

## **“Descripción de un eje trasero diferencial”**

Como su nombre lo dice, transmitir el giro del motor de la mejor manera posible y de modo diferente a cada una de las ruedas motrices, permitir salir de la inercia cuando la maquina esta detenida, cuando el motor solo puede aportar un mínimo torque (caja mecánica), vencer grandes obstáculos geográficos empujando la maquina cuando va de subida o frenando cuando esta bajando, lograr de manera sostenida altas velocidades de crucero, permitir doblar sin que se estropee ningún mecanismo de tracción, muchas otras funciones.

Los puentes traseros son del tipo flotante, algunos con dos reducciones y una sola velocidad; la reducción final se consigue en dos fases, la primera mediante un conjunto de engranajes cónico espirales denominados piñón / corona, la segunda a través de engranajes epicíclicos de reducción en los cubos reductores de las masas de las ruedas traseras, proporcionando ambos sistemas la reducción total del puente posterior.

Son muy resistentes, pueden ser de chapa embutida de acero especial, soldado, con una caja central que le proporciona una resistencia máxima a la flexión.

En la caja central se aloja el grupo diferencial.

Una configuración ideal es aquella de doble reducción, esta le proporciona notables beneficios. Cuando así ocurre, la reducción en el grupo diferencial es baja. La corona es de pequeño diámetro, bien soportada, expuesta a mínimas deformaciones, en tanto que el piñón es grande y soportado por robustos rodamientos de rodillos cónicos sobre un eje de gran diámetro.

El pequeño tamaño del conjunto de engranajes requiere de un alojamiento relativamente pequeño, con lo que es posible disponer de una altura máxima entre el suelo y la armazón del puente favorable a condiciones de camino severo.

Por otra parte esta baja reducción del grupo permite a los semiejes (palier) trabajar en condiciones muy favorables, puesto que el par transmitido es inferior o no muy superior al doble del correspondiente al del cambio de velocidad empleado.

La última reducción se lleva a cabo en los extremos de los ejes, en una caja de planetarios que se aloja en el extremo del cubo de rueda:

Ej... Reducción del piñón corona 2,5: 1, reducción final en el cubo de rueda 3,66: 1, total de la reducción del eje trasero es igual a 6,16: 1

En un puente de diseño normal, la carga del eje palier es de cinco a nueve veces mayor al del cambio de velocidad utilizado.

Esta condición será la que enmarca el siguiente trabajo.

El contexto esta dado por la difícil labor de los ejes traseros que operan en tráfico de ciudad, configurados como “simple reducción”, un piñón de pequeñas dimensiones, una corona de gran tamaño, mal ventilados, expuestos a un trabajo agobiante de empujar y frenar a intervalos menores de 200 metros, rara vez se pueden embalar en distancias largas y dar tiempo al aceite para que se enfríe. En el invierno operan en condiciones donde en muchos lugares se sumergen en el agua de lluvia con todos los inconvenientes que tal acción implica.

### **“Como evitar averías del diferencial”, cuadro de fallas.**

Fallas más comunes:

*El rodamiento guía* de la punta del piñón se desgasta prematuramente, a veces puede ser por la tensión a que es sometido en su trabajo.

Se identifican una primera causa, la carga de los elementos rodantes en la pista de rodadura provoca un descascarillado profundo evidenciando una fatiga en los caminos de rodadura, la pista interior es la más lesionada, esto provoca una perdida de la geometría del eje (grave).

Una segunda causa seria, desgaste por condiciones de servicio, (tracción tenaz en los cambios de fuerza), ósea, alto torque, baja velocidad, escasa ventilación, por lo tanto la temperatura del aceite puede subir a niveles de riesgo (superior a 100 ° C), como antecedente le agregamos que en 3º velocidad un motor de 675 NM., de curva plana de torque, entre 1200 a 1600 rpm., esta fuerza original del motor que salió del extremo trasero del cigüeñal, cuando esta pasando por una 3º velocidad de la caja de cambios, puede llegar multiplicarse unas 16,5 veces en la punta del eje palier, por tanto, la tensión que genera al pasar por estos engranajes es enorme, este mecanismo debe su existencia al aceite que lo lubrica y lo enfría.

La limpieza de la carcaza que soporta los engranajes diferenciales, llegado el momento de disipar las altas temperaturas que se generan en una condición severa de operación (montaña o ciudad), es fundamental, ya que si tiene lodos adheridos, estos se transforman en una verdadera chaqueta térmica impidiendo el paso del calor al medio ambiente mas frío (la carcaza del diferencial hace de radiador para enfriar el aceite).

Si el rodamiento se deteriora mucho antes de lo esperado, hay que pensar que pudo haber actuado una carga excesiva provocando una tensión desmedida en el eje pasante.

Caso contrario pudo darse un error en el montaje o de mantenimiento.

Si se comprueba daños por corrosión sería una falla de mantenimiento, una causa podría ser periodo cambio de aceite muy prolongado o fatiga prematura del lubricante por contaminación con agentes externos (agua, polvo, arena), este acumula una alta concentración de partículas duras y ásperas (fierro y cobre), esto

hace que la marcha sea irregular y ruidosa, ya que las partículas duras actuando como esmeril provocan desgaste en otros rodamientos y engranajes asociados a la función.

Otra falla de mantenimiento ocurre cuando el sellado es defectuoso frente a la humedad y suciedad del medio ambiente (puede ingresar por el respiradero, por los retenes de los cubos traseros, por las fugas de aceite del diferencial, este puede perder por retenes o empaquetaduras) todas estas fallas en los procedimientos provoca una alta concentración de agua de condensación al interior de la caja.

No olvidemos que a la caja diferencial de modo natural le entra agua y sale como vapor por el respiradero, producto de las altas temperaturas alcanzadas en una condición severa de operación. Este fenómeno es tremendamente favorable, ya que evita averías mayores, si el agua no cambia de estado físico de líquido a gas, esta se acumularía en el fondo del cárter y tarde o temprano sería impulsada a los engranajes y rodamientos más remotos dentro de la caja de planetarios y satélites provocando daño severo a corto plazo. La ventaja de usar el aceite adecuado recomendado por el fabricante (API GL 5 SAE 80 W 90 o SAE 90), este aceite contiene aditivos dispersantes que mantiene el agua separada en pequeñas gotitas, así no forma grandes concentraciones de líquido que pongan en peligro inmediato este complejo mecánico.

El aceite se comporta como una membrana gigantesca, con la alta temperatura se dilata, aumentando su volumen, luego, cuando el aceite se enfría, por las noches, estando detenido el móvil, cuando el conductor está descansando, este se contrae, ocupa menos espacio dentro de la caja, luego este se va llenando con aire, el aire por supuesto no entra solo, va acompañado de humedad, polvo arena ambiental, partículas duras.

Estos fallos anunciados, ayudan a la pérdida de la superficie dura del rodamiento, hace que este tenga una tolerancia que no debiera tener, de no ser corregidos con urgencia, provoca algo mucho más catastrófico, una desalineación y pérdida de paralelismo de los ejes del piñón – corona, por su modo de trabajo se puede llegar a la rotura de dientes o bien en la fractura del ojo guía del porta rodamiento guía del piñón.

También si el eje trasero en su labor no recibe el trato adecuado (sobrecargado por encima de su capacidad o caminos en mal estado), se puede deformar provocando una torcedura y una pérdida definitiva de la geometría.

Estos ejes estructurales poseen una cierta elasticidad y se pueden deformar cíclicamente miles y miles de veces con la carga o ante fuertes impactos, pero si son sometidos a sobreesfuerzos más allá de su resistencia mecánica, esto los puede llevar a un estado de fatiga total, quedando en estado inservible o costos muy elevados de recuperación por la tecnología que implica el centrado y

recuperación de túneles donde se alojan los rodamientos (reparaciones que normalmente las fabricas no las recomiendan).

3.- Ante la rotura de dientes arrancados de raíz, se debe evaluar las marcas de trabajo con respecto de su par, si estas huellas están mas acentuadas en la orilla del diente podría haber un desalineación del piñón / corona, grietas o picaduras profundas si están a la vista, podría ser motivo para pensar que una alta presión de aceite de lubricación podría ser la causa de la rotura, ya que esta sobrepasa las 5 mil libras de presión aproximadamente en los momentos de tracción.

Si no se encuentran ninguna de estas evidencias podemos llegar a pensar que reiterados golpes a la tracción provocan torques desmedidos (20 o 30 veces la fuerza del motor) lo cual lo lleva a un estado de fatiga estructural rompiendo la dureza superficial y fracturando el material de resistencia (núcleo).

La estructura de un diente de engranaje es muy duro por el exterior para resistir el esfuerzo de la tracción y el roce que se produce en el deslizamiento al entrar y salir, la superficie exterior es pulida.

Por el interior tiene que ser blando, elástico, para resistir con tenacidad los esfuerzos de la tracción o cuando la maquina esta frenando a través del árbol motor, estos pueden ser aumentados incorporando mecanismos retardadores adicionales al frenado del motor.

“Modo de trabajo de los engranajes diferenciales helicoidales (Hipoidales)”.

Ocurre que un diente esta en contacto total, otro esta entrando, otro esta saliendo, ósea el esfuerzo se distribuye mejor en una mayor superficie de contacto, son prácticamente tres dientes que están empujando y rodando, esta acción genera mucho calor, se acoplan en una combinación de rodamiento y deslizamiento, inicia contacto en el extremo del diente barriendo a todo lo ancho de la cara.

Esto es bastante distinto al contacto entre dientes de engranajes rectos, que ocurre todo de una vez a lo largo de una línea sobre la cara del diente en el instante del contacto.

El resultado de esta diferencia es que los engranajes helicoidales operan con mayor silencio y menor vibración que los rectos, debido al contacto gradual entre dientes, la mayoría de la transmisiones están construidas casi siempre con engranes helicoidales.

Una excepción común es el acoplamiento del engranaje de reversa en las transmisiones estándar, suelen ser de engrane recto para facilitar el acoplamiento y desacoplamiento. En una transmisión de este tipo es notable un quejido de los engranes al moverse marcha atrás con el móvil, el motivo es a causa de una resonancia de los dientes del engrane recto al excitarse por los súbitos impactos por contacto de la línea de diente a diente.

Los acoplamientos de engranes helicoidales de marcha hacia adelante son en esencia silenciosos, también los engranes helicoidales paralelos son capaces de transmitir elevados niveles de potencia y tórque.

### Fuerzas actuantes en los engranes helicoidales

Esquemáticamente existen un conjunto de fuerzas actuando sobre un diente. Una fuerza radial según el Angulo de flexión, ahora también hay un componente de fuerza que tiende a separar axialmente los engranes, a fin de resistir esta fuerza deberán montarse cojinetes con capacidad de empuje axial (rodillos cónicos).

El hecho que varios dientes compartan la misma carga, sin embargo la distribución efectiva de la carga seguirá quedando limitada por la precisión con que se fabrican los engranajes, en el caso de los conjuntos piñón corona estos se reemplazan como juegos pareados ya que al fabricarlos son sometidos a trabajo y pulido juntos, además de otros procesos de asentamiento para que estos no vibren.

### Movimiento relativo de los dientes

El movimiento relativo entre dientes en el punto de paso es rodamiento puro. Habrá deslizamiento combinado con rodamiento en puntos sobre el diente alejados del punto de paso. Los esfuerzos superficiales se ven incrementados por el componente deslizamiento, aumentando la posibilidad de fatiga superficial, en caso de estar debilitada la película de lubricación.

### **Lubricación de los engranajes**

Al someter a esfuerzos a un conjunto de engranajes, en presencia de un entorno corrosivo, el proceso de corrosión se acelera, en presencia de una falla superficial esta podría desarrollarse con mayor rapidez de lo que se esperaría.

La grieta crecerá cuando la pieza sea sometida reiteradamente a esfuerzos cíclicos (rodeada de este entorno corrosivo).

La picadura y posterior descascarado de la superficie (falla superficial), puede iniciarse cerca de la zona o en la zona misma de "rodamiento puro del engranaje", puede darse que el material dentro del área de contacto posea alguna imperfección alojada encima o por debajo de la superficie.

Superficies duras y más lisas resisten mejor a la falla por picadura.

El lubricante en este sentido resulta perjudicial, ya que una vez que se forma una grieta se llena de aceite, al acercarse el diente y apretar, la grieta se cierra a presión debajo, oprimiendo el fluido atrapado en la grieta.

La presión del fluido crea un esfuerzo o tensión en la punta de la grieta, generando un crecimiento rápido en los extremos.

Un lubricante de viscosidad elevada encuentra dificultades, ya que al fluir lentamente, se demora en llenar la grieta, esto retrasa la falla por picadura.

Un lubricante de baja viscosidad entra con facilidad en la grieta, elevando a niveles de riesgo la posibilidad cierta de una falla catastrófica a corto plazo.

El desempeño del lubricante va a depender de la velocidad, de la carga, de la geometría del engranaje y de la viscosidad. Tres factores se vinculan para que este acometido sea exitoso.

Todos deben lubricarse a fin de evitar fallas prematuras como el desgaste adhesivo o abrasivo.

(A) Es importante controlar la temperatura de la interfaz de acoplamiento para reducir ralladuras y raspaduras en los dientes.

(B) El lubricante también debe eliminar calor, además de separar las superficies de metal, reduciendo fricción y desgaste.

(C) Debe suministrar suficiente lubricante para transferir calor de fricción hacia el entorno y no permitir temperaturas excesivas en el acoplamiento.

Lubricación limite, ocurre cuando el engranaje funciona a baja velocidad, operaciones frecuentes de partidas – paradas, cambios de dirección, se dan condiciones de película de aceite muy delgada, puede ocurrir contacto de metal con metal, si hay presencia de agua en el aceite este degrada el aceite empeorando la situación interior, provocando alto desgaste de metales.

Bajo estas circunstancias la película de aceite puede variar entre 5 a 200 micrones.

Lubricación Hidrodinámica, producto de la velocidad los mecanismos se separan, el aceite fluye veloz, se enfría y la película aumenta, puede llegar a 200 micrones llegando a ser plena.

Lubricación Elasto Hidrodinámica, funciona por contacto al paso, los elementos en contacto se deforman elásticamente para agrandar la superficie de contacto, donde la película de aceite generalmente es menor a un micrón.

Las altas presiones de contacto pueden llegar hasta 500.000 psi. Convirtiendo al aceite en un sólido.

Si existe humedad este factor de operación se complica disminuyendo la protección requerida.

Un ejemplo de contacto Elasto Hidrodinámico, lo constituye la forma de trabajo de un neumático radial con respecto de la carga y como se deforma contra la loza.

Para los engranajes en configuración Hipoidal no es tan claro si ocurre esta forma de contacto en los dientes, pero si se da en los elementos rodantes que sirven de guía a los ejes. La forma de lubricarse de estos engranajes sería Hidrodinámica.

En este proceso de roce se interpone una película límite de aceite, esta recibe toda la energía que se produce por contacto deslizante puro en la raíz y en la punta del diente, la alta presión en la línea de paso debido a contacto puro de rodamiento (contacto combinado de deslizamiento y rodamiento) la alta temperatura alcanzada en este proceso hace que el aceite llegue a niveles extremos de operación, luego debe ser evacuado con rapidez a un ambiente de cárter para transferir su energía calorica al medio ambiente, de paso evacuar vapores por el respiradero de la caja diferencial.

Así este proceso se repite ciento de miles de veces en un periodo de vida útil del aceite, hasta evidenciar signos de fatiga, si no detectamos a tiempo esta falla en progreso, este deterioro gradual de algunos componentes del aceite comienzan a debilitar la lubricación de los rodamiento del diferencial, el mas leve desgaste de la pista de rodadura hace que el eje de ataque comience a perder su geometría, acentuándose cada vez en el resto de las piezas el desgaste prematuro de este costoso componente automotriz.

Factores que apuran el envejecimiento del aceite, ocurre de la siguiente manera:

Fatiga del aceite por la alta temperatura de trabajo.

Fatiga del aceite por aireación.

Fatiga del aceite por ingreso de agua – polvo (sellos, respiradero).

Fatiga del aceite por contacto con excesiva partículas de hierro.

Fatiga por su naturaleza de trabajo mecánico, cambios bruscos de temperatura, batido constante, sometido a esfuerzo de corte.

Finalmente estos mas otros factores que alteran la propiedad original del fluido, lo convierten en algo parecido a “Lodo”, cambian de color, adopta un olor característico que en nada se parece al producto cuando es nuevo.

Este nuevo ambiente de lubricación, marcado por un deterioro progresivo del fluido, desgastan los rodamientos, se desalinean los engranajes, luego pueden llegar incluso a romperse.

### **“Modo de mantenimiento Preventivo”.**

1.- Mantener limpia la carcaza, especial dedicación a la zona del piñón de ataque

2.- Conducir de modo preventivo, pasar los cambios con suavidad, al reducir con la caja de cambios emparejar las rotaciones con el pedal acelerador de acuerdo a la marcha que se desea acoplar, soltar con mucha suavidad el pedal de embrague para que el acoplamiento se produzca con suavidad y sin tirones (sobre carga dañina para la transmisión), evitar estos bruscos cambios de inercia de la maquina, ya que al estar en movimiento posee una gran energía, varias veces su peso.

3.- Al conducir con caja automática y retardador, evitar usar toda la capacidad de frenado, ya que este convierte la energía cinética en calor, su capacidad de frenado están poderosa que provoca sobrecarga en el eje trasero, podría llegar incluso a dañarlo (les recuerdo que un retardador al freno, puede llegar a duplicar la fuerza del motor).

4.- Cambiar al aceite con la frecuencia establecida, de común acuerdo con el proveedor del lubricante y el respaldo de su laboratorio.

5.- Usar al aceite adecuado según la especificación del fabricante del eje.

6.- Las intervenciones de los cubos de rueda trasero, cuando estos se lubrican con aceite del diferencial, se deben efectuar siguiendo todos los pasos descritos por el manual del fabricante, especial cuidado en el trato de los rodamientos y grasas utilizadas (cuando el rodamiento después de una intervención, se lubrica inicialmente con grasa), lograr lo mas que se pueda, un ambiente de atmósfera controlada, que garantice mínimas condiciones que permitan limitar la contaminación con polvo fino – arena – agua, de estos elementos rodantes.

### **Modo Predictivo de mantenimiento**

7.- Muestrear con cierta regularidad el eje trasero, 3 o 4 veces al año como mínimo, observar el grado de limpieza del aceite usado (<600 ppm... fierro, cobre >250, silicio < 65).

8.- Estar atento a los ruidos interiores característicos de estos ejes, comisionar a especialistas para pruebas de todo tipo (ciudad, autopista), aunque no exista un síntoma, es conveniente establecer un programa de pruebas cada 2 o 3 meses.

9.- Controlar la temperatura interior del aceite, también la temperatura de la carcasa en la zona del piñón de ataque donde se alojan los rodamientos, con cierta regularidad y dejar anotado estos valores para su posterior comparación.

Les recuerdo que estos complejos mecánicos están diseñados para operaciones prolongadas, si durante su existencia se cumplen rigurosamente estos programas de mantenimiento, tal vez una inspección de rodamientos seria aconsejable cuando los parámetros de desgaste observados en el tiempo así lo aconsejen.

10.- Al conducir en zonas muy húmedas, proteger el respiradero, ojalá con un filtro repelente al agua, la manguera de respiración debe estar lo mas alejada posible del conector que va en la caja diferencial, debe estar enrollada (cola de chanco), así le aumentamos las dificultades al ingreso de agua y polvo.

11.- Cambiar el aceite a frecuencias más cortas durante el invierno, ya que este elemento de manera natural condensa agua en su interior.

## Resumen de fallas

Hay 2 tipos de fallas en los engranajes, las más comunes:

A.- Ruptura de dientes por esfuerzos de flexión.

B.- Picaduras de dientes debido a esfuerzos superficiales y fatiga del lubricante.

La falla "A" es catastrófica (flexión) ya que por lo general la ruptura de un diente deshabilita la maquina.

La falla "B" por picaduras llega gradualmente y da una advertencia audible (predictiva), de ser posible se pueden revisar los dientes sin desarmar demasiado el equipo. Los engranajes pueden seguir operando durante cierto tiempo después de que se inicie la picadura antes de tener que reemplazarlos totalmente.

Ambos modos de falla son fallas por fatiga debido a esfuerzos repetidos de los dientes individuales conforme entran y salen del acoplamiento.

Una geometría adecuada del diente es vital para la operación y vida de los engranajes dado el perfil de los dientes.

Pruebas extensas de materiales para fabricar engranajes bajo situaciones de carga real, en combinación con años de experiencia acumulada por los fabricantes han resultado en un conjunto de ecuaciones probadas para el calculo tanto de los esfuerzos como de la resistencia a la fatiga por flexión y superficial de los engranajes.

Ósea, no debieran fallar nunca en las manos del primer propietario.

Llegado el momento de una mantención debido a uso prolongado, esta debe ser al menor costo posible, debe involucrar aspectos de los rodamientos, lainas de ajuste, golillas espaciadoras.

Nunca tener que cambiar un engranaje de dimensiones mayores, de lo contrario el negocio puede volverse inviable.

Ejemplo de administración predictiva (va archivo adjunto en Excel), objetivo perseguido, limpiar al aceite en uso a condiciones cada vez más seguras y estables, incrementar la vida útil en kilómetros recorridos.

Ejemplo de contacto correcto entre dientes piñón corona (va como archivo adjunto), objetivo, concentrar el máximo esfuerzo al rodar en el centro del diente, así este no se ve afectado en el fondo y en las puntas al deslizar producto del alto torque del motor multiplicado varias veces al pasar por la caja de cambios. De lo contrario si esta en mala posición el contacto entre dientes, estos finalmente se van a dañar superficialmente en una primera etapa.

A continuación aportamos como dato de referencia los valores mínimos y máximos esperados en un análisis de aceite de diferencial:

Fe entre 50 a 600 ppm  
Cr entre 02 a 20 ppm  
Al entre 01 a 40 ppm  
Pb entre 10 a 100 ppm  
Cu entre 15 a 250 ppm  
Si entre 05 a 65 ppm  
Noria corp. 338.02.

Estos datos son sólo referenciales, la estadística de la maquina refleja sus propias tendencias y valores condenatorios según el trabajo que desempeña y el lugar en que lo hace.

### **Agregado**

Dos factores contribuyen al envejecimiento prematuro del lubricante, la ingesta de agua a modo natural de la caja de engranajes, por sellos y respiradero. ¿Como ataca?:

El agua promueve cambios químicos y físicos en el aceite base, fenómeno de hidrólisis y oxidación causante de la rotura de enlaces de las moléculas que componen la estructura del paquete de aditivos, aparece la formación de ácidos, el aceite se espesa, adopta un color y trama muy distinta a la de un aceite nuevo.

Cambia la viscosidad, se espesa cada vez más con el uso.

El agua cambia las propiedades y efectos dieléctricos del aceite, reduce sus cualidades aislantes (las partículas de metal se aglomeran, ya el aceite no es capas de mantenerlas separadas y aisladas, al juntarse aumentan de tamaño).

Al ventilarse el aceite, produce mayores emulsiones y aparece mucha espuma en el fluido.

Al ingresar el agua, esta lleva consigo no solo arena y polvo, si no que también algunas bacterias especializadas que atacan a los agentes demulsificantes y algunas de ellas serían responsables de procesos corrosivos en las pistas de rodadura de los rodamientos que soportan la caja de engranajes.

Al mezclarse el aceite con el agua, provoca una perdida en el desempeño de los aditivos, uno de ellos el de extrema presión comienza a disminuir su participación dentro del volumen asignado, otros, como el de adhesividad, ya no se adhiere como antes a las superficies mas pulidas de engranajes y rodamientos, estas se lavan ya de manera natural.

Ataca la resistencia de la película de aceite en los contactos elasto hidrodinámicos, esto hace que la película falle, se inicia raspado y picadura en dientes y pistas de rodillos de rodamientos.

Lo más grave ocurre al perder los ajustes iniciales de la caja de engranajes, al desgastarse las golillas espaciadoras, se produce una corrida en los centros geométricos, las superficies adaptadas a soportar los grandes esfuerzos de la tracción cambian obligando a las piezas a buscar nuevas posiciones. Esto provoca desprendimiento generalizado de partículas, ante esta situación lo más recomendable es proceder con un correctivo que restaure la condición original del mecanismo.

En el contacto hidrodinámico el agua se evapora, este fenómeno ocurre en milésimas de segundo y puede apurar la falla del rodamiento.

El agua en bajas concentraciones debe encontrarse a modo de gotitas totalmente suspendida y rodeada de agentes emulsificante, en etapa de emulsión (trazas). Si esta cae libremente en el cárter de la maquina, es porque el aceite agoto todos los recursos de protección y lo mas probable es que ya el daño es total y catastrófico dentro de la caja de engranes.

#### Motivo de esta recopilación.

Encontrar un respaldo teórico que permita entender el fallo generalizado del eje trasero diferencial de este modelo de bus:

Maquina Mercedes Benz, OF/OH 1318 E (1993, 94), chasis 9 BM 384 097 PB. Equipado con motor OM 366 LA, de 204 CV a 2600 rpm... 600 NM a 1500 rpm...

Al revisar la configuración de este chasis de camión adaptado para carrozar como bus de pasajeros (urbano), encontramos que fue equipado con un eje trasero H L 4, relación 5.25:1 (8 dientes de piñón, 42 dientes de corona), capacidad de cárter 5, 25 litros de aceite G L 5, SAE MB 90.

En el manual de operaciones se lee que este modelo de bus aceptaba equipar como eje trasero un diferencial M Benz, conocido y probado en la ciudad de Santiago de Chile como H L 5, de 11 litros de aceite, de una relación de engranajes muy similar, todas las maquinas modelo 1420 equipadas con este tipo de eje, a partir de 1996 en adelante, después de 6 años de intenso trabajo, comenzaron con síntomas de ruido. Probado quedo que este conjunto permitió una vida útil mínimo de 600 mil kilómetros, exenta de todo tipo de reparación correctiva.

En los primeros despieces se pudo comprobar por que duraba 10 veces más que su par H L 4, porque estaba construido con nervios y refuerzos internos de mayor envergadura, sobre todo en la zona de los rodamientos del piñón de ataque. Los

rodamientos mas críticos que son los del piñón de ataque, son de mayores diámetros y mayor numero de polines, la mayor novedad lo constituye el hecho de que las golillas espaciadoras de la caja satélite están construidas en materiales duros e inoxidables resistente al agua.

Tener el doble de la capacidad de aceite, permite que este tenga mas tiempo para enfriarse, así evitar la fatiga prematura.

Análisis posteriores demostraron que se resiste mejor a la contaminación externa, la vida útil del aceite sobrepasa los 25 mil kilómetros en óptimas condiciones.

Al poseer un mayor ancho de balatas traseras, los cambios son más espaciados (20 mil o más kilómetros), evitando la manipulación abusiva de los cubos traseros con rodamientos que se lubrican con el mismo aceite de la caja de engranajes.

El modelo 1318 de Mercedes Benz, emplea un eje trasero diferencial conocido como HL 4, sin lugar a dudas entre los años 1994, hasta la actualidad, 2006, este tipo de bus (1318), fue y sigue siendo el preferido de los empresarios de la locomoción colectiva de Santiago.

¿Por qué?

Al estar equipado con motor delantero, resulta fácil controlar la ingesta de polvo.

Es menos riesgoso de operar con calles inundadas en el invierno.

Regula mejor la temperatura de trabajo del motor en los meses de intenso calor, los radiadores (2) se mantienen más limpios.

Gasta menos combustible.

Es más silencioso.

Pero, tiene su talón de Aquiles, el eje trasero diferencial H L 4.

Defectos del H L 4.

1.- Posee una debilidad grave, el anillo que aloja el rodamiento guía (chico) del piñón de ataque, el nervio estructural que lo sostiene, producto de los embates del operador, se rompe frecuentemente.

2.- El lubricante entra en estado de fatiga en muy corto periodo de recorrido, se debe cambiar con 8 mil kilómetros, a los 12 mil kilómetros esta prácticamente convertido en lodo (un descuido y el daño es inminente en los rodamientos).

3.- Al estar dotado de un sistema de frenos que requiere intervenciones frecuente, la contaminación a los cubos de rueda que se lubrican con el aceite del diferencial es una realidad difícil de cambiar.

4.- Su escasa capacidad de cárter (5,25 litros), en las actuales condiciones de trabajo, este no encuentra el tiempo suficiente para enfriarse, se ha comprobado con mediciones de temperatura con instrumentos láser, que la zona de los rodamiento del piñón, en horas de intenso calor (14 a 16 horas), pasa de los 110° C., Cuando su par H L 5, no pasa de los 90° C...

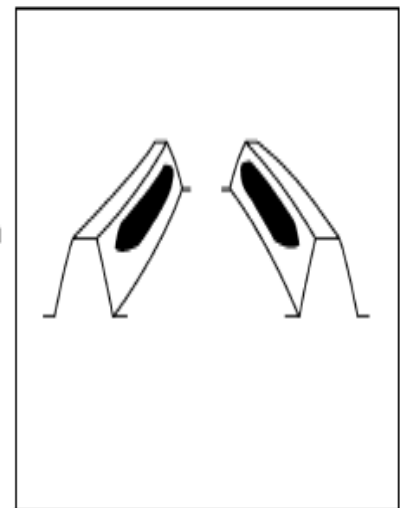
5.- Su periodo vida útil promedio se ubica entre los 60 mil y 100 mil kilómetros, con extremos cuidados de mantenimiento y muchos conflictos con los operadores.

Regulaciones más importantes:

**i** La corona y el piñón de ataque forman un conjunto hermano entre sí, cuyas tolerancias y acabado no permiten el intercambio individual de los mismos, de modo que el reglaje de la medida básica y el juego entre los dientes son suficientes para su montaje. Independiente de eso, puede ser efectuado, a título de inspección, la verificación de las huellas de contacto de los dientes del conjunto corona y piñón de ataque.

#### Verificación de las huellas de contacto

- 1 Untar con "azul de prusia", dos dientes de la corona separados 180° uno del otro.
- 2 Girar el piñón de ataque hacia adelante y hacia atrás, frenando al mismo tiempo la corona con un pedazo de madera dura.
- 3 Comparar las huellas de contacto con los ejemplos de las huellas de contacto representados abajo y en caso de necesidad, efectuar las debidas correcciones.



B35.30-0062-01

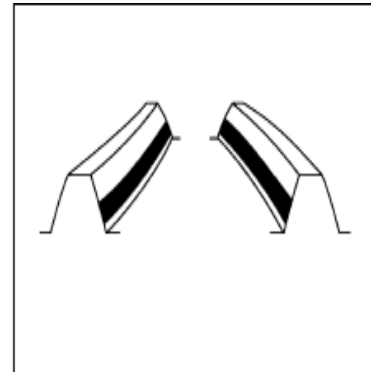
#### Huellas de contacto correctas

**i** En la práctica, generalmente no se obtienen las huellas de contacto ideales. Sin embargo, es importante que las mismas no toquen en ningún lugar del borde exterior de los dientes.

Huellas de contacto en la base del diente (incorrecto)

Corrección:

Aumentar un poco la distancia de montaje (medida básica) del piñón de ataque y al mismo tiempo, disminuir un poco la distancia de montaje de la corona, o sea, hacer que los dientes de la corona penetren más profundamente en los dientes del piñón de ataque, para conservar el juego correcto entre los flancos de los dientes.

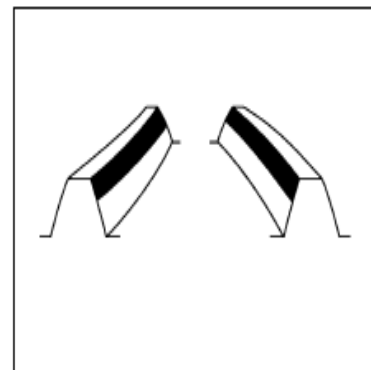


B35.30-0063-01

Huellas de contacto en la cabeza del diente (incorrecto)


Corrección:

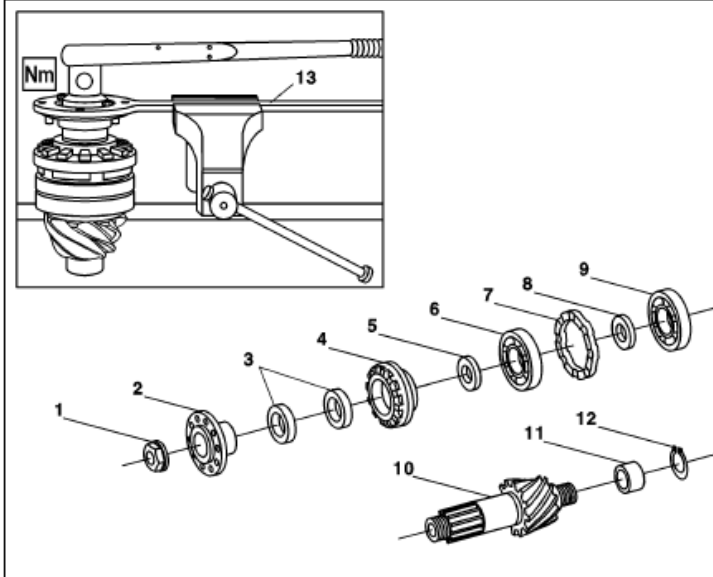
Disminuir un poco la distancia de montaje (medida básica) del piñón de ataque y al mismo tiempo, aumentar un poco la distancia de montaje de la corona, o sea, hacer que los dientes de la corona no alcancen tan profundamente los dientes del piñón de ataque, para conservar el juego correcto entre los flancos de los dientes..



AR35.30-B-0459A.fm	Desarmar y armar el piñón de ataque	31.07.97
--------------------	-------------------------------------	----------

EJES TRASEROS 741.91/ 741.93/ 742.8/ 743.0/ .1/ .2/ .3/ 745.5/ .9/ 746.8 excepto ejes con arbol de paso

- 1 Tuerca con collar
- 2 Brida de acoplamiento
- 3 Retén
- 4 Anillo roscado
- 5 Anillo de tope
- 6 Rodamiento de rodillos cónicos
- 7 Arandela partida
- 8 Anillo distanciador
- 9 Rodamiento de rodillos cónicos
- 10 Piñón de ataque
- 11 Pista interior - rodamiento de rodillos cilíndricos
- 12 Anillo de traba
- 13  Llave de inmovilización

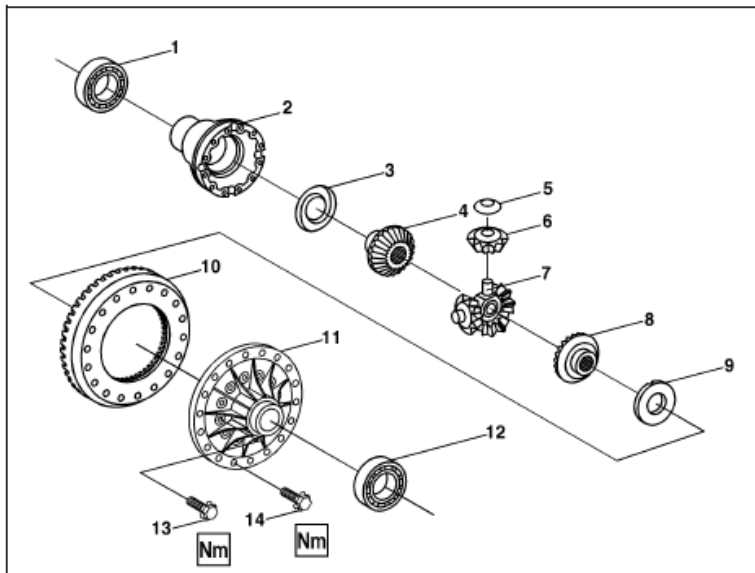


AR35.30-B-0465D.fm	Desarmar y armar el diferencial	28.04.99
--------------------	---------------------------------	----------

EJE TRASERO 743.4 excepto eje 743.498,

EJE TRASERO 743.0/ .1/ .2/ .3 e 746.89/ .98

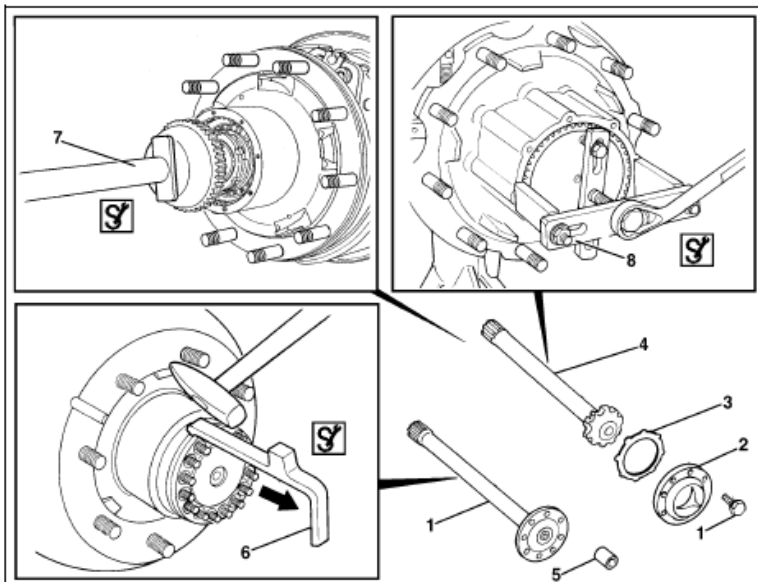
- 1 Rodamiento de rodillos cónicos
- 2 Tapa de la caja de satélites
- 3 Arandela de apoyo
- 4 Rueda planetaria
- 5 Arandela de presión
- 6 Rueda satélite
- 7 Cruceta
- 8 Rueda planetaria
- 9 Arandela de apoyo
- 10 Corona
- 11 Caja de satélites
- 12 Rodamiento de rodillos cónicos
- 13 Tomillo de la caja de satélites
- 14 Tomillo de sujeción de la corona



AR35.30-B-0620A.fm	Desmontar y montar el semiárbol trasero	27.07.97
--------------------	---	----------

EJE TRASERO 741.91/ 742.8/ 743.0/ .1/ .2/ .3/ .4/ 745.0/ .5/ .9/ 746.8/746.97, 746.98, 746.99

- 1 Tomillo
- 2 Tapa del cubo de rueda
- 3 Junta
- 4 Semiárbol
- 5 Tuerca de sujeción
- 6 Extractor - eje 743.3, 743.4, 746.97, 746.98, 746.99
- 7 Extractor - eje 745.0
- 8 Extractor - eje 741.9, 743.0, 743.1, 743.2, 745.5, 745.9 y 746.8



❗ Cada conjunto de corona y piñón de ataque posee una determinada medida de montaje para obtener las huellas de contacto perfectas entre los dientes.. que podrá ser positiva o negativa con relación a la medida básica patrón.

Debido a la tolerancia de fabricación, la medida diverge generalmente de la medida básica patrón.

Esta divergencia se encuentra grabada en la cara oblicua de la corona,

Se tiene:

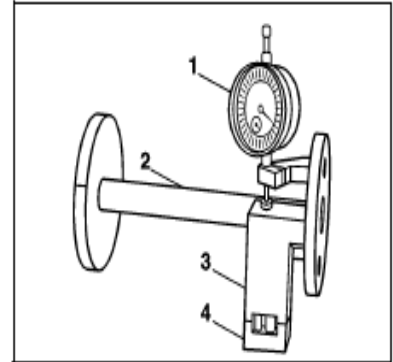
G = Medida básica

G1= Medida negativa

G2= Medida positiva

❗ La instrucción a seguir fue efectuada en ejes traseros con profundidad básica del piñón de ataque de 83,50 mm y sirve como guía de trabajo para ejes con las profundidades básicas de 65,40 mm y 108 mm.

- 1 Montar el reloj comparador (1) con el prolongador en el dispositivo (2) sin fijarlo.
- 2 Fijar en el dispositivo de reglaje (3), el patrón de 83,50 mm (4) y ajustar la escala del reloj con una tensión previa de 2 mm.



### Condiciones de trabajo de un eje trasero.

La ciudad de Santiago posee características únicas en comparación a otras ciudades.

Calles en mal estado, en Invierno se transforman en canales por donde escurre el agua a gran velocidad, en Verano están polvorientas.

Extensos recorridos, de más de 60 kilómetros en un viaje de ida, el perfil de la ciudad es de subida/bajada.

Escasa ventilación en verano, los equipos se calientan en exceso.

Un sistema de mercado que obliga a detenerse en la práctica cada 200 metros, detener la maquina en pocos metros, luego arrancar a gran velocidad, así repetir el ciclo unas 16 horas diarias como mínimo.

Este factor incide en la profundidad básica del piñón, siempre el desajuste comienza por ahí, la tensión a que es sometido el eje de entrada hace que este rápidamente deforme el taladro básico del eje que aloja al piñón, las arandelas y láminas de ajuste al tensionarse de modo axial y radial, producto de los golpes de tracción se comprimen, se desajustan, luego el piñón comienza a golpear el rodamiento guía, se rompe la película de lubricación, se pierde la alineación geométrica de contacto entre los dientes, el colapso ya es cuestión de horas.

Textos, libros, que fueron consultados para elaborar este trabajo.

Desgaste de cojinetes de contacto plano, escrito por el profesor Roberto Leonetti.

Manual de operaciones OH/OF 1318-1420, M Benz.  
Selit 9, manual digital de reparaciones, camiones y buses.  
Montaje de rodamientos, fag Interamericana A G., WL 80 100/3 SE.  
Rodamientos de bolas y rodillos, Koyo Seiko CO., LTD. Cat.no.2011S.  
Diseño de maquinas, cap. 6, 7, 10, 11, 12 de Robert L. Norton

El objetivo trazado en la elaboración de este trabajo es poder hacer análisis de falla en engranajes, ejes, rodamientos, cuando ellos se involucran en algún evento de falla catastrófico, la idea es poder visualizar la falla en movimiento, pero mas que eso, llegar a su causa raíz, una vez allí, poder determinar el tratamiento correctivo adecuado para que la próxima vez, si ocurre, poder anticiparla, distanciarla cada vez una falla, con respecto de la otra.

### “Ejercicio simple, como se distribuyen las fuerzas en un árbol motor”

Un motor diesel OM 904, L A, entre las 1200 – 1600 rpm., puede entregar en la salida del eje cigüeñal unos 700 NM., de torque.

Si el giro del motor esta pasando por una relación de caja de cambios  $R = 6:1$ , el resultado es que en la salida de la caja se puede apreciar que el movimiento del motor ha disminuido 6 veces, pero la fuerza del motor expresada en NM., ha aumentado en la misma proporción, el resultado es:

700 rotaciones por minuto del motor (el régimen mínimo para salir de la inercia sin afectar demasiado el disco de embrague), a disminuido a 116,66 rotaciones en el eje de salida de la caja de cambios, pero que ocurre con la fuerza del motor.

El giro posee intrínsecamente unos 300 NM de fuerza en la salida del eje cigüeñal, al disminuir 6 veces dentro de la caja de cambios, resultado de su relación de engranes, estos han aumentado 6 veces, el resultado es:

La fuerza del motor expresada en NM., de 300 han pasado a multiplicarse 6 veces, quedando convertidos en 1800 NM...

Resultado:

Los engranes del diferencial, bajo este contexto están recepcionando 1800 NM., es hora de ponerse a trabajar.

¿Que pasa en el diferencial?:

Entran 116,66 giros, en su paso por el diferencial que tiene una relación de  $5.25:1$ = quedan reducidos a 22,09 giros disponibles en la punta del eje palier (son giros diferenciales, respaldados con mucho torque en cada rueda, según lo que estén haciendo).

Pero el torque aumento en la misma proporción.

Ósea,  $1800 \text{ NM} \times 5.25 = 9.450 \text{ NM} \dots$

Finalmente, cada una de las ruedas motrices, si es un 4 x 2, dispone en la primera relación, para salir de la inercia, al estar detenido, aproximadamente unos:

**4.725** NM., en régimen de mínima rotación para comenzar a moverse (acompañados de un poco de energía cinética acumulada en el volante del motor).

¿Como se puede agrietar o fracturar un engrane?

Cuando el motor a combustión gira en mínima rotación, estando la maquina detenida, las energías confrontacionales son mínimas, el torque del motor es el mínimo, la fuerza inercial de la maquina no esta presente, esta disparidad es asumida por otro mecanismo, donde una parte del árbol se esta moviendo, la otra parte esta detenida, se conectan suavemente y la diferencia se convierte en calor al pasar por un mecanismo de “embrague”.

Los problemas aparecen después, cuando la maquina esta en movimiento, este va aumentando gradualmente. Si el conductor no posee la habilidad de “efectuar los cambios de marchas suavemente, sin movimientos bruscos”, empieza a introducir un factor decisivo de grandes fuerzas inerciales acompañando la maniobra de cambiar de marcha.

La confrontación que se produce por los giros desiguales entre el motor y la velocidad de la maquina expresada en el eje cardan, cuando estos verdaderos golpes a la tracción, ocurren como mínimo una 2000 veces en una jornada de trabajo dentro de la gran ciudad, esta acción es la que finalmente se convierte en una de las causas principales que va a provocar el colapso descrito en las paginas anteriores.

Brusquedad al pasar cambios, implica lo siguiente:

- 1.- Ruptura de la delgada película de aceite en momentos de gran carga en los engranajes motrices, en los rodamientos, en los separadores axiales de ciertos mecanismos satélites y planetarios.
- 2.- La presión excesiva y descontrolada produce una corrida en los puntos de contacto elastohidrodinamico, esto lleva a un desgaste prematuro.
- 3.- Se desalinean a modo gradual ejes y engranajes, aumentando cada vez más, hasta finalmente hacer colapsar los mecanismos más vulnerables.
- 4.- El particulado se pone fuera de control, la misma caja de engranajes hace las veces de molino, mezclando íntimamente el aceite con las partículas de la metalurgia con la que fue construido, si a eso le agregamos un poco de tierra, un

poco de agua, mas otros residuos ambientales, lo que estamos obrando es transformar una línea de mantenimiento preventivo, en una línea de trabajo correctivo, que le va a ocasionar en el mediano plazo, graves problemas de financiamiento a la parte contable de la empresa propietaria de los buses, pero le va a brindar grande satisfacciones a las casas de venta de repuestos.

Obviamente, eso pudo contribuir bastante a la crisis de los buses amarillos de la gran ciudad de Santiago.

Datos estadísticos, 16 maquinas evaluadas a partir del 01/01/2004, hasta el 31/10/2005, los días promedio trabajados por mes, en estas maquinas modelo 1318, no pasa de 18 días (fallas imprevistas, mantenimiento programado, 4.5 días de restricción mensual).

A contar del 01, Enero 2004, al 30 de Octubre de 2005.

	Cambio diferencial...
Maquina	1100
105	0
106	0
107	1
108	0
109	8
110	0
111	1
112	7
113	1
114	6
115	5
201	1
202	0
40	8
41	6
42	0

44

Este grupo acumulo 44 cambios de eje traseros (por procedimiento técnico, el ajuste procede con el eje desmontado), generalmente se usa un recambio de eje. Son 22 meses evaluados, donde cada mes solo cuenta con 18 días completos de trabajo, el total de jornadas sería de 396.

El promedio diario de recorrido por cada bus es de unos 330 kilómetros.

El total acumulado por el grupo en 22 meses sería de 2.090.880 kilómetros.

La distancia entre fallas sería de 47.520 kilómetros o 9 días.

Cada reparación le significa al presupuesto de mantenimiento un desembolso de un valor promedio de unos \$600.000 pesos (Chile), equivalente a unos 892 Euros.

Sin lugar a dudas, en un contexto global, observado el parque automotriz de la región metropolitana, cuando en su mejor momento (1996 a 2000) pudieron estar circulando por lo menos unas 6000 maquinas modelo 1318, dentro de un régimen

comercial de alta competencia, donde se privilegiaba la velocidad de los servicios por sobre la calidad, es cuestión de imaginarse lo que pasaba, cuando no existían los mecanismos de control que hoy día tenemos.

“Origen de las principales fallas”.

- 1° mala operación.
- 2° contaminación del lubricante (agua, polvo ambiental).
- 3° por pérdida de aceite (carter de poca capacidad, se calienta fácilmente).
- 4° procedimiento de reparación equivocado, exceso de intervención.
- 5° repuestos de dudosa calidad.
- 6° fatiga de materiales adquiridas en su proceso de obtención o de mecanizado.
- 7° desgaste por condiciones naturales asociadas al modo de trabajo, por periodo extendido de uso, por stress.
- 8° no cambiar el aceite a tiempo (40 días).

En parte recopilado, en parte creado por:

Darwin F Inostroza B.

Profesional experto, jefe de taller de larga trayectoria a cargo de grandes flotas.

Estudiante de Sociología en la U de Concepción (1970, 1973), inicio la actividad en Divolvo SA., como recepcionista, luego como jefe de taller, en 5 años de permanencia logro una formación técnica acabada en sistemas del árbol motor, en el momento de mi retiro, tenía grado de instructor en terreno, luego asumo como jefe de turno en flota de buses lit, de largo recorrido (5 años), jefe técnico en buses Chile bus, recorridos a Brasil, Argentina, Arica (1 año), jefe de taller de camiones en Frigorífico O’Higgins (15 años), asesor flota de camiones y trailer Supermercados Líder (2002, vigente), asesor en análisis de aceite motor, caja de cambios, diferenciales en Transportes Vergara (2003, vigente), jefe de taller en Transportes Tabach, buses urbanos, prestadores de servicio en plan de transporte en la ciudad de Santiago, conocido como TranSantiago (2002, vigente).

Curso en la Universidad Técnica de Santiago en Motores de combustión interna (100 horas), curso de mecánica automotriz en Inacap (100 horas).

Relator experto en mantenimiento para Shell, año 2003, en Santiago y Sao Paulo Brasil, relator en gestión de mantenimiento para diplomado “Gestión en Transporte”, Universidad de Santiago (2005).

tallerdarwin@devtec.cl

Adjunto base de datos de un bus piloto (201) que participo en un proyecto de vida de largo aliento para un diferencial H L 4, con operadores entrenados en conducción estilo buses interprovinciales, sin afectar a la parte comercial.

Consta de las siguientes fallas:

Código 222, relleno diferencial

Código 224, cambio de aceite diferencial

Código 1100, ajuste diferencial

Código 504, cambio balatas a las ruedas traseras

(Usar filtro Excel para entender y desplegar la hoja de vida).

Santiago de Chile, 28 de mayo de 2006.