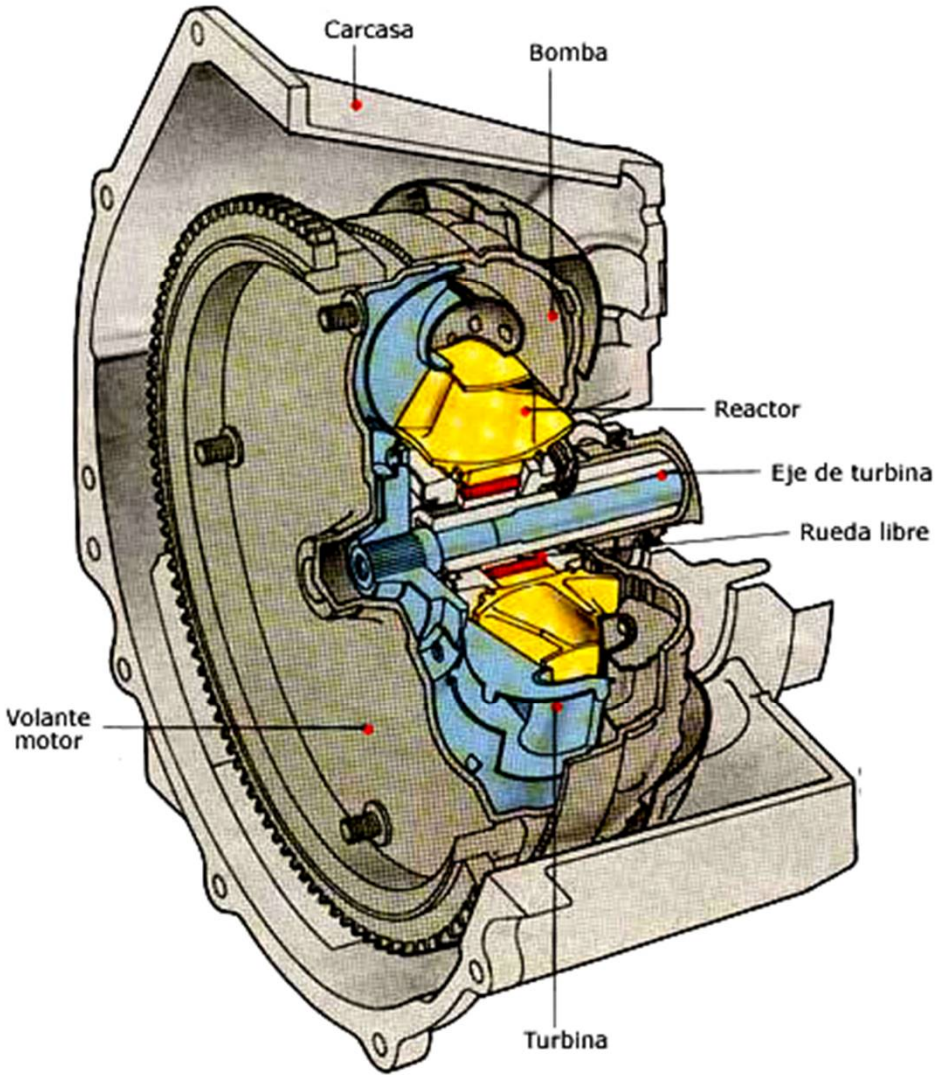
El reactor tiene un funcionamiento de rueda libre y está apoyado en un árbol hueco unido a la carcasa de la caja de cambios. Tanto la bomba como la turbina y el reactor tienen alabes curvados que se encargan de conducir el aceite de forma adecuada.

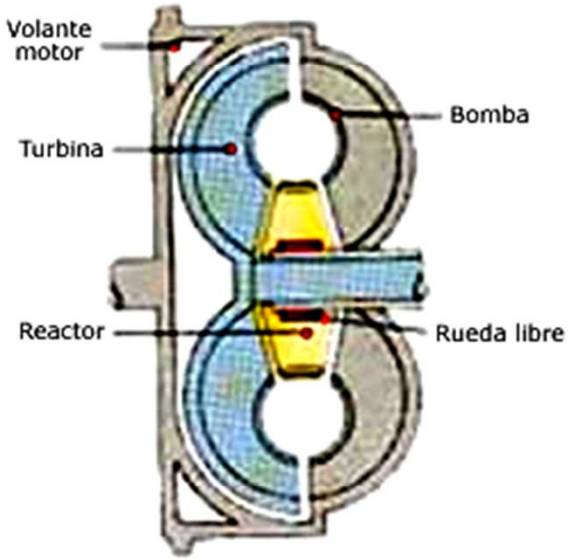
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Esquema y sección de un convertidor de par





www.mecanicavirtual.org

Ing. Carlos Barrera

Al girar la bomba accionada directamente por el movimiento del cigüeñal, el aceite se impulsa desde la bomba hasta la turbina. A la salida de ésta el aceite tropieza con los álabes del reactor que tienen una curvatura opuesta a los de la bomba y turbina. Esta corriente de aceite empuja al reactor en un giro de sentido contrario al de la bomba y la turbina. Como el reactor no puede realizar ese giro ya que está retenido por la rueda libre, el aceite se frena y el empuje se transmite a través del aceite sobre la bomba. De esta forma mientras exista diferencia de velocidad de giro entre la bomba y la turbina el momento de giro (par) será mayor en la turbina que en la bomba. El par cedido por la turbina será pues la suma del transmitido por la bomba a través del aceite y del par adicional que se produce por reacción desde el reactor sobre la bomba y que a su vez es transmitido de nuevo sobre la turbina. Cuanto mayor sea la diferencia de giro entre turbina y bomba mayor será la diferencia de par entre la entrada y la salida del convertidor, llegando a ser a la salida hasta dos y media veces superior.

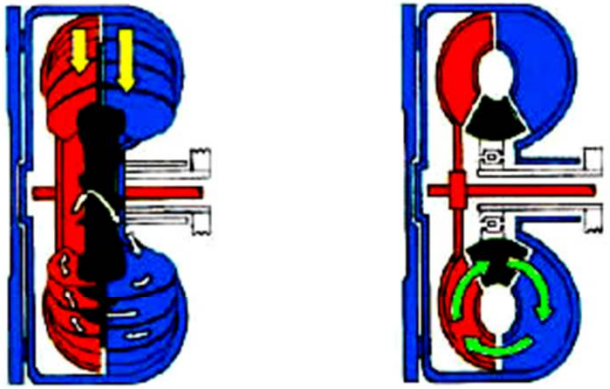
Conforme disminuye la diferencia de velocidad va disminuyendo la desviación de la corriente de aceite y por lo tanto el empuje adicional sobre la turbina, con lo que la relación de par entre salida y entrada va disminuyendo progresivamente. Cuando las velocidades de giro de turbina e impulsor se igualan, el reactor gira incluso en su mismo sentido sin producirse ningún empuje adicional de forma que la transmisión de par no se ve aumentada comportándose el convertidor como un embrague hidráulico convencional.

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

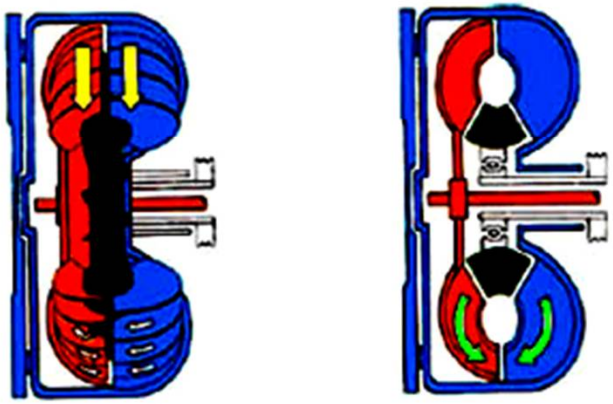
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

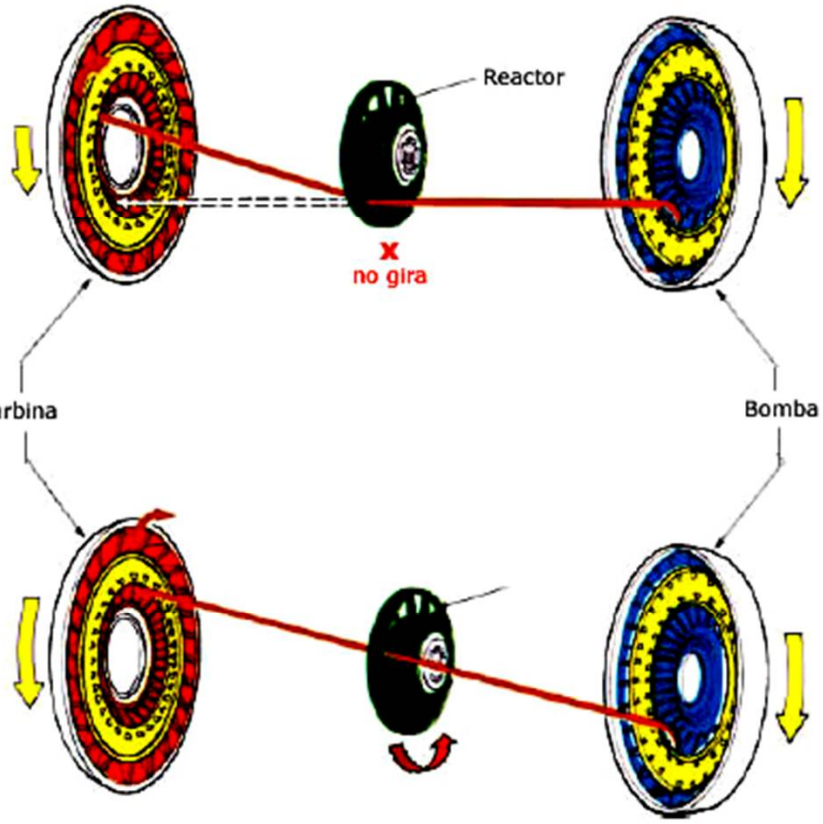
Funcionamiento del convertidor de par



La bomba gira mas rapido que la turbina, existe resbalamiento, el reactor no gira y el par aumenta.



Se igualan las velocidades de la bomba y la turbina, casi no hay resbalamiento, el reactor gira y lo hace en la misma dirección, no hay aumento de par.



www.mecanicavirtual.org

Ing. Carlos Barrera

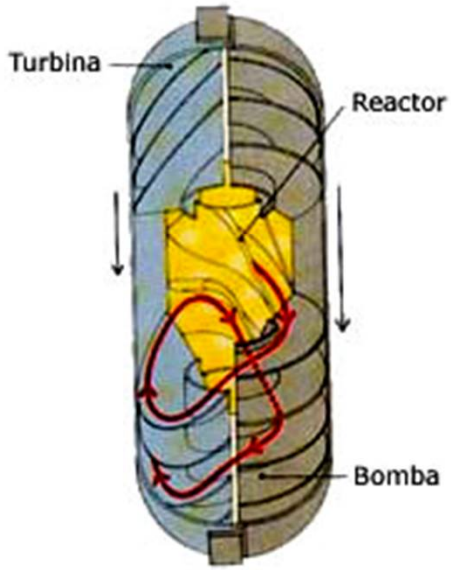
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

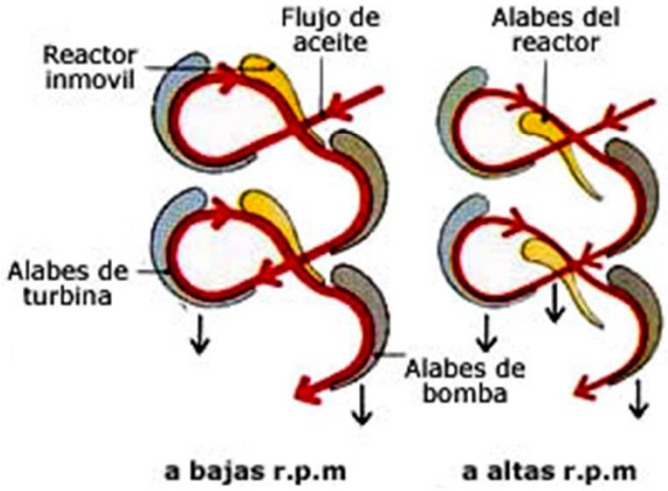
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Funcionamiento interno del convertidor de par



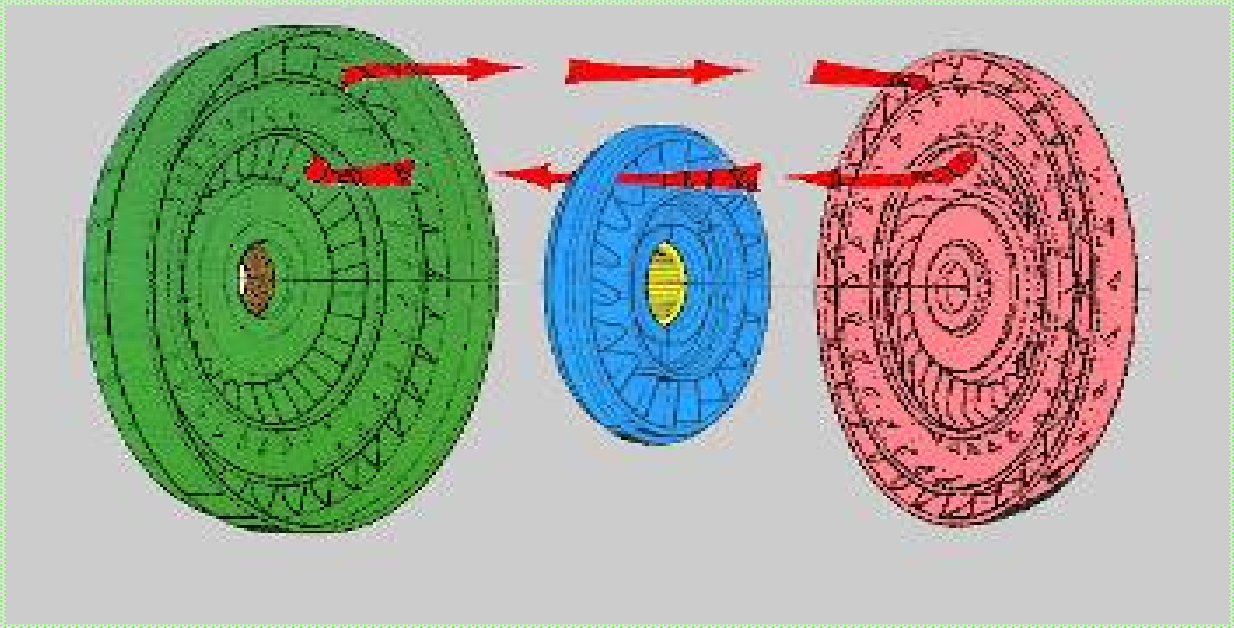




16:30

Como ya se ha dicho la clave para que el par sea amplificado radica en el estator.
En el clásico embrague hidráulico, durante los períodos de alto deslizamiento, es decir cuando las velocidades de giro de la bomba y la turbina son muy diferentes, el flujo del fluido que regresan de la turbina a la bomba lo hace en una dirección que no es la de los álabes de esta última, por lo que de cierto modo obliga a la bomba a cambiar su dirección y dirigirlo de nuevo a la turbina para trasmitir el par, claro está que este efecto conlleva a una pérdida significativa de la eficiencia y una generación de calor residual considerable.
En las mismas condiciones, en un convertidor de par, el líquido que regresa de la turbina por los álabes interiores será redirigido por el estator de modo que entrará a los álabes interiores de la bomba en una dirección muy próxima al perfil de los álabes de esta (Figura 2), así una buena parte de la energía del fluido de retorno se recupera y se añade a la energía que aplica a la bomba. Esta acción provoca un aumento sustancial de la masa de fluido que se dirige a la turbina, produciendo un aumento en el par de salida.

Fig. 2



En el convertidor de par, a diferencia de los álabes colocados radialmente en un embrague hidráulico normal, tanto la turbina como el estator tienen álabes en ángulo y curvos. La forma de los álabes del estator es lo que altera la trayectoria del fluido, y lo obliga a coincidir con la rotación de la bomba. La curvatura de los álabes de la turbina ayuda a dirigir correctamente el líquido de regreso al estator por lo que este último puede hacer su trabajo. La forma de los álabes es importante ya que pequeñas variaciones pueden resultar en cambios significativos en el desempeño del convertidor.

Durante el arranque y la etapa de aceleración, en las que se produce la amplificación del par, el estator permanece estacionario debido a la acción de su embrague unidireccional y porque recibe flujo de la turbina que lo tiende a hacer girar en contra de la bomba. Sin embargo, cuando el convertidor de par se aproxima a la fase de acoplamiento, la energía y el volumen del líquido que regresan de la turbina disminuirá gradualmente, todo el sistema girará como parte del torbellino rotatorio de fluido, el mecanismo de rueda libre se libera y las tres piezas giran en la misma dirección de la bomba como un conjunto.

Desafortunadamente, una parte de la energía cinética del fluido se perderá debido a la fricción y la turbulencia, lo que causa que en el convertidor se genere calor residual, y hace que la eficiencia nunca será del 100%. Este efecto, a menudo referido como pérdidas por bombeo, será más pronunciado cerca de condiciones de arranque. En los diseños modernos, la geometría de las aspas minimiza las pérdidas, lo que permite que la turbina se pueda quedar bloqueada durante largos períodos con poco peligro de sobrecalentamiento.

De todas formas, al igual que en los embragues hidráulicos, el convertidor de par necesitará de un sistema de enfriamiento del aceite para evitar que la temperatura llegue a valores peligrosos para el fluido y el sistema.
Lo mas común es que los convertidores de par utilizados en los automóviles tengan un rango de amplificación del par que oscila entre 1.8 a 2.5, durante el arranque, y en general hay un compromiso entre eficiencia y amplificación del par de forma que a mayor amplificación es menor la eficiencia.

Si sumamos los momentos torsores que actúan sobre el conjunto tendremos no solo los de la bomba y turbina, sino además el momento torsor del reactor.

MATRIZ DIAGNÓSTICA: EMBRAGUE HIDRÁULICO VS. CONVERTIDOR DE PAR

	EMBRAGUE HIDRÁULICO	CONVERTIDOR DE PAR
Arquitectura Base	2 Elementos (Bomba, Turbina)	3 Elementos (Bomba, Turbina, Estátor)
Relación de Par Entrada/Salida	Siempre 1:1 (Transmite íntegro, no multiplica)	Variable, multiplica el par hasta 2.5x en el arranque
Perfil de Álabes	Colocados radialmente y rectos	En ángulo y fuertemente curvos
Aplicación Principal	Transmisiones industriales, arranque gradual de motores simples	Cajas de cambio automáticas vehiculares y maquinaria pesada

Nota: En altas RPM, cuando la rueda libre se libera, el Convertidor pasa a comportarse funcionalmente igual que el Embrague Hidráulico.

Gemini Notebook

Exigencias al líquido de servicio

PARÁMETROS OPERATIVOS Y EXIGENCIAS DEL FLUIDO

Ambos sistemas sufren pérdidas por bombeo y turbulencia que generan calor residual, requiriendo refrigeración externa y un fluido con especificaciones rigurosas.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL LABORATORIO

CLASE DE VISCOSIDAD	ISO VG 32 (DIN 51519)
VISCOSIDAD DE ARRANQUE	Inferior a 15000 mm^2/s (cSt)
PUNTO DE FLUIDEZ	Al menos 4ºC por debajo de la temperatura ambiental mínima.
PUNTO DE INFLAMACIÓN	>180ºC (y mínimo 40ºC sobre la respuesta térmica de los fusibles de seguridad).
ESTABILIDAD QUÍMICA	Producto refinado de alta resistencia al envejecimiento térmico.
COMPATIBILIDAD DE JUNTAS	Apto para NBR (caucho acrilonitrilo-butadieno) y FPM/FKM (caucho fluorado).

Referencias: Voith Systems / Manual del Automóvil (Arias-Paz).

Gemini Notebook

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS


Der Drehmomentwandler.wmv


ZF TTD.wmv


02 El Convertidor de Torque.wmv


Torque converter Catia V5.wmv

16:30

Ing. Carlos Barrera

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

BIBLIOGRAFIA

Manual del Automóvil **Arias-Paz**

- www.voith.com