

*“Caja de cambios mecánica y sus componentes mas críticos”.*

Acceso:

Este documento es el fruto de mi desempeño como jefe de taller de Transportes Tabach, empresa de buses de la región metropolitana de Santiago. En complemento con “Diferencial, modo de falla mas común”, permite percibir mejor, el cuadro completo de las fallas que teníamos que corregir apresuradamente, primero, por la implementación de TranSantiago, segundo, disminuir los costos de operación, era prioritario hacerlo si queríamos invertir en tecnología.

Cada tema o concepto obedece a la investigación y la realidad operativa que teníamos por delante, fue confrontado con el trabajo correctivo que generaba este tipo de transporte, sirvió para capacitar a muchas personas que laboraban en esta actividad.

El periodo descrito comprende Octubre de 2002 a Enero 2007, fecha que marca el termino de la actividad de esta emprendedora y ejemplar empresa, obviamente no licitamos, según las bases, no reuníamos los requisitos (¿?).

Con certeza, sostengo, que, en este rubro, éramos los únicos que implementamos un sistema predictivo de mantenimiento, el trabajo de los mecánicos se ejecutaba soportado por computadora en sus aspectos informáticos de la mantención, más los manuales de servicio digitalizados de la marca de buses que operábamos.

El modo de trabajo predominante de las maquinas, que aun hoy persiste, es a base de cortos carrerones, detenciones bruscas, veloces salidas de la inercia, rodeado de una importante contaminación con polvo-arena ambiental, calles inundadas en el Invierno, una pésima condición vial, etc..

Aun así, era una actividad que se auto sustentaba.

Bien, les presento mi trabajo de investigación e implementación practica.

Darwin Inostroza Basso.

*“Caja de cambios sincronizada”.*

El conjunto de sincronización sin lugar a dudas constituye dolor de cabeza para conductores, mecánicos y empresarios. Factor insoslayable a considerar dentro de la crisis de mantenimiento que afecta a grandes y medianas empresas de distribución de carga y pasajeros de la gran ciudad.

Poca literatura se encuentra respecto de su filosofía y modo de funcionamiento, el conocimiento técnico está diseminado en distintos libros de lubricación, diseño de engranajes, aspectos correctivos del manual de mantenimiento. Lo que sí se encuentra con facilidad es literatura descriptiva de cómo desarmar, inspeccionar, cambiar piezas y armar este complejo mecanismo de precisión y transmisión encargado de aplicar siempre la correcta velocidad – fuerza (potencia – torque) del motor con respecto del resto del árbol de transmisión, según sea la condición de la marcha y la geografía del terreno.

El desconocimiento de la forma como trabaja interiormente, a menudo lleva a que se rompa el ciclo dinámico de la falla que está en situación de progreso (esta comienza con una fatiga superficial de engranes o en la superficie de contacto de los rodamientos, también el pulido de los conos de sincronización o desgaste por impactos sostenidos en el tiempo del espolón de entrada de los pequeños dientes del engranaje de sincronización), cuando este esquema es alterado y ocurre un imprevisto, se tienen que dejar de lado labores de mantenimiento moderno predictivo y programado, que es lo que las grandes fábricas automotrices recomiendan hacer. La fuerte competencia interna a la que se ven enfrentadas las empresas de transportes y el fuerte gasto que representa un correctivo de caja de cambio dañado por falta de lubricación o por mala operación, esto afecta de manera perjudicial el presupuesto de mantenimiento.

Cuando se conoce la condición difícil de operación, los esfuerzos repetidos de, pararse, salir de la inercia, lograr una alta velocidad en pocos metros, luego frenar, así, repetir este ciclo unas 1000 o 2000 veces en un día como mínimo (con 2 o 3 operadores a veces), con escasa refrigeración (ventilación), el lubricante sometido a grandes presiones y altas temperaturas, con una presencia importante de agua lodosa y polvo ambiental en invierno, toda esta masa viscosa circulando por todo el sistema de lubricación y enfriamiento interno de engranajes y rodamientos. Es previsible conocer el curso de la falla y el momento más crítico de la misma cuando se tiene la información adecuada, mediante análisis de aceite u otros sistemas de búsqueda (sensor de calor, vibración), esto permite anticiparse a la falla antes de que esta se ponga catastrófica.

Un correctivo a tiempo y programado es bueno para la economía de la empresa, pero no siempre ocurre así.

El desconocimiento respecto del funcionamiento del mecanismo de embrague y desembrague, tanto en el conjunto disco plato de presión, como de los conos de sincronización de la caja de cambios, el mal uso de ellos producto de una

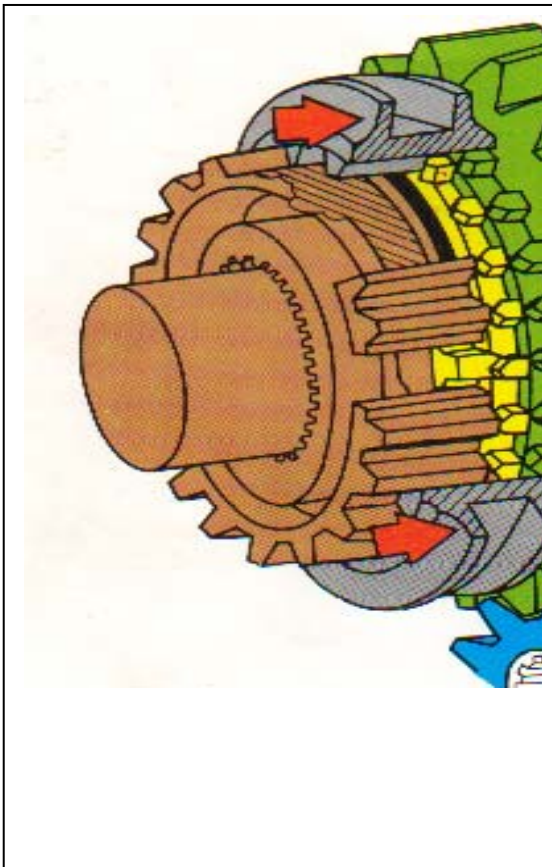
manipulación forzada y defectuosa de parte del conductor, hace la diferencia en los costos de mantenimiento en comparación con otras empresas del rubro. Un sistema operado de manera forzada, su requerimiento correctivo será periódico y de alto consumo de repuestos y mano de obra especializada.

(Vamos a describir brevemente el concepto operativo que rige este mecanismo:

Textual, "Diseño de maquinas" de Robert L Norton, capítulo 15, embragues y frenos, pagina 961, así describe el problema el autor citado:

"Las transmisiones de automóviles casi siempre cuentan con engranes helicoidales, para una operación silenciosa, en razón de su ángulo de hélice, las transmisiones manuales de engranes helicoidales no es posible acoplarlos y desacoplarlos con facilidad, por lo que, a fin de acoplar una relación de velocidad específica, todos ellos son mantenidos en acoplamiento constante, embragándose y desembragándose de la flecha de transmisión.

Cada engrane tiene conectado a su flecha un embrague con dispositivo de cambio sincronizado, este embrague está formado por superficies cónicas de fricción que arrastran los dos elementos (flecha, engrane) hasta una velocidad relativa cercana a cero, antes que se acoplen los dientes de su compañero en el embrague de contacto positivo.



La palanca de velocidad, movida por el conductor, está desplazando estos embragues de sincronía ya sea para acoplar o dejarlos fuera de acoplamiento. Esto evita tener que mover los engranes."

Dos aspectos deseo comentar, la palanca de cambios debe desplazarse con suavidad, coordinar el accionamiento del conjunto disco plato de presión con respecto del régimen de rotación del motor, si el motor se encuentra en un rango distinto, al momento de acoplar la transmisión, esta disparidad entre la inercia de

la maquina y el régimen del motor se traduce en un gran aporte de energía cinética al movimiento de la maquina, ya sea para darle mas impulso o para frenarlo.

Cualquiera de las dos acciones resultan perjudicial para la vida operativa del árbol motor en general, ya que el daño sistemático se ira sumando hasta romper los mecanismos mas impactados (la disparidad en los giros del motor con respecto de la velocidad de la maquina, no se puede medir, los torques encontrados pueden sobrepasar varias veces la fuerza del motor).

El autor dice: "al acoplar, la diferencia en los giros de los mecanismo de sincronización deben ser los mas cercano posible a cero".

Dos tipos de falla serían como las más frecuentes, la primera, el desgaste normal por uso, resultado de la condición de trabajo y de la cultura del operador, es predecible la ocurrencia de una falla, si evaluamos el fierro, aluminio, cobre, en partes por millón, en cada cambio de aceite o unas 3 veces por año como mínimo, podremos determinar una tendencia alcista de alguno de ellos, ubicar la causa raíz que lo esta provocando, si se puede, ejecutar algún tipo de corrección dentro de lo posible sin desarmar este componente, normalmente este correctivo de bajo costo operativo enmienda algún tipo de falla o debilidad del lubricante, una frecuencia cambio de aceite incorrecta, contaminantes externos que estén afectando la estructura del aceite. Si se trata de una práctica incorrecto de conducir o una sobrecarga, es el tiempo de corregirla antes de provocar una rotura de piezas.

Hasta aquí todos nos esforzamos y participamos buscando la mejor solución y la más rentable a los intereses empresariales (la parte inteligente del tema).

La segunda ocurrencia sería el desgaste prematuro o rotura de los mecanismos de arrastre del cambio que conectan los dispositivos de sincronización a los engranajes conectados al eje principal, esta sería catastrófica, ocurre en un par de segundos provocando a veces la rotura de engranajes o el quiebre de los rodamientos de rodillos cónicos que soportan axialmente la carga de los ejes. Sin lugar a dudas, nadie desea este tipo de falla, por ser antieconómica desde todo punto de vista y dañina para la estructura en general de la caja de cambios, ya que la fractura se produce después de un gran esfuerzo que va por encima de la resistencia mecánica de ejes y engranajes, las consecuencias posteriores serian no predecibles, otros mecanismos podrían fatigarse y fallar mas adelante como por ejemplo el taladro básico que aloja ejes y rodamientos, podría desalinearse provocando una crisis de repetidas fallas a veces sin tener evidencia de la causa raíz.

Ruptura del cono de sincronización de 5º, 2 fuerzas contrarias se estrellan con gran violencia.



(El operador de la maquina y de la caja de cambios no quería afectar el presupuesto de mantenimiento, eso queda claro, lo mas probable es que cometió un error involuntario amparado en una falta de conocimiento respecto de este tema, también un mal procedimiento de conducir obligado en cierta medida por una dura realidad de mercado que lo obliga a sobrecargar al árbol motor con el fin de captar pasajeros, así poder mejorar su fuente de ingresos).

El objetivo de este trabajo es desarrollar al concepto de transmisión rentable, hacerlo mas entendible, así mejorar al trato.

Algunos fabricantes de vehículos prefieren las cajas de cambio sin elementos de sincronización (brutas), disminuyen los componentes internos, obliga al conductor a sincronizar el giro del motor con el giro de las ruedas a modo manual con el pie puesto en el acelerador, de lo contrario el cambio no entra. Este tipo de caja en la practica no fallan nunca, su costo de mantención se limita a los cambios de aceite a frecuencias bien distanciados (entre 40 y 60 mil kilómetros en trafico de ciudad), con bajo desprendimiento de metales, temperaturas menores de operación al tener menos elementos rodantes.

Este tipo de transmisión ofrece solo ventajas económicas, pero requiere de un conductor mas concentrado en la actividad de conducir, ya que debe anticipar el momento del cambio de marcha, ya que si pierde la sincronización de la velocidad del motor con respecto de la inercia de la maquina, encontraría dificultades para engranar el siguiente cambio.

“Mecanismo de sincronización”

Se compone básicamente de lo siguiente:

*Cono de sincronización exterior*, dentado exteriormente, dotado de pista curvada para que el anillo de sincronización apoye suavemente, desplace el aceite, así logre emparejar las rotaciones de los engranes que se pretenden acoplar. Este mecanismo posee estrías interiores, así queda solidario al eje secundario.

*Anillo de sincronización interior*, dotado de pequeños dientes exteriores encargado de desplazarse axialmente cuando es empujado y trabado por la corona desplazable, que a su vez recibe la orden del conductor que se transmite mediante palancas, cardanes, juntas o piolas, a la horquilla que engancha directo a la corona desplazable.

*La corona desplazable*, dentada interiormente, puede acoplar una sola marcha cada vez, se desplaza axialmente hacia delante o hacia atrás, empujando el mecanismo de freno, para llevar rápidamente el giro de los engranajes desplazables a la misma velocidad del eje principal que se pretende acoplar. El eje principal esta anclado al cardan del vehículo, el que a su vez transmite la velocidad de las ruedas.

*Engranaje cuerpo de sincronización*, estriado interiormente para engranar al eje principal, dentado exteriormente para engranar y permitir el desplazamiento axial de la corona encargada de trabar las marchas.

*La rueda dentada (puede ser la 4º u otra relación)*, gira encima de cojinetes de agujas ensamblada al eje principal, exteriormente posee dientes de grandes dimensiones de forma helicoidal, estos van solidarios al eje intermediario, el que a su vez recibe el giro y torque del motor.

En su periferia posee pequeños dientes uniformes, encargados de recepcionar a la corona desplazable cuando esta después de frenar las marchas que se van a conectar a rotaciones idénticas, traba la relación entre el eje secundario y el intermediario permitiendo el movimiento de la maquina.

*Piezas de presión y resortes de compresión*, se ubican dentro del cuerpo de sincronización, se trata de 4 pivotes de cabeza redondeada, empujados por resortes que tiene como función localizar y fijar la posición axial de los anillos de sincronización en relación a la corona desplazable, también bloquea a la corona desplazable en posición neutral cuando esta no esta siendo empleada.

Conclusión, la misión de los cuerpos de sincronización es adaptar rápidamente las revoluciones del engranaje a las del eje principal. Eso significa también que el eje intermedio, el primario con los discos de acoplamiento, los demás engranajes, el disco de embrague, han de adaptar su giro a las revoluciones del eje correspondiente. En este esquema el concurso del operador es fundamental para gestionar adecuadamente la caja de cambios.

## Ejes de la caja de cambios

Como toda caja de cambios convencional posee 4 ejes, el primario (mas conocido como piloto), se ubica a la entrada de la carcasa frontal, centrado mediante cojinete de bolas con respecto del cigüeñal o a veces al centro del volante dentado de inercia del motor, estriado y conectado al cubo estriado del disco de embrague, recibe la potencia y la fuerza del motor ordenada por el conductor, esta energía del movimiento la traspasa al eje intermediario (contraeje o triple) mediante engranajes constantes que poseen ambos.

En este proceso queda asegurado el sistema de bombeo del aceite lubricante, que puede ser a través del giro dirigido de los engranes y por la dirección de los dientes helicoidales o bien por una bomba de rotor alojada y conectada al eje primario de la caja, así, mientras gire el motor, gira el primario, quedando asegurado la circulación a presión del fluido de lubricación y refrigeración interior de la caja de cambios y sus múltiples componentes de transmisión de fuerza.

El eje primario incorpora de modo fijo o bien acoplado el mecanismo de sincronización de la marcha directa, esta se llama así porque traspasa la potencia del motor a través del núcleo del eje secundario al árbol de salida en dirección al eje trasero diferencial sin más reducción.

(Nota, estamos describiendo la funcionalidad de una caja de cambios convencional de 4 o 5 marchas, este primer trabajo no incluye la descripción de los grandes grupos equipados con reductor a la salida del cambio y multiplicador a la entrada del cambio).

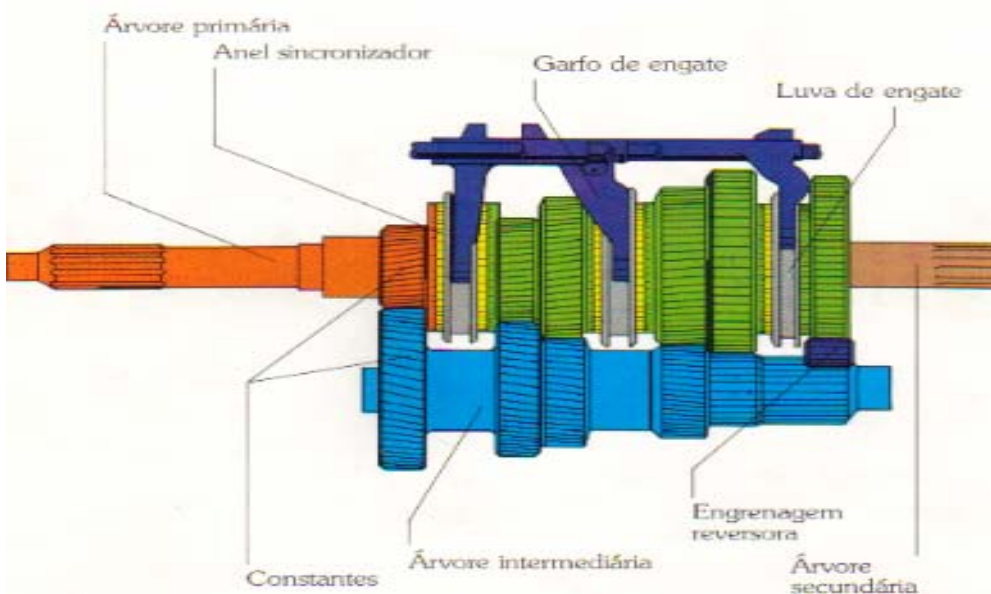
El eje secundario o principal se apoya en el extremo delantero mediante cojinete de bolas o de rodillos cónicos dentro del eje primario de la caja, en el extremo trasero del cárter de la caja, se apoya en un cojinete de rodillos cónico.

Incorpora los engranajes de las marchas los cuales están apoyados en cojinetes de agujas en el eje, los dispositivos de sincronización de las marchas están montados en piezas de arrastre provistas de estrías.

Todos los engranajes están provistos de pequeños dientes de acoplamiento, esto permite engranarse mediante collares o coronas desplazables con otra marcha, así permitir que el móvil pueda vencer distintos obstáculos geográficos sin tener que forzar la marcha.

El eje intermediario o contraeje forma una sola pieza con los engranajes de 1ª y marcha atrás, el resto de los engranes están metidos a presión en el eje y sin chavetas, en ambos extremos se apoyan en el cárter de la caja de cambios en cojinetes de rodillos cónicos.

El eje de la marcha atrás esta fijo sobre cojinetes con apoyo en la consola del cárter de la caja en el extremo trasero. El engranaje intermediario de la marcha atrás está apoyado en un cojinete de agujas montado en el eje, este se lubrica mediante una canal en el eje.



Sistema de lubricación de la caja de cambios.

Puede ser que se lubrique y se enfríe por la presión que generan los mismos engranajes al girar o bien la caja puede incorporar una bomba de aceite del tipo rotor, la cual puede estar montada al eje primario o bien al contraeje o secundario de la caja, ya que estos siempre están girando de acuerdo con el motor. El aceite es aspirado a través de un colador en la parte mas baja del cárter, transportando por un canal a la bomba para ser impulsado a través de otros canales a los rodamientos de agujas de las marchas desplazables y otras zonas vitales a lubricar y enfriar.

Pongamos en funcionamiento los dispositivos de sincronización para entender por que fallan prematuramente.

Los dispositivos de sincronización giran siempre a la misma velocidad que el eje principal (secundario), ya que la rotación es transmitida a través de las piezas de arrastre provistas de estrías. La misión del dispositivo de sincronización es llevar rápidamente los engranajes desplazables a la misma velocidad que el eje principal al cambiar de marcha.

Existe una diferencia de velocidad entre el cono exterior y el interior, además se interpone una película de aceite que debe ser desplazada. El cono interior gira por medio de la fricción con respecto del cono exterior, la corona desplazable al ser empujada por la horquilla bloquea su movimiento axial quedando trabada, pero como la horquilla quiere todavía desplazar mas la corona, aumenta la fricción



entre el cono interior y el exterior, de esa manera se obliga al engranaje desplazable a alcanzar la misma velocidad que el eje principal (secundario). Cuando los conos de sincronización interior y exterior giran a la misma velocidad, se alivia la presión entre el disco de la corona desplazable y la ranura en el tope del cambio, ahora la corona puede desplazarse un poco más en el sentido axial permitiendo el engrane con los dientes del engranaje desplazable.

El mecanismo del cambio consiste básicamente en una “palanca” de cambios de la cual tira el conductor, esta palanca esta dimensionada por el fabricante del vehículo para que el conductor encuentre cierta dificultad al efectuar la operación del cambio de marcha, para permitir cierta demora en los movimientos internos que faciliten que se produzcan los engranes de modo correcto sin dañar los conos de sincronización.

Esta acción se transmite desde la palanca de cambios a un transbulador, luego mediante árbol cardanico o transmisión por cable de acero, este movimiento rectilíneo/circular llega a la tapa de la caja de cambios donde es recepcionado por las barras correderas que normalmente son tres, estas a su vez comandan las horquillas que seleccionan las marchas.

### Engranajes helicoidales

El diseño del diente es muy similar a los rectos, la diferencia estriba en que sus dientes están inclinados en un ángulo de hélice con respecto al eje de rotación, este ángulo de hélice puede ser derecho o izquierdo.

Para las cajas de cambio podemos decir que un par de engranajes helicoidales opuestos, se acoplan en ejes paralelos.

Este tipo de engranaje se acoplan con una combinación de rodamiento y deslizamiento, se inicia el contacto en un extremo del diente barriendo a todo lo ancho de la cara del diente, este tipo de engrane operan con mayor silencio y menor vibración en comparación a los rectos debido al contacto gradual entre dientes.

Esta configuración de engranes helicoidales opuestos acoplados en ejes paralelos son capaces de transmitir elevados niveles de torsión y de potencia.

El diente helicoidal además de operar silenciosamente sus dientes son relativamente más resistentes que en un engrane recto, soportan mejor las cargas, son mas resistentes a la fatiga por flexión como a la fatiga superficial.

Se da el caso de que hay como mínimo dos dientes compartiendo la misma carga, mas dos periféricos, uno entrando, otro saliendo, produciendo una superposición helicoidal al acoplarse.

Por montaje, por la forma como hace contacto, este tipo de engranajes provoca una componente de fuerza radial que empuja hacia la periferia del eje, también se da una importante componente de fuerza que tiende a separar axialmente a los engranes, para resistir estas fuerzas, estos ejes normalmente se montan sobre

cojinetes de rodillos cónicos que poseen una gran capacidad para soportar elevadas cargas de empuje y radial.

Estos rodamientos normalmente se dejan con holgura axial, dependiendo del tipo de eje puede ser de 0,02 a 0,08 mm...

Uno de los motivos de esta tolerancia axial es permitir la dilatación y contracción de los ejes cuándo estos alcanzan altas temperaturas en su núcleo y requieren espacio para variar su longitud, también un factor de lubricación y refrigeración.

Función del lubricante en la caja de cambios.

Este debe cumplir ciertos requisitos de calidad y certificación de acuerdo a normas internacionales, normalmente estos aceites se caracterizan por tener menos aditivo extrema presión en comparación a un aceite de eje trasero diferencial, los aceites que mas se usan en este tipo de aplicaciones son aquellos que cumplen con la indicación del fabricante API G L 4, grado 80 w o similar.

También puede usarse un aceite de motor, de preferencia monogrado SAE 40 o SAE 50, según indicación del fabricante de la caja de cambios.

Un aceite muy viscoso dificulta la operación de apegarse de los conos de sincronización, este aceite no se desplaza, crea dificultades a los cambios de marcha, aumenta la fricción entre los conos, la temperatura de los mecanismos se eleva producto del roce, oxidando el aceite y provocando daños a las piezas de sincronización.

Un aceite viscoso circula más lento entre los cojinetes, se ponen mas pesados para girar, creando resistencia al giro del motor, esto lo lleva a gastar más combustible.

El requisito indispensable que debe cumplir el aceite de caja de cambios, cuando se aproximan los conos de sincronización, tiene que desplazarse rápidamente para que los discos se frenen y enganchen sus dientes.

Si el paquete de aditivo es demasiado fuerte, este mantiene la protección y no permite el contacto firme entre superficies diseñadas para apegarse y frenar, limitando la sincronización, quemando los sincronizadores y recalentando al aceite.

Parámetros de desgaste a tener en cuenta para determinar el cambio de aceite.

Los rangos mas comunes de metales de desgaste en el aceite, aceptados internacionalmente (Noria Corp., 338.02) son los siguientes.

Para cajas de cambio

Fe entre 30 – 400 ppm...

Cr entre 02 – 15 ppm...

Al entre 01 – 40 ppm...

Pb entre 10 – 75 ppm...

Cu entre 15 – 100 ppm...

Si entre 05 – 50 ppm...

La viscosidad del aceite puede variar hasta un 12 % respecto del valor observado con respecto de un aceite sin uso.

#### Inicio de la falla

En condiciones normales de operación, el ambiente agresivo que envuelve los elementos dentro de la caja producto de una contaminación en aumento, la falla podría comenzar con picaduras en las pistas de deslizamiento de los engranajes, esta tiene su origen en la contaminación del lubricante por tierra o partículas duras desprendidas de algún componente de la caja, esto provoca altas presiones en áreas muy pequeñas de la superficie que son transferidas a la estructura del diente, erosionándolo y hasta podría fracturarlo.

Este factor de contaminación también arremete a los rodamientos de rodillos cónicos que soportan las cargas de los ejes, desgastando la pista de rodadura hasta permitir una desalineación de la paralela de los ejes, a mayor desalineación se pierde la línea de trabajo y el esfuerzo tenaz de los dientes se traslada a los extremos, luego pueden desconcharse hasta romperse.

Este proceso gradual de deterioro hace que los ruidos y vibraciones comiencen a aumentar, se puede seguir operando por un tiempo más, pero a medida que el daño se vaya acentuando, los ruidos irán aumentando cada vez más.

#### Estilo de mantenimiento preventivo de la caja de cambios

1.- Mantener limpia la carcasa de la caja de cambios, ya que esta constituye el radiador de refrigeración del aceite de lubricación, el aceite debe mantener una temperatura constante entre 60° a 80° C., preferentemente.

2.- Cambiar el aceite según la frecuencia determinada de común acuerdo con el fabricante del aceite y el respaldo de su laboratorio.

3.- Tomar varias muestras de aceite, hacerlas analizar, por lo menos una tres veces por año.

4.- En la estación de invierno acortar la frecuencia cambio de aceite, este mecanismo a modo natural admite agua por respiraderos y sellos defectuosos en la época fría y húmeda.

5.- Mantener limpio y hermético el racor de salida del tubo elástico de respiración de la caja de cambios, si es necesario alejarlo lo más que se pueda de cualquier fuente de riesgo de ingreso de contaminantes.

Si es posible y la condición operativa así lo recomienda, rediseñar el respiradero, una manguera larga curvada, en esta se puede montar un pequeño filtro humedecido en aceite (como los que se ponían a los carburadores antiguos en la línea de abastecimiento de gasolina).

Medida 100% efectiva en las maquinas con motor trasero.

6.- Mantener bien ajustado los mecanismos de selección de los cambios, una buena disposición de ellos, evitara la descoordinación del conductor al seleccionar una marcha.

Evitar el surgimiento de fallas raíces producto de una mala operación.

Dar a conocer al conductor en términos generales el funcionamiento de este mecanismo complejo y caro de reparar.

Explicarle todos los pasos que tiene que dar para conectar adecuadamente el cambio de marcha.

Darle el tiempo necesario para que los conos de sincronización desplacen el aceite, sincronicen sus movimientos, así el cambio debe entrar suavemente.

Soltar el embrague con suavidad, para que la tracción se acople suavemente, si es posible sincronizar el giro del motor con el acelerador térmico, para que el motor se nivele a la velocidad inercial de la maquina, así evitamos esos dañinos golpes o empujones traccionales donde las dispares energías cinéticas chocan de manera violenta (la energía cinética del motor contra la energía cinética implícita en la marcha de la maquina).

Los conductores de buses de largo recorrido y camiones de gran tonelaje dominan a la perfección este método económico de conducir, ya que al hacerlo de este modo, la transmisión prácticamente no se daña nunca y el aceite triplica su vida útil. Así evitamos intervenciones innecesarias y a destiempo con el consiguiente beneficio económico para la empresa.

Nota: Los valores sugeridos como topes mínimos o máximos esperados de un análisis de aceite, son sólo datos referenciales, cada maquina construye su propia estadística y modo de interpretación, a su vez, aporta sus propios parámetros condenatorios según su condición de trabajo y lugar donde presta servicio.

Modo de falla que son característicos en ejes, engranes y rodamientos.

Desgaste por corte, se podría producir cuando los elementos de acoplamiento se encuentran desalineados o por contaminación abrasiva. Este modo de desgaste genera virutas que son partículas alargadas en forma de rulos.

En esta etapa no provoca fallas catastróficas.

Si genera aumento considerable de partículas en el fluido de lubricación, donde estas son cada vez más grandes, favoreciendo el desarrollo de otros modos de desgaste anormal.

Desgaste por deslizamiento, implica la rotura de la película lubricante, al aumentar la velocidad y la carga de la máquina, se produce contacto metal con metal, aumenta la temperatura en el contacto, se produce una sobrecarga en la zona de contacto. Cuando se eleva la temperatura la viscosidad del aceite disminuye, también el espesor de la película.

Esto favorece nuevamente a que la temperatura se incremente hasta desarrollar fusión y soldaduras en la superficie de contacto. En los engranajes la adhesión y desprendimiento de partículas se manifiesta encima del perfil del diente y por debajo de la línea de carga.

El desgaste por fatiga superficial ocurre cuando un elemento rodante se desliza sobre una superficie, se genera una ligera deformación plástica en el punto de contacto, relacionada con la carga aplicada.

Si el punto de contacto se mueve producto de un sobre esfuerzo traccional o de una desalineación puntual, la deformación plástica también se mueve, generando trabajo adicional en la superficie metálica.

Al moverse el punto de contacto en la superficie, puede ocurrir una ruptura explosiva, aparecen las primeras grietas, al ocurrir esto, en principio se van a generar partículas esféricas pequeñas (se inicia un proceso de desgaste en gran escala), luego aumentan de tamaño y se producen más grietas, también el tamaño de las partículas se verá aumentado por encima de 15 micrones.

Causas más comunes:

Lubricación inadecuada.

Contaminación del lubricante o fatiga estructural del paquete de aditivos.

Defectos de diseño de las piezas, cuya resistencia a la fatiga del material es inferior a la necesaria.

Falla de operación, la máquina es solicitada más allá de sus características técnicas, esto comprime algunos elementos de ajuste, provocando una

desalineación creciente (el error mas común del operador es enganchar con violencia y provocar un freno inercial de la maquina dentro de la caja de cambios).

“Complementar con”.

Diferencial, modo de falla más común.  
Fatiga de materiales automotrices.

“Algunas imágenes de despiece”

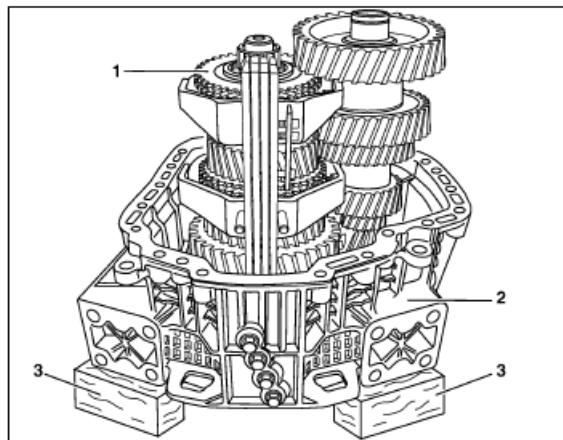


*Representado en el cambio 715.054*

**Comprobación**

1 Disponer la parte trasera de la caja del cambio (2) sobre dos bases (3) de manera que el árbol secundario (1) quede suspendido vertical y libre en la caja.

**i** De esta forma se elimina la holgura de los rodamientos mediante el peso propio del árbol secundario (1).



W26.50-0058-11

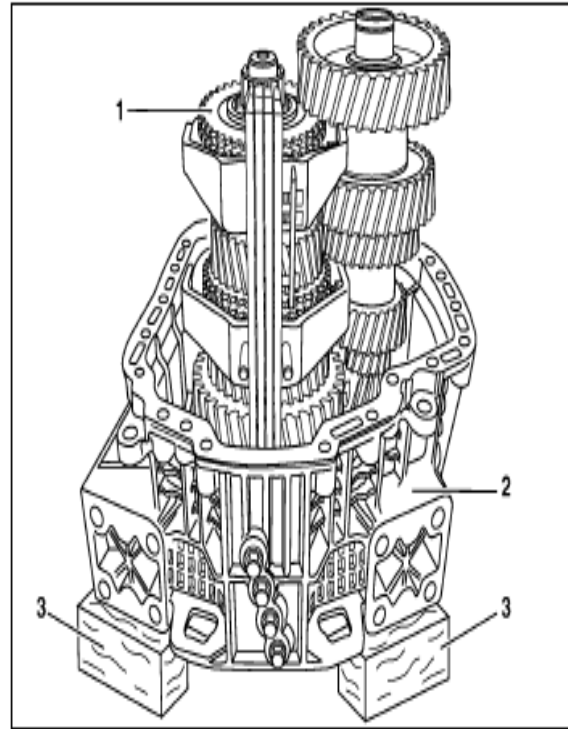


Representado en el cambio 715.054

### Comprobación

- 1 Disponer la parte trasera de la caja del cambio (2) sobre dos bases (3) de manera que el árbol secundario (1) quede suspendido vertical y libre en la caja.

**i** De esta forma se elimina la holgura de los rodamientos mediante el peso propio del árbol secundario (1).



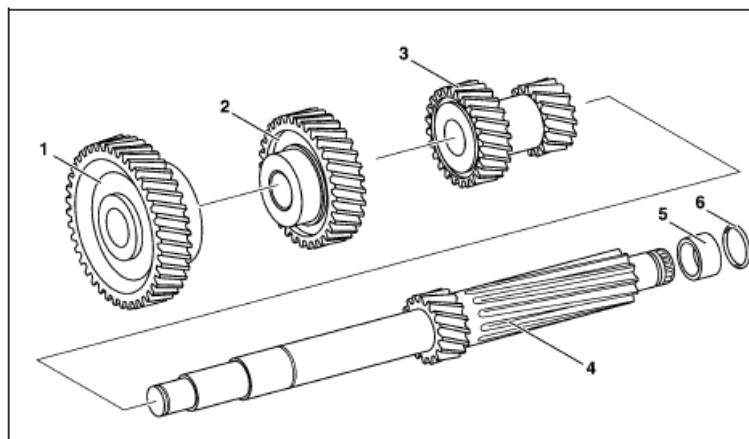
W26.50-0058-11



AR26.50-B-4775G.fm	Desarmar y amar el árbol intermedio	17.01.01
--------------------	-------------------------------------	----------

### CAMBIO 715.051 /054

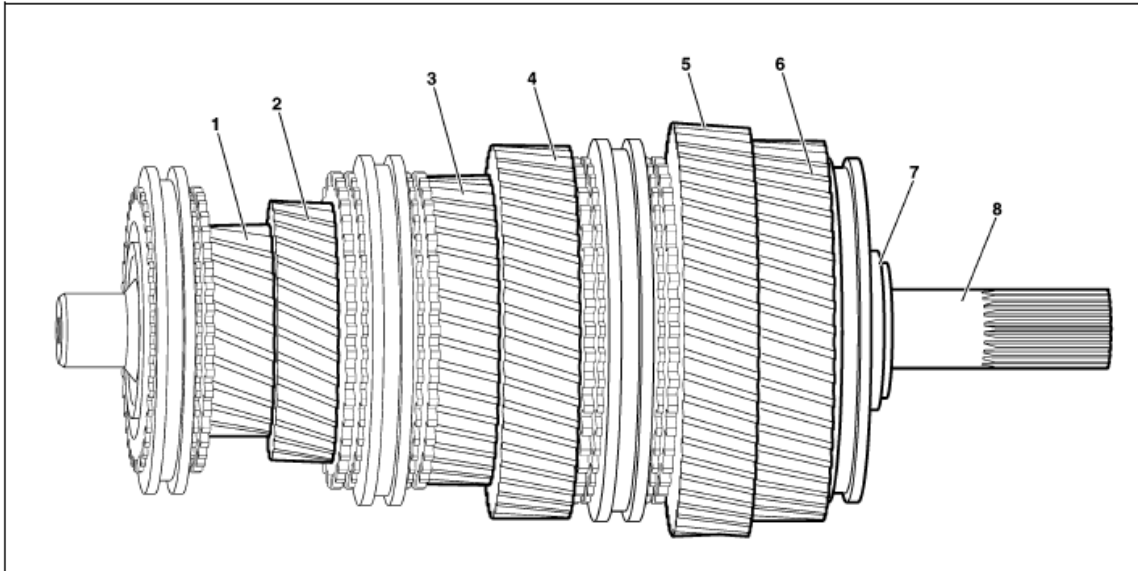
- 1 Rueda dentada de la 6ª marcha
- 2 Rueda dentada de la 5ª marcha
- 3 Rueda dentada de la 4ª /3ª marcha
- 4 Árbol intermedio
- 5 Anillo interior del rodamiento
- 6 Anillo de retención



W26.50-1009-05

AR26.50-B-0420E.fm	Desarmar y armar el árbol secundario	17.01.01
--------------------	--------------------------------------	----------

CAMBIO 715.051 /054



W26.50-1006-09

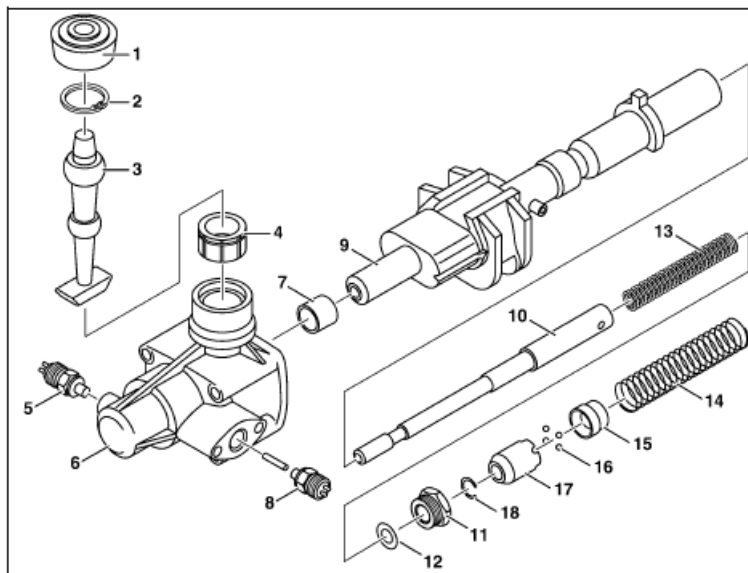
- 1 Rueda dentada de la 5ª marcha
- 2 Rueda dentada de la 4ª marcha

- 3 Rueda dentada de la 3ª marcha

AR26.60-B-6515H.fm	Desarmar y armar el conjunto trambulador	17.01.01
--------------------	--	----------

CAMBIO 715.051

- 1 Guarnición de goma
- 2 Anillo de retención
- 3 Dedo de mando
- 4 Cojinete
- 5 Interruptor de posición neutra
- 6 Caja del mando del cambio
- 7 Casquillo
- 8 Interruptor de luz de marcha atrás
- 9 Tubo de mando
- 10 Barra de mando
- 11 Tornillo tensor
- 12 Arandela
- 13 Resorte de compresión
- 14 Resorte de compresión
- 15 Casquillo de tope
- 16 Bolas
- 17 Casquillo de encastre
- 18 Anillo de retención



W26.60-0039-06

Si algún lector desea datos y procedimiento específicos de ajuste, estaré dispuesto a colaborar en lo que sea necesario y este a mi alcance.



Este trabajo es el resultado de 4 años de gestión en empresa de buses urbanos, después de observar cada una de las fallas del árbol de transmisión, hacer el análisis respectivo, llegar a la causa raíz, pasando por todos los laberintos del proceso de deterioro de la pieza.

Como generar un informe de falla:

- 1.- Determinar estilo de trabajo de la maquina y conductores.
- 2.- Condición de la carcaza, hermeticidad, respiradero.
- 3.- Examinar los huelgos del árbol en general, ya que de existir juego excesivo entre ejes palieres y cubos estriados, en algunos modelos se da este tipo de acoplamiento, podría ser una causa determinante en la falla que pretendemos investigar.
- 4.- Controlar las tolerancias de la caja de cambios, previo al despiece, comparar con los datos del fabricante.
- 5.- Extraídas las piezas dañadas, lavar bien con productos químicos desengrasante, observar la falla hasta en sus más mínimos detalles.
- 6.- Traducir los detalles encontrados en una buena fotografía digital, luego pasarla al computador.
- 7.- Una vez procesada la fotografía haciendo uso de los programas adecuados, aplicar los conocimientos y la experiencia que se tenga, al engrane averiado.
- 8.- Generar un informe especializado, este debe cumplir varios requisitos, ser sostenible técnicamente, ya que en caso de dudas, puede viajar y ser consultado con el experto de la marca. Que el usuario del sistema de transporte lo entienda (mecánicos, conductores, personal de operaciones, gerencia, etc...).
- 9.- Este informe debe servir para amonestar, pero también para capacitar.
- 10.- Archivar en la hoja de vida de la maquina, también en la carpeta del operador involucrado en la falla, si se determina su responsabilidad.
- 11.- En un alto porcentaje, la raíz de la falla puede ubicarse en el ámbito de mantenimiento, estas causas pueden ser asociadas fácilmente a la frecuencia incorrecta del cambio de aceite o trabajos vinculados a este (conviene revisar el historial de estos correctivos, evaluar los análisis de aceite, si es que los tiene), la suciedad de la carcaza, fugas de aceite, respiradero inadecuado que facilita la ingesta de polvo/agua.

Este cuadro nos permite validar que el informe fue producido dentro de un marco de seriedad.

A modo de ejemplo, presento detalles encontrados en un desprendimiento de un diente de engranaje:



Breve descripción del “Código de Fallas”, vinculado al material descrito en este trabajo.

Es fraguar lo que desea el fabricante, confrontado a la severa condición de terreno y lo que el empresario local desea que se haga, aconsejado por sus asesores comerciales y técnicos.

Estas ideas de mantenimiento se convierten en ordenes de trabajo que se ejecutan con cierta periodicidad en el marco critico de los equipos, surge lo que denominamos el “Código de Fallas”, le ponemos una combinación de números, así lo podemos administrar con comodidad y velocidad en un sistema Software.

En este caso particular, gestionar la caja de cambios para que no falle nunca o que cuando lo haga, esta sea lo menos catastrófica posible, el operador dispone de este compendio a modo de menú para implementar toda la tecnología preventiva-predictiva posible de hallar en el medio, con tal de ejecutar con éxito este programa.

Extracto del manual de fallas, con respecto de la caja de cambios.

	N° días
95.- Pedal de embrague, ajuste, pasadores, vástago, rodamiento	45
95 1.- Bomba embrague, cilindro receptor, Servo, tuberías, flexibles, fugas	45
109.- Caja de cambios, ruido, soportes, anclaje a motor	45
110.- Caja de cambios, holgura machón de salida, defecto	45
111.- Embrague, ruido anormal, cierre de la carcaza, accionamiento	45
220.- Caja cambio, fugas, ver si tiene agua, rellenar, respiradero, limpieza	45
220 1.- Tomar muestra de aceite caja de cambios	180
221.- Caja de cambios, cambio de aceite, filtro, tapón drenaje con imán	90
950.- Embrague cambio, volante motor, horquilla, rodamientos, buje	180
950 1.- Manguito deslizante, articulaciones revisar si tienen juego, desgaste	90
1000.- Caja de cambio, reparo o cambio, fugas	720
1002.- Análisis de falla ejes, engranajes, rodamientos de la caja de cambios	
1230.- Temperatura aceite caja de cambios	0
1232.- Termografía caja de cambios	0

Darwin F Inostroza Basso

Jefe de taller, experto en flotas.

Asesor experto en lubricación para la novena y

Decima región, empresa Corrmadera.

Temuco.

[darwininostroza@hotmail.com](mailto:darwininostroza@hotmail.com)

Fono 78102060

Corregido, actualizado 10 de Octubre de 2007.-