



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**IMPLEMENTACIÓN DE UN FRENO HIDRODINÁMICO COMO
MEJORA AL FRENO DE SERVICIO Y FRENO DE MOTOR EN
VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PESADO**

Eber Vinicio Garcia Martinez

Asesorado por el Ing. Carlos Méndez Medina

Guatemala, mayo de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN FRENO HIDRODINÁMICO COMO MEJORA AL
FRENO DE SERVICIO Y FRENO DE MOTOR EN VEHÍCULOS DE
TRANSPORTE PESADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EBER VINICIO GARCIA MARTINEZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS MENDEZ MEDINA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónnee Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Elvis José Álvarez Valdez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónnee Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE UN FRENO HIDRODINÁMICO COMO MEJORA AL FRENO DE SERVICIO Y FRENO DE MOTOR EN VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PESADO,

tema que me fuera asignado por la Coordinación de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha de 21 de junio de 2006.

Eber Vinicio Garcia Martinez

ACTO QUE DEDICO A

DIOS

Por darme la vida y permitirme este logro.

MI PADRE

Por exhortarme a seguir adelante y enseñarme el camino correcto y todo su esfuerzo.

MI MADRE

Por el apoyo que me a brindado a lo largo de mi vida, su ayuda y su amor.

MIS HERMANOS

Por su ayuda y que este triunfo les sirva de ejemplo en su vida.

MIS PRIMOS

Por el ejemplo y ayuda que me han brindado.

MIS COMPAÑEROS

Quienes fueron mi equipo de estudios, Edwin López y José González.

LA FACULTAD DE INGENIERÍA, por brindarme ese excelente estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE FRENOS	1
1.1. Qué es el freno	1
1.2. Principios básicos sobre el funcionamiento del freno	1
1.2.1. Freno tipo de tambor interno de expansión	2
1.2.2. Freno de tambor externo de contracción	3
1.2.3. Freno de banda	3
1.2.4. Disco de empuje	3
1.2.5. Disco cónico	4
1.3. Utilización de los frenos en los vehículos	4
1.3.1. Freno de disco	5
1.3.1.1 Mordazas	6
1.3.1.2 Pistones y cilindros	7
1.3.1.3 Pastillas de freno	7
1.3.2. Frenos de tambor	8
1.4. Clasificación de los frenos en los vehículos	10
1.4.1. Frenos de servicio	11
1.4.2. Freno de motor	11
1.4.3. Freno de escape	12

1.4.4.	Frenos magnéticos	13
1.4.4.1.	Principio del funcionamiento electromagnético	13
1.4.4.2.	Sistema de enfriamiento en frenos magnéticos	15
2.	GENERALIDADES DEL FRENO HIDRODINÁMICO	17
2.1.	Qué es la hidrodinámico	17
2.1.1.	Flujos incompresibles y sin rozamiento	18
2.1.2.	Flujos turbulentos en movimiento laminar y turbulento	19
2.1.3.	Flujos de capa límite	20
2.1.4.	Viscosidad en los fluidos	21
2.1.5.	Clasificación de los movimientos de los fluidos	23
2.2.	Freno Hidrodinámico	24
2.3.	Funcionamiento del freno hidrodinámico	25
2.4.	Montaje del freno hidrodinámico	28
2.4.1.	Montaje focal	28
2.4.2.	Montaje libre	29
2.4.3.	Montaje <i>offline</i>	30
2.5.	Sistema de enfriamiento del freno hidrodinámico	31
3.	VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL FRENO HIDRODINÁMICO	35
3.1.	Freno hidrodinámico como mejor al freno de servicio y freno de motor	36
3.1.1.	Pruebas en carretera	37
3.2.	Reducción en la utilización de los frenos de servicio	46
3.3.	Reducción de costos de operación	50

4. MANTENIMIENTO DEL FRENO HIDRODINÁMICO	51
4.1. Comprobación del nivel de aceite	51
4.1.1. Control del nivel de aceite con la utilización del tornillo de nivel	55
4.1.2. Control del nivel de aceite con la utilización de la sonda de nivel	56
4.2. Cambio del aceite del freno hidrodinámico	57
4.3. Limpieza del filtro de aire de la tubería	59
4.4. Intervalos en el cambio de aceite	61
4.4.1. Servicio en condiciones normales de trabajo	61
4.4.2. Servicio en condiciones extremas	62
5. OPERACIÓN DEL FRENO HIDRODINÁMICO	65
5.1. Accionamiento del freno hidrodinámico	66
5.1.1. Fijación de velocidad constante	67
5.1.2. Aumento de potencia de frenado	68
5.1.3. Accionamiento del freno hidrodinámico mediante el pedal de freno	69
5.2. Desconexión del freno hidrodinámico por el calentamiento del motor	71
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Cinco tipos de frenos	2
2	Freno de banda	3
3	Freno de disco en vehículo	4
4	Freno de disco	6
5	Fricciones en freno de disco	8
6	Sistema de freno de tambor	9
7	Sistema de freno de tambor accionado	10
8	Freno de motor	12
9	Válvula y cilindro de freno de escape	13
10	Freno electromagnético	14
11	Diseño de freno electromagnético	15
12	Enfriamiento de freno electromagnético	16
13	Esquema general de fluidos	23
14	Freno hidrodinámico	25
15	Sección transversal del freno hidrodinámico	26
16	Estator del freno hidrodinámico	27
17	Montaje focal del freno hidrodinámico	29
18	Montaje libre del freno hidrodinámico	30
19	Montaje <i>offline</i> del freno hidrodinámico	30
20	Sistema de enfriamiento del freno hidrodinámico	32
21	Comparación velocidad – tiempo en pruebas	38
22	Resultado de frenadas en pruebas efectuadas	39
23	Cronología descenso en prueba sin freno hidrodinámico	41

24	Cronología descenso en prueba con freno hidrodinámico	42
25	Temperatura fricciones en prueba sin freno hidrodinámico	44
26	Temperatura fricciones en prueba con freno hidrodinámico	45
27	Tomas de nivel de aceite en el freno hidrodinámico	54
28	Varilla de nivel de aceite en freno hidrodinámico	56
29	Parte inferior del freno hidrodinámico	58
30	Localización del filtro y válvula proporcional	60
31	Mando de control del freno hidrodinámico	66

TABLAS

I	Valores de viscosidad dinámica para fluidos	22
II	Intervalos de mantenimiento para un cabezal	47
III	Tareas de mantenimiento en servicio menor	48
IV	Tareas de mantenimiento en servicio mayor	49
V	Costos de mantenimiento en freno para un vehículo	52
VI	Medida de aprietes para los tornillos del freno	59
VII	Intervalo para cambio de aceite del freno	63
VIII	Potencia del freno según posición de palanca	68
IX	Potencia del freno según presión en el pedal de freno	70

GLOSARIO

Aceite sintético	Pueden ser derivados de la industria petroquímica o sustancias no derivadas del petróleo, tienen una estructura molecular uniforme, proporcionan un mayor coeficiente de tracción y menor fricción interna entre las moléculas. bajo carga
Calor	Tipo de energía que se transmite de un cuerpo a otro en virtud de una diferencia de temperatura.
Carter	Parte inferior del cuerpo del motor, el cual actúa como reserva de aceite.
Diferencial	Mecanismo que enlaza tres ejes móviles, de modo que sus velocidades simultaneas de rotación puedan ser diferentes, además de cambiar la dirección de la rotación.
ECU	Unidad Electrónica de Control.
Eje Cardan	Mecanismo que permite transmitir un movimiento de rotación a dos ejes de direcciones distintas.
Fadding	Es el calentamiento de las fricciones el cual al ser muy repetido cristaliza las mismas.

Flujo	Movimiento de un líquido o gas.
Intercambiador de calor	Mecanismo donde un fluido cede calor a otro.
Mando de control	Dispositivo electrónico que regula la presión de aire aplicada al freno hidrodinámico.
Potencia	Cantidad de trabajo o transferencia de energía realizado por unidad de tiempo.
Refrigerante	Fluido con buenas propiedades para absorber y ceder calor.
Rigidez	Que no cambia su forma bajo la acción de fuerzas externas.
Sistema de frenos ABS	Sistema de seguridad activa para vehículos, la cual evita que las ruedas queden bloqueadas al frenar.
Viscosidad	Propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia al movimiento de sus moléculas.
Yugo	Dispositivo mecánico que une mediante juntas dos ejes de rotación.

RESUMEN

El funcionamiento del freno hidrodinámico para vehículos de transporte pesado está diseñado de tal manera que la potencia de frenado sea proporcionada por un fluido, es este caso, aceite que puede ser sintético 15W30 o bien monogrado SAE 30.

El sistema de freno hidrodinámico es un económico freno sin fricción que mantiene baja la temperatura de los frenos de servicio. De este modo, éstos se mantienen totalmente operativos, ofreciendo seguridad adicional en casos de emergencia.

El freno hidrodinámico es un freno de alto rendimiento capaz de desacelerar vehículos de gran tonelaje con total seguridad y efectividad. La potencia de frenado es aproximadamente el doble del valor de la potencia del motor del vehículo.

Este tipo de freno esta compuesto por dos partes fundamentales que conjuntamente con el aceite crean la potencia de frenado en los vehículos, estas partes son el rotor y estator. El rotor, accionado por el eje cardan del vehículo acelera el aceite, el cual es desacelerado en el estator, que esta localizado enfrente del rotor. La turbulencia del aceite desacelera el rotor, frenando de esta manera el vehículo. El calor generado durante la frenada es disipado a través del sistema de refrigeración del vehículo, el cual es necesario modificar para poder montar correctamente el freno hidrodinámico.

El montaje del freno hidrodinámico puede hacerse directamente en la caja de cambios, a este montaje se le llama focal y, también se puede instalar el

freno hidrodinámico entre la caja de velocidades y el diferencial, a este montaje se le llama libre.

En el montaje focal, se fija el freno hidrodinámico en la caja de cambios, en este tipo de montaje no se modifica el eje cardan, se tiene fácil acceso. En el montaje libre se modifica el eje cardan para poder montar el freno entre la caja de velocidades y el diferencial.

Para accionar el freno se puede hacer con toda comodidad utilizando la palanca de mando que se coloca cerca del volante del vehículo o a través del pedal de freno, cualquiera de estos dos tipos de accionamiento envían señal al ordenador del freno hidrodinámico para que entre en funcionamiento.

Un piloto experimentado puede llegar a utilizar hasta un 90% el freno hidrodinámico en vez de los frenos de servicio y es esto lo que hace que el freno hidrodinámico sea rentable.

OBJETIVOS

General

Proponer la implementación de un freno hidrodinámico en los vehículos de transporte pesado para poder aumentar la rentabilidad de operación de los mismos, disminuyendo el mantenimiento y aumentando la seguridad de los vehículos, así como disminuir los costos de mantenimiento de los vehículos que utilicen el sistema de freno hidrodinámico.

Específicos

1. Describir las ventajas competitivas del funcionamiento del freno hidrodinámico.
2. Efectuar pruebas en carretera necesarias para comprobar el verdadero funcionamiento y el aporte que proporciona el freno hidrodinámico.
3. Describir los beneficios que se pueden obtener al utilizar correctamente el freno hidrodinámico.
4. Demostrar la importancia de la seguridad que brinda el freno a todo tipo de transporte.

INTRODUCCIÓN

La seguridad de un vehículo de transporte pesado por las carreteras de la República de Guatemala, además de los neumáticos y el sistema de dirección, la constituye el sistema de frenos.

Así pues, los sistemas de frenos constituyen uno de los más importantes sistemas de seguridad de los vehículos, en virtud de ello los fabricantes dedican mucho tiempo al desarrollo y diseño de los sistemas de frenos.

Las empresas guatemaltecas con el deseo de obtener la máxima rentabilidad en el negocio de transporte de mercancías y para que su producto llegue a su destino lo antes posible, han hecho que sus vehículos de transporte pesado se movilicen a mayor velocidad, lo que debido a la topografía desigual de las carreteras de Guatemala es de alto riesgo, debido al gran número de curvas y pendientes que poseen nuestras carreteras.

El freno Hidrodinámico es de gran utilidad en estos casos, ya que, además de colaborar con la seguridad del vehículo, le proporciona un aumento de su velocidad comercial de hasta un 10% en promedio en carreteras con descensos. Con este aumento de velocidad y sin ser necesario compresionar con el motor para disminuir la velocidad, se tienen ahorros significativos en consumo de combustible así como la disminución de los frenos de servicio, lo que da por resultado un menor desgaste de las fricciones hasta 8 veces más en su duración. Esto evita la producción del fadding que no es nada más que el calentamiento de las fricciones lo cual al ser demasiado repetitivo puede llegar a cristalizar las fricciones e invalidar su acción.

El freno Hidrodinámico también proporciona alta potencia de frenado cuando se utiliza conjuntamente con los frenos de servicio, el freno de motor y/o el freno de escape, lo cual hace que los vehículos en nuestras carreteras sean mas seguros y mas eficaces en el papel que desempeñan dentro de las empresas.

Este trabajo servirá como una guía descriptiva, primero de cómo funciona el freno hidrodinámico, explicando los principios básicos de funcionamiento del mismo; también, se exponen los beneficios que aporta el freno hidrodinámico al utilizarlo adecuadamente; se explicará al conductor del vehículo como se debe utilizar y cuando, para poder optimizar el funcionamiento del mismo y, así, aumentar la velocidad del vehículo y también la seguridad en la carretera.

1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LOS FRENOS

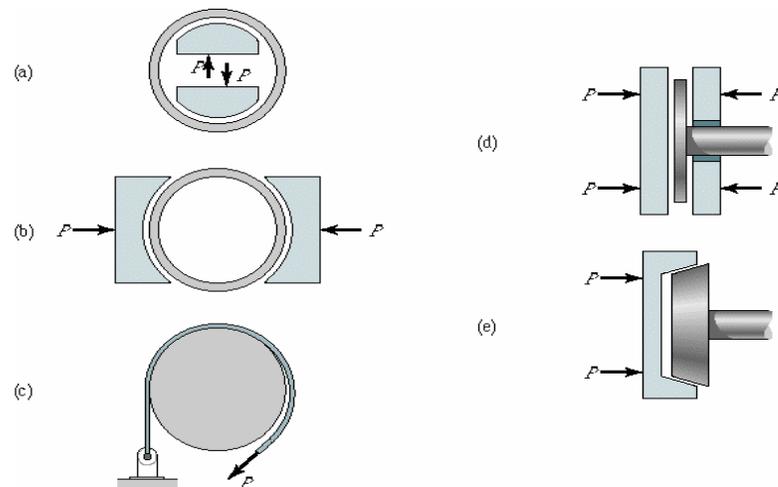
1.1 Qué es el freno

Un freno es un dispositivo que se usa para llevar al reposo un sistema en movimiento, para disminuir su velocidad o para controlar su velocidad hasta un cierto valor en condiciones cambiantes. La función del freno consiste en convertir energía mecánica en calor. El diseño de un freno depende de incertidumbres sobre el valor del coeficiente de fricción, el cual se debe utilizar necesariamente. El freno permite una conexión por fricción, magnética, hidráulica o mecánica entre dos elementos de maquinas. Si uno de los elementos gira y el otro esta estático, a este sistema se le conoce como freno.

1.2 Principios básicos sobre el funcionamiento del freno

El principio básico del freno consiste en que dos elementos uno en movimiento y el otro estático se unen mediante una fuerza externa que empuja el elemento estático contra el elemento que se encuentra en movimiento, esto crea fricción entre ambos elementos, haciendo que el elemento que se encuentra girando comience a detenerse gradualmente, esto dependiendo de la magnitud de la fuerza que se aplique sobre el elemento estático, entre mas fuerza se le aplique al elemento estático este se presionará con mayor fuerza contra el elemento que gira haciendo que este se detenga con mayor rapidez. Existen muchos tipos de frenos por fricción entre dos elementos mecánicos, de los cuales se mostraran algunos en la figura que se muestra a continuación.

Figura 1. Cinco tipos de frenos



Fuente: Bernard J. Hamrock, Elementos de maquinas.

Pag. 783

En la figura 1, también se muestran las fuerzas que actúan sobre los elementos de cada freno.

- a) Freno tipo de tambor interno de expansión.
- b) Freno tipo de tambor externo de contracción.
- c) Freno de banda.
- d) Disco de empuje.
- e) Disco cónico.

1.2.1 Freno tipo de tambor interno de expansión

En esencia estos frenos constan de un bloque llamados zapatas que actúan sobre la superficie del tambor, el cual esta conectado al elemento que se quiere frenar. En este caso las zapatas se colocan en el interior del tambor con lo que se consigue un similar par de frenado y una mayor protección del sistema.

1.2.2 Freno tipo de tambor externo de contracción

Este freno es una variante del caso anterior, difiere en que las zapatas se colocan al exterior del tambor y estas actúan sobre la superficie lateral del tambor que es el elemento que se desea frenar o disminuir su velocidad.

1.2.3 Freno de banda

Este tipo de freno consiste en una banda flexible que envuelve con un gran ángulo de contacto la superficie lateral del tambor unido solidariamente al elemento a frenar.

Figura 2. Ejemplo de freno de banda



Fuente: <http://www.sabelotodo.org/automovil/frenobanda.html>

1.2.4 Disco de empuje

Este tipo de freno consiste en un disco metálico de cierto espesor, cuyo centro esta unido solidariamente al elemento que se desea frenar y en el cual en una corona circular, por ambas caras, actúan simultáneamente pastillas opuestas de material con un coeficiente de fricción elevado, por ejemplo el caso del asbesto. Las pastillas normalmente se conforman partiendo de un sector circular y se considera que la presión “**P**” que ejercen sobre el disco es constante en toda su superficie, debido a que el empuje se realiza mediante dos

gruesas placas de acero en las que actúan sendos pistones movidos hidráulicamente desde el pedal de freno de un vehiculo.

1.2.5 Disco cónico

Este tipo de freno es similar al freno de disco, con la diferencia que el disco que esta solidariamente unido al elemento que se desea frenar tiene un diseño cónico y el elemento que lo frena es también de diseño cónico para que este se ajuste adecuadamente al disco. El elemento que frena solo actúa sobre un lado del elemento giratorio. Este tipo de freno es utilizado en maquinas estacionarias donde también se puede utilizar como un embrague para el acople de dos elementos.

1.3 Utilización de los frenos en los vehículos

La utilización de los frenos tiene su comienzo desde casi la invención de los automóviles. Dada la necesidad de hacer que los vehículos se detuvieran de alguna forma posible, se fueron dando muchos experimentos para poder crear los frenos que aún hoy en día se utilizan; dadas las necesidades de inventar un freno se crearon dos tipos que todavía se utilizan.

Figura 3. Freno en vehículo



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Freno_de_disco

- a) Frenos de tambor
- b) Frenos de disco

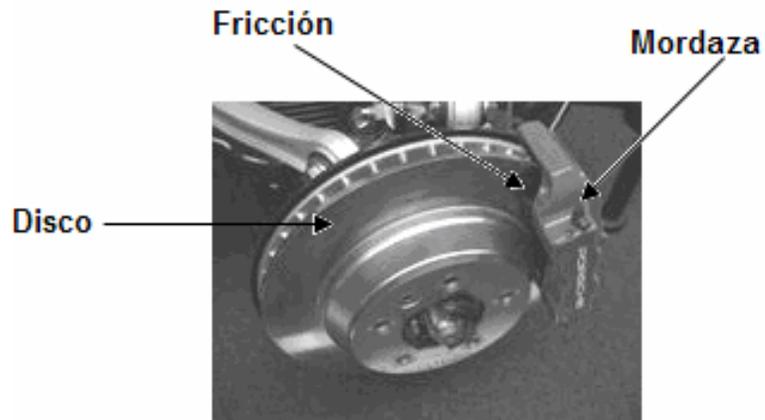
1.3.1 Freno de disco

Los experimentos con los frenos de disco comenzaron en Inglaterra alrededor de 1890. El primer automóvil con frenos de disco fue patentado por Frederick William Lanchester en su fábrica de Birmingham en 1902, aunque tuvo que pasar medio siglo para que esta innovación se utilizara ampliamente. Los primeros diseños de frenos de disco modernos comenzaron en el Reino Unido entre 1940 y 1950. Ofrecían mejor rendimiento en la frenada que los frenos de tambor y tenían mejor resistencia al sobrecalentamiento (*fading*) y no perdían su eficacia al sumergirlos en agua, importante en los vehículos todo terreno. Además son mucho más fiables que los frenos de tambor debido a su simplicidad mecánica, tiene menos piezas y son más sencillos de ajustar.

Inicialmente los frenos de disco fueron introducidos en los vehículos deportivos que demandaban una mayor capacidad de frenada. Algunos estaban colocados dentro del vehículo, junto al diferencial, pero la inmensa mayoría de los actuales se colocan dentro de las ruedas. Los posicionados dentro del vehículo permiten disminuir la masa suspendida y el calor transmitido a las ruedas, importante en la alta competición.

En la actualidad los frenos de disco han sido introducidos prácticamente en la totalidad de los vehículos, pero se siguen utilizando los frenos de tambor en el eje trasero en algunos vehículos, como forma de reducir costos y simplificar el funcionamiento del freno de mano. Dado que la mayoría del esfuerzo de frenada se produce en el eje delantero, esta solución ofrece un compromiso razonable entre costo y seguridad.

Figura 4. Freno de disco



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Freno_de_disco

Existen diferentes tipos de discos de freno. Algunos son de acero macizo mientras que otros están rayados en la superficie o tienen agujeros que los atraviesan. Estos últimos, denominados discos ventilados, ayudan a disipar el calor. Además, los agujeros ayudan a evacuar el agua de la superficie de frenado. Las ranuras sirven para eliminar con más facilidad el residuo de las fricciones. Algunos discos están perforados y rayados. El conjunto de frenos de disco se componen de varios elementos: mordazas, fricciones, pistones o bombas de frenos por mencionar algunos, ver figura 4.

1.3.1.1 Mordazas

La mordaza es el soporte de las fricciones y los pistones de freno. Los pistones están generalmente hechos de acero aluminizado o cromado. Hay dos tipos de mordazas: flotantes o fijas. Las fijas no se mueven, en relación al disco de freno, y utilizan uno o más pares de pistones. De este modo, al accionarse, presionan las pastillas a ambos lados del disco. En general son más complejas y caras que las mordazas flotantes. Las mordazas flotantes, también

denominadas "mordazas deslizantes", se mueven en relación al disco; un pistón a uno de los lados empuja las fricciones hasta que estas hacen contacto con la superficie del disco, haciendo que la mordaza y con ella la fricción de freno interior se desplacen. De este modo la presión es aplicada a ambos lados del disco y se logra la acción de frenado.

Las mordazas flotantes pueden fallar debido al enclavamiento de la mordaza. Esto puede ocurrir por suciedad o corrosión, cuando el vehículo no es utilizado por tiempos prolongados. Si esto sucede, la pastilla de freno de la mordaza hará fricción con el disco aún cuando el freno no esté siendo utilizado, ocasionando un desgaste acelerado de la pastilla y una reducción en el rendimiento del combustible.

1.3.1.2 Pistones y cilindros

Los pistones cuentan con una fijación que va alrededor y sellos que impiden el escape de la presión ejercida por el líquido de frenos, a través del cual son accionados. La mordaza lleva un conducto por el cual entra el líquido de frenos y eso hace que la mordaza empuje la pastilla contra el disco y, a la vez, que se corra la mordaza para frenar con ambas fricciones y se logre uniformizar el frenado y el desgaste.

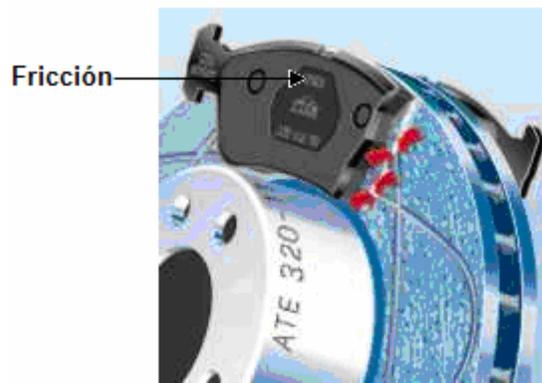
1.3.1.3 Pastillas de freno

Las fricciones están diseñadas para producir una alta fricción con el disco. Deben ser reemplazadas regularmente, y muchas están equipadas con un sensor que alerta al conductor cuando es necesario hacerlo. Algunas tienen una pieza de metal que provoca un ruido cuando están a punto de gastarse,

mientras que otras llevan un material que cierra un circuito eléctrico que hace que se ilumine una luz de precaución en el tablero.

Hasta hace poco tiempo las fricciones contenían amianto, que ha sido prohibido por resultar cancerígeno. Por lo tanto, al trabajar con vehículos antiguos se debe tener en cuenta que no se debe inhalar el polvo que pueda estar depositado alrededor de los elementos de frenos, ver figura 5.

Figura 5. Fricciones en frenos de disco



Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Disk_brakes

1.3.2 Frenos de tambor

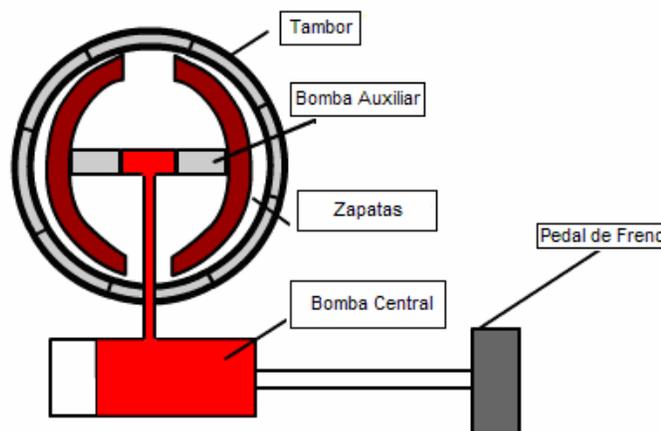
El freno de tambor es un tipo de freno en el que la fricción se obtiene por un par de zapatas o pastillas que presionan contra la superficie interior de un tambor giratorio, el cual está conectado al eje o la rueda.

Los frenos de tambor modernos se inventaron en 1902 por Louis Renault, aunque un tipo de freno similar pero menos sofisticado ya se había usado por Wilhelm Maybach un año antes. En los primeros diseños las zapatas eran dirigidas mecánicamente; a mediados de los años '30 se introdujo un sistema hidráulico por medio de aceite, si bien el sistema clásico se siguió utilizando durante décadas en algunos modelos.

Las zapatas eran un elemento que había que ajustar regularmente hasta que en los años 50's se introdujo un sistema de auto adaptación que hacía innecesario el ajuste manual. En los años 60 y 70 se empezaron a dejar de fabricar coches con frenos de tambor en el eje delantero. En su lugar se fue introduciendo el freno de disco y actualmente todos los vehículos de gama media y alta los incorporan. Esto es debido a que los frenos de tambor con zapatas internas tienen poca capacidad de disipar el calor generado por la fricción, lo que hace que se sobrecalienten fácilmente. En esos casos los materiales se vuelven más endebles y es necesario presionar con más fuerza para obtener una frenada aceptable.

Actualmente los frenos de tambor se siguen utilizando en algunos vehículos debido a su menor coste sobre los frenos de disco, ver figura 6.

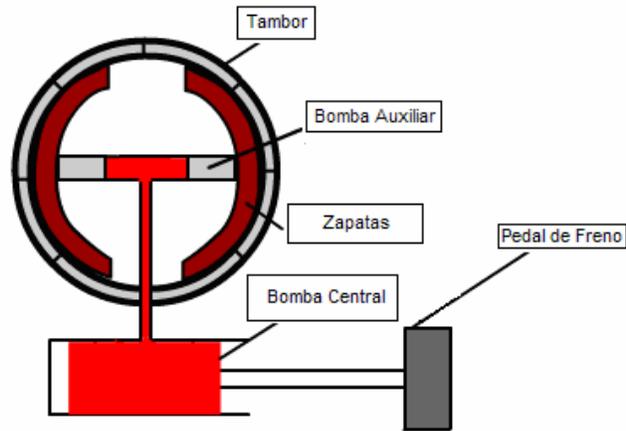
Figura 6. Sistema de freno de tambor



Fuente: www.meineke.com/howworkdrumbrakes

Al accionar el pedal de freno, el fluido empuja los émbolos de las bombas que a su vez empujan las zapatas contra el tambor, como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Sistema de freno de tambor accionado



Fuente: www.meineke.com/howworkdrumbrakes

1.4 Clasificación de los frenos en los vehículos

Los frenos por su forma de accionamiento y su funcionamiento pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) Frenos de Servicio
- b) Freno de motor
- c) Freno de escape
- d) Frenos magnéticos
- e) Frenos hidrodinámicos

1.4.1 Frenos de servicio

Los frenos de servicio son los que se utilizan típicamente en los vehículos de hoy en día, estos son accionados mediante la presión ejercida sobre el pedal de freno, este a su vez transmite la fuerza por medio de una varilla conectada a un pistón dentro de un cilindro (bomba principal). Este ejerce presión sobre el fluido hidráulico, la presión viaja a través del fluido hasta llegar al cilindro en el extremo (bomba auxiliar). La presión empuja al cilindro de la bomba auxiliar, esta desplaza a las zapatas contra el tambor o disco y es donde se crea la fricción que hace detener el vehículo.

Existen varios tipos de accionamiento en los frenos, los más comúnmente utilizados para los vehículos de uso cotidiano son los accionados hidráulicamente y también existen los frenos accionados neumáticamente. Estos últimos son los más utilizados para vehículos de transporte pesado.

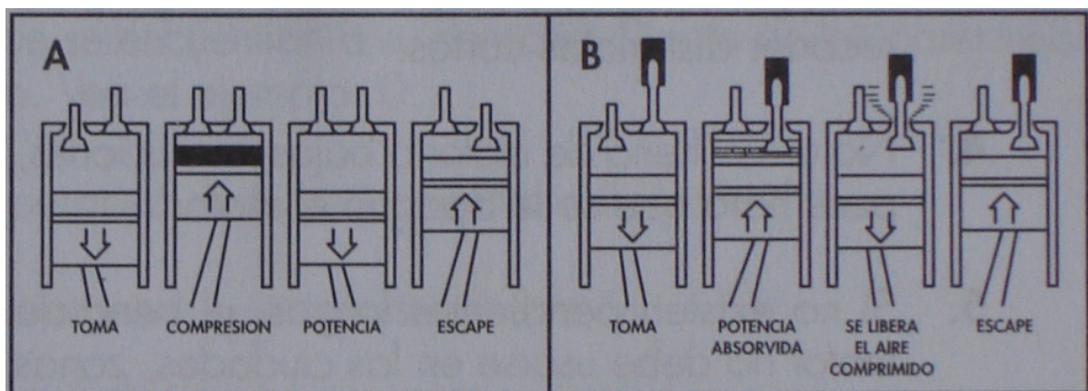
1.4.2 Freno de motor

Este es un mecanismo que cambia el tiempo de las válvulas en el motor del vehículo. Normalmente cuando el pistón está cerca de la parte superior del cilindro, se inyecta el combustible, este se enciende y el pistón es empujado hacia abajo en el tiempo de potencia. Pero cuando el freno de motor se activa, justo antes de que el pistón llegue al punto superior la válvula de escape se abre y deja salir el aire comprimido, antes que llegue al punto donde se inyecta combustible. La energía utilizada para comprimir el aire sale por el tubo de escape al exterior. De este modo, el motor funciona como compresor de aire absorbente de potencia, de esta manera, se produce una acción de retardo o

desaceleración en las ruedas propulsoras del vehículo, esto conduce a una disminución en la utilización del freno de servicio y así en su mantenimiento.

Cabe mencionar que el freno de motor solo sirve para desacelerar el vehículo o para disminuir su velocidad pero no para detener por completo el vehículo.

Figura 8. Funcionamiento del freno de motor



Fuente: Manual del conductor de Ttacasa.

Pg 35.

La ilustración **A** le muestra un pistón que opera normalmente; mientras que **B** le demuestra lo que sucede cuando se acciona el freno de motor.

El freno de motor se activa por medio de controles localizados en la cabina, una vez que se enciende el sistema, generalmente la operación es automática. Entra a funcionar siempre que se deja de presionar el pedal de acelerador.

1.4.3 Freno de escape

Otro tipo muy frecuente de encontrar en los vehículos de transporte pesado son los frenos de escape. Este consiste simplemente en la utilización de una válvula mariposa o chapaleta instalada en el sistema de escape de los gases de

combustión; este estrangula ó restringe el paso de los gases de escape. Este es accionado ya sea por el pedal o mediante un interruptor; cuando el operador del vehiculo lo acciona este impide la salida de los gases del motor acumulando presión que finalmente dificulta el desplazamiento de los pistones del motor reduciendo la velocidad el motor y así la velocidad del vehiculo.

Figura 9. Válvula de freno de escape



Fuente: www.suministrosindustriales.com.mx

1.4.4 Frenos magnéticos

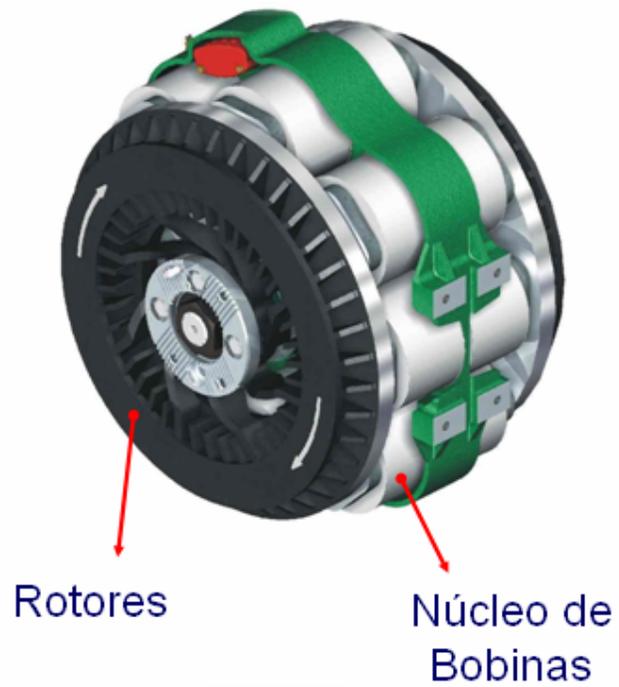
1.4.4.1 Principio de funcionamiento electromagnético

El principio de funcionamiento se basa en la generación de un campo magnético entre el núcleo de bobinas y los rotores.

El campo se opone al movimiento de los rotores que giran con el eje cardan, con relación al núcleo de bobinas que se encuentran fijas al chasis del vehículo.

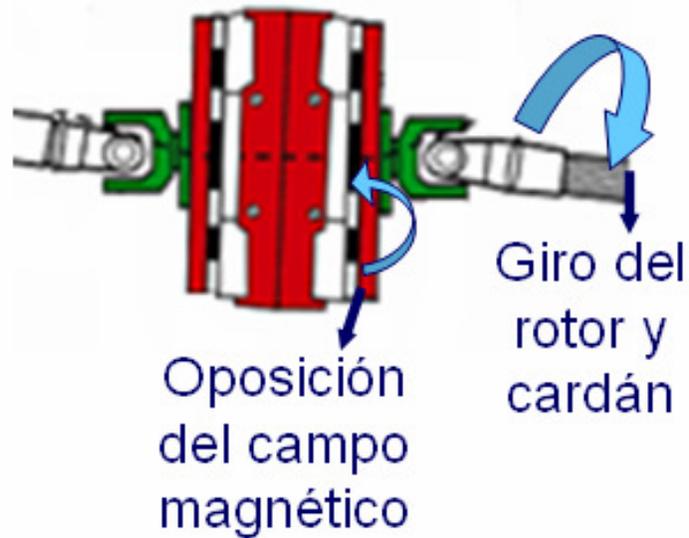
Es precisamente esta oposición al movimiento, lo que permite retardar la velocidad del vehículo, sin fricción entre sus componentes.

Figura 10. Carcaza de un freno electromagnético



Fuente: <http://www.cofremex.com/producto/quees.htm>

Figura 11. Diseño de un freno electromagnético

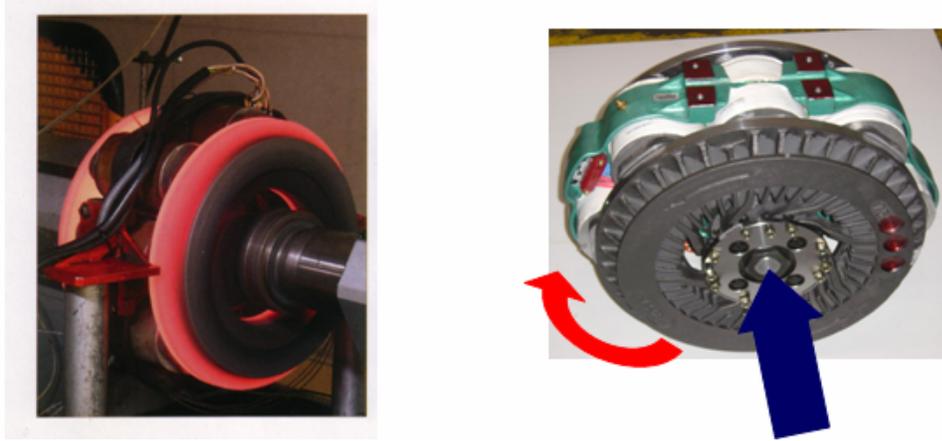


Fuente: <http://www.cofremex.com/producto/comofunciona.htm>

1.4.4.2 Sistema de enfriamiento en frenos electromagnéticos

Los rotores de los frenos electromagnéticos están diseñados para absorber el calor generado, y conforme al giro de este, se enfría por el paso de aire a través de sus aletas de respiración. De tal suerte, que siempre que la unidad circule sin el freno activado, este irá enfriándose.

Figura 12. Cómo se enfría el freno electromagnético



Fuente: <http://www.cofremex.com/producto/comofunciona.htm>

2. GENERALIDADES DEL FRENO HIDRODINÁMICO

2.1 Hidrodinámica

Para comprender el funcionamiento del freno hidrodinámico se deben tener muy claros los principios de la hidrodinámica por lo que se dará una breve explicación histórica de los fundamentos básicos de la hidrodinámica.

La hidrodinámica es una rama de la mecánica de fluidos que se ocupa de las leyes de los fluidos en movimiento; estas leyes son bastante complejas, y aunque la hidrodinámica tiene una importancia práctica mayor que la hidrostática, solo podemos tratar aquí algunos conceptos básicos.

El interés por la dinámica de fluidos se remonta a las aplicaciones más antiguas de los fluidos en ingeniería. Arquímedes realizó una de las primeras contribuciones con la invención, que se le atribuye tradicionalmente, del tornillo sin fin. La acción impulsora del tornillo de Arquímedes es similar a la de la pieza semejante a un sacacorchos que tienen las picadoras de carne manuales. Los romanos desarrollaron otras máquinas y mecanismos hidráulicos; no sólo empleaban el tornillo de Arquímedes para bombear agua en agricultura y minería, sino que también construyeron extensos sistemas de acueductos, algunos de los cuales todavía funcionan. En el siglo I a.C., el arquitecto e ingeniero romano Vitrubio inventó la rueda hidráulica horizontal, con lo que revolucionó la técnica de moler grano.

A pesar de estas tempranas aplicaciones de la dinámica de fluidos, apenas se comprendía la teoría básica, por lo que su desarrollo se vio frenado.

Después de Arquímedes pasaron más de 1.800 años antes de que se produjera el siguiente avance científico significativo, debido al matemático y físico italiano Evangelista Torricelli, que inventó el barómetro en 1643 y formuló el teorema de Torricelli, que relaciona la velocidad de salida de un líquido a través de un orificio de un recipiente, con la altura del líquido situado por encima de dicho agujero. El siguiente gran avance en el desarrollo de la mecánica de fluidos tuvo que esperar a la formulación de las leyes del movimiento por el matemático y físico inglés Isaac Newton. Estas leyes fueron aplicadas por primera vez a los fluidos por el matemático suizo Leonhard Euler, quien dedujo las ecuaciones básicas para un fluido sin rozamiento (no viscoso).

Euler fue el primero en reconocer que las leyes dinámicas para los fluidos sólo pueden expresarse de forma relativamente sencilla si se supone que el fluido es incompresible e ideal, es decir, si se pueden desprestigiar los efectos del rozamiento y la viscosidad. Sin embargo, como esto nunca es así en el caso de los fluidos reales en movimiento, los resultados de dicho análisis sólo pueden servir como estimación para flujos en los que los efectos de la viscosidad son pequeños.

2.1.1 Flujos incompresibles y sin rozamiento

Estos flujos cumplen el llamado teorema de Bernoulli, enunciado por el matemático y científico suizo Daniel Bernoulli. El teorema afirma que la energía mecánica total de un flujo incompresible y no viscoso (sin rozamiento) es constante a lo largo de una línea de corriente. Las líneas de corriente son líneas de flujo imaginarias que siempre son paralelas a la dirección del flujo en cada punto, y en el caso de flujo uniforme coinciden con la trayectoria de las partículas individuales de fluido. El teorema de Bernoulli implica una relación entre los efectos de la presión, la velocidad y la gravedad, e indica que la

velocidad aumenta cuando la presión disminuye. Este principio es importante para la medida de flujos, y también puede emplearse para predecir la fuerza de sustentación de un ala en vuelo.

2.1.2 Flujos viscosos en movimiento laminar y turbulento

Los primeros experimentos cuidadosamente documentados del rozamiento en flujos de baja velocidad a través de tuberías fueron realizados independientemente en 1839 por el fisiólogo francés Jean Louis Marie Poiseuille, que estaba interesado por las características del flujo de la sangre, y en 1840 por el ingeniero hidráulico alemán Gotthilf Heinrich Ludwig Hagen. El primer intento de incluir los efectos de la viscosidad en las ecuaciones matemáticas se debió al ingeniero francés Claude Louis Marie Navier en 1827 e, independientemente, al matemático británico George Gabriel Stokes, quien en 1845 perfeccionó las ecuaciones básicas para los fluidos viscosos incompresibles. Actualmente se las conoce como ecuaciones de Navier-Stokes, y son tan complejas que sólo se pueden aplicar a flujos sencillos. Uno de ellos es el de un fluido real que circula a través de una tubería recta. El teorema de Bernoulli no se puede aplicar aquí, porque parte de la energía mecánica total se disipa como consecuencia del rozamiento viscoso, lo que provoca una caída de presión a lo largo de la tubería. Las ecuaciones sugieren que, dados una tubería y un fluido determinados, esta caída de presión debería ser proporcional a la velocidad de flujo. Los experimentos realizados por primera vez a mediados del siglo XIX demostraron que esto sólo era cierto para velocidades bajas; para velocidades mayores, la caída de presión era más bien proporcional al cuadrado de la velocidad. Este problema no se resolvió hasta 1883, cuando el ingeniero británico Osborne Reynolds demostró la existencia de dos tipos de flujo viscoso en tuberías. A velocidades bajas, las partículas del fluido siguen las líneas de corriente (flujo laminar), y los resultados experimentales coinciden

con las predicciones analíticas. A velocidades más elevadas, surgen fluctuaciones en la velocidad del flujo, o remolinos (flujo turbulento), en una forma que ni siquiera en la actualidad se puede predecir completamente. Reynolds también determinó que la transición del flujo laminar al turbulento era función de un único parámetro, que desde entonces se conoce como número de Reynolds. Si el número de Reynolds —que carece de dimensiones y es el producto de la velocidad, la densidad del fluido y el diámetro de la tubería dividido entre la viscosidad del fluido— es menor de 2.100, el flujo a través de la tubería es siempre laminar; cuando los valores son más elevados suele ser turbulento. El concepto de número de Reynolds es esencial para gran parte de la moderna mecánica de fluidos.

Los flujos turbulentos no se pueden evaluar exclusivamente a partir de las predicciones calculadas, y su análisis depende de una combinación de datos experimentales y modelos matemáticos; gran parte de la investigación moderna en mecánica de fluidos está dedicada a una mejor formulación de la turbulencia. Puede observarse la transición del flujo laminar al turbulento y la complejidad del flujo turbulento cuando el humo de un cigarrillo asciende en aire muy tranquilo. Al principio, sube con un movimiento laminar a lo largo de líneas de corriente, pero al cabo de cierta distancia se hace inestable y se forma un sistema de remolinos entrelazados.

2.1.3 Flujos de capa límite

Antes de 1860, aproximadamente, el interés de la ingeniería por la mecánica de fluidos se limitaba casi exclusivamente al flujo del agua. El desarrollo de la industria química durante la última parte del siglo XIX dirigió la atención a otros líquidos y a los gases. El interés por la aerodinámica comenzó con los estudios del ingeniero aeronáutico alemán Otto Lilienthal en la última década del siglo

XIX, y produjo avances importantes tras el primer vuelo con motor logrado por los inventores estadounidenses Orville y Wilbur Wright en 1903.

La complejidad de los flujos viscosos, y en particular de los flujos turbulentos, restringió en gran medida los avances en la dinámica de fluidos hasta que el ingeniero alemán Ludwig Prandtl observó en 1904 que muchos flujos pueden separarse en dos regiones principales. La región próxima a la superficie está formada por una delgada capa límite donde se concentran los efectos viscosos y en la que puede simplificarse mucho el modelo matemático. Fuera de esta capa límite, se pueden despreciar los efectos de la viscosidad, y pueden emplearse las ecuaciones matemáticas más sencillas para flujos no viscosos. La teoría de la capa límite ha hecho posible gran parte del desarrollo de las alas de los aviones modernos y del diseño de turbinas de gas y compresores. El modelo de la capa límite no sólo permitió una formulación mucho más simplificada de las ecuaciones de Navier-Stokes en la región próxima a la superficie del cuerpo, sino que llevó a nuevos avances en la teoría del flujo de fluidos no viscosos, que pueden aplicarse fuera de la capa límite. Gran parte del desarrollo moderno de la mecánica de fluidos, posibilitado por el concepto de capa límite, se ha debido a investigadores como el ingeniero aeronáutico estadounidense de origen húngaro Theodore von Kármán, el matemático alemán Richard von Mises y el físico y meteorólogo británico Geoffrey Ingram Taylor.

2.1.4 Viscosidad en los fluidos

Si se considera la deformación de dos fluidos newtonianos diferentes, por ejemplo, glicerina y agua, se encontrará que se deforman con diferente rapidez para una misma fuerza cortante. La glicerina ofrece mucha mayor resistencia a la deformación que el agua; se dice entonces que es mucho más viscosa. La

viscosidad es una manifestación del movimiento molecular dentro del fluido. Las moléculas de regiones con alta velocidad global chocan con las moléculas que se mueven con una velocidad global menor, y viceversa. Estos choques permiten transportar cantidad de movimiento de una región de fluido a otra. Ya que los movimientos moleculares aleatorios se ven afectados por la temperatura del medio, la viscosidad resulta ser una función de la temperatura.

La viscosidad dinámica, se presenta cuando un fluido se mueve y se desarrolla en el una tensión de corte, y puede definirse como la fuerza requerida para deslizar una capa de área unitaria de una sustancia sobre otra capa de la misma sustancia. En un fluido común, como el agua, el aceite o alcohol encontramos que la magnitud de corte es directamente proporcional al cambio de velocidad entre diferentes posiciones del fluido.

Como ejemplo se pueden observar en el siguiente cuadro los diferentes valores de la viscosidad dinámica para distintos fluidos.

Tabla I. Valores de viscosidad dinámica para algunos fluidos

<i>Fluido</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>V. Dinámica μ (Ns/m²)</i>
Agua	20	1×10^{-3}
Gasolina	20	$3,1 \times 10^{-4}$
Aceite SAE 30	30	$3,5 \times 10^{-1}$
Aceite SAE 30	80	$1,9 \times 10^{-2}$

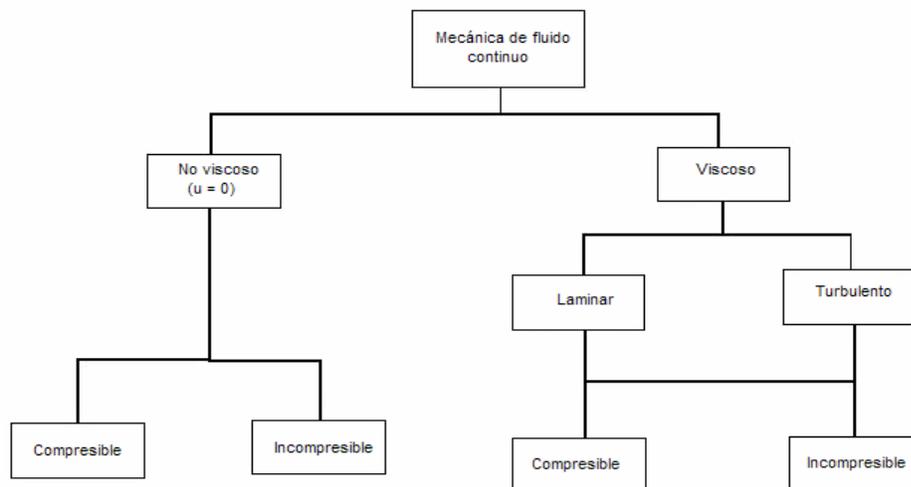
Fuente:

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/hidraulica_mecanica/2001_n2/imag_diagnostico.htm

2.1.5 Descripción y clasificación de los movimientos de un fluido

Generalmente un fluido puede clasificarse en dos grandes grupos, en los cuales se toman en cuenta la viscosidad o fluidos viscosos y en los que no se toma en cuenta la viscosidad o fluidos ideales. Estos últimos son los que más se toman en cuenta para poder hacer cálculos matemáticos debido a que sus ecuaciones son menos complejas que los flujos viscosos. No existe una clasificación de los flujos universalmente aceptada. Una posibilidad es la que se muestra en la siguiente figura.

Figura 13. Esquema general de fluidos continuos



Fuente: <http://oilproduction.net/01clasificaciondefluidos.htm>

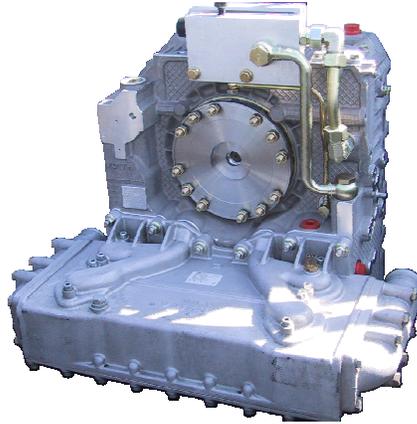
2.2 Freno hidrodinámico

El freno hidrodinámico es un dispositivo que ayuda a frenar un objeto en movimiento con ayuda de un fluido hidráulico el cual puede ser aceite de motor en muchos casos. El freno hidrodinámico funciona mediante el principio hidrodinámico desarrollado por el ingeniero alemán Herman Föttinger a principios del siglo XIX del cual se dará mayor explicación en la siguiente sección.

Este tipo de freno ayuda considerablemente al frenado del vehículo sin utilizar los frenos de servicio ni el freno de motor del vehículo; ahora bien al combinar ambos produce una mayor frenada al vehículo aumentando la potencia de frenado. Utilizando el freno hidrodinámico se ahorrara en la prolongación de los servicios de mantenimiento de los frenos de servicio debido a la disminución en el uso, también aumenta la seguridad del vehículo así como la velocidad promedio del mismo.

El freno hidrodinámico se monta entre la caja de velocidades o transmisión y el diferencial del vehículo, el eje cardan se acopla al freno hidrodinámico mediante juntas especiales y cambio del primer eje cardan del vehículo.

Figura 14. Freno Hidrodinámico



Fuente: <http://www.voith-retarder.com/>

2.3 Funcionamiento del freno hidrodinámico

En los vehículos el freno hidrodinámico puede ser montado, bien directamente sobre la caja de velocidades, posición focal, o bien intercalado en la transmisión o eje cardan, posición libre.

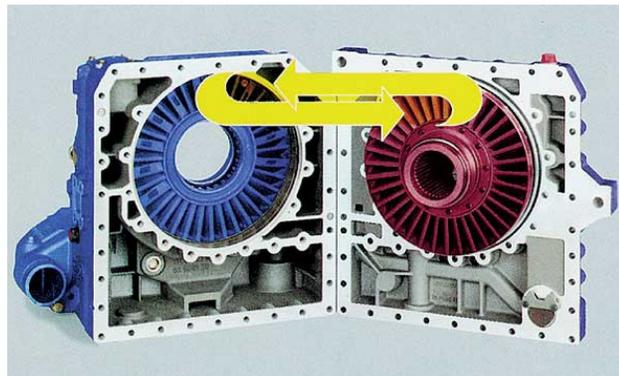
El freno hidrodinámico esta compuesto de varias piezas para su funcionamiento entre ellas:

- Carcasa
- Estator
- Rotor
- Carter o deposito de aceite

El rotor del freno hidrodinámico es directamente accionado por el árbol de la transmisión. Frente al rotor se encuentra el estator, que esta unido directamente a la carcasa del freno hidrodinámico. El medio de trabajo utilizado usualmente

es aceite sintético 10W30 o bien aceite SAE 30, este sufre una aceleración por el rotor en su movimiento que lo lanza contra el estator, experimentando con ello una desaceleración. La energía cinética se transforma en energía térmica, sufriendo el vehículo una reducción de su velocidad. El calor producido se disipa por medio del intercambiador de calor en el sistema de refrigeración del motor.

Figura 15. Sección transversal del freno hidrodinámico

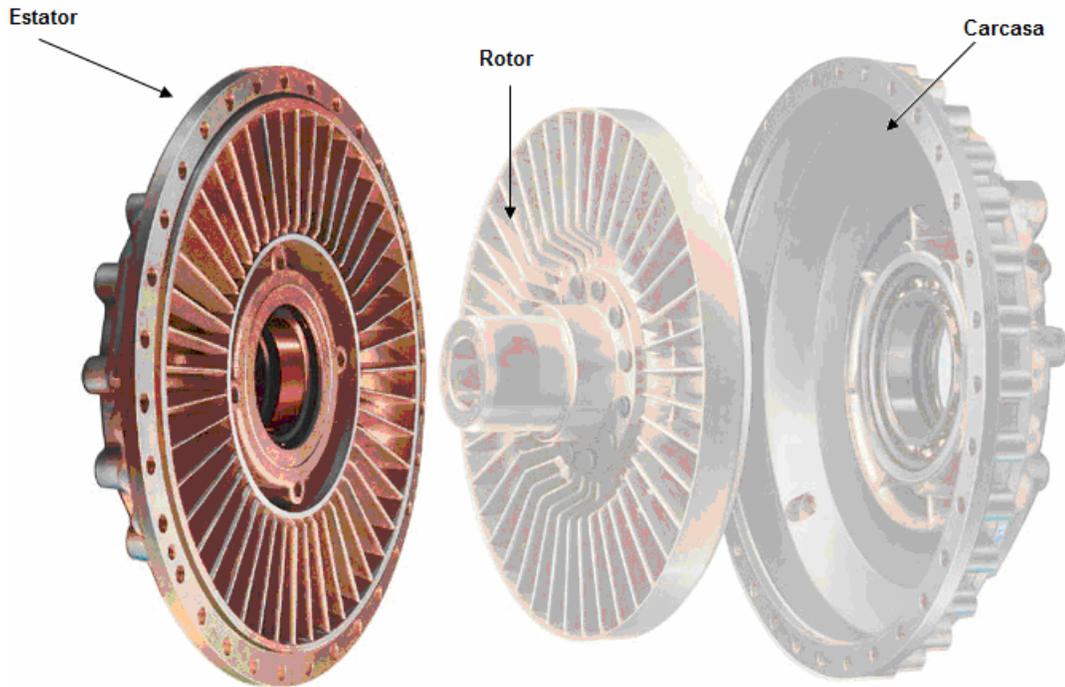


Fuente: www.transporte3.com/

El estator o rueda exterior es el rodete que, junto con la cubierta forma la envoltura exterior del turbo acoplador o carcasa, el estator es la parte en la que choca el aceite o fluido de trabajo y absorbe la energía cinética del fluido de trabajo; prácticamente este dispositivo es el que detiene al vehículo por medio del fluido de trabajo, en este caso aceite.

En la figura 16 se ve al lado izquierdo el estator que va acoplado estáticamente a la carcasa, en medio se puede observar el rotor y al extremo derecho parte de la carcasa del freno hidrodinámico.

Figura 16. Estator de freno hidrodinámico



Fuente: <http://www.voithturbo.com/startup-components/es/faq/glossary.php>

El rotor es el rodete que queda envuelto entre la rueda exterior o estator y la cubierta o parte de la carcasa, esta pieza es la que se mueve juntamente con el eje cardan del vehículo o la transmisión del mismo, cuando el operador acciona el freno, el aire comprimido que entra al depósito inferior de aceite hace que el mismo suba hasta donde está el rotor y el estator haciendo que el rotor lo envíe con fuerza contra el estator provocando fricción y una fuerza contraria al movimiento haciendo que el vehículo sufra una disminución en su velocidad.

Como se vio en la figura 16, el rotor es el rodete que se encuentra en medio de la figura.

2.3 Montaje del freno hidrodinámico en vehículos

El montaje del freno hidrodinámico en los vehículos depende del diseño de estos y de la posición más conveniente para la instalación del freno.

Como bien se ha dicho el freno hidrodinámico debe ir entre la transmisión y el diferencial del vehículo, estos dos componentes están unidos por el eje cardan el cual debe ser reemplazado para la colocación del freno hidrodinámico; debido al diseño del vehículo se puede montar de las siguientes maneras:

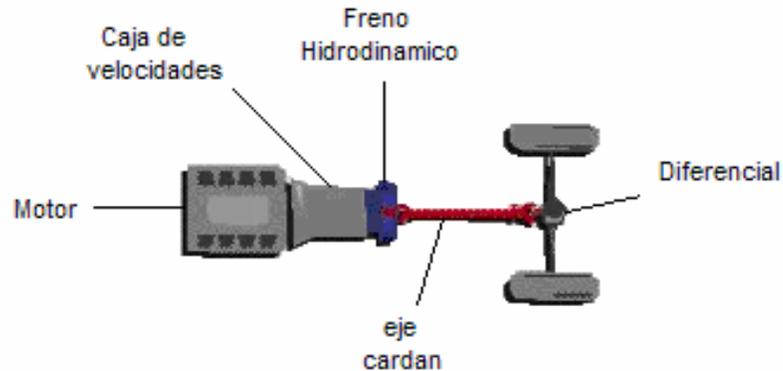
- Montaje focal
- Montaje libre
- Montaje *offline*

2.3.3 Montaje focal

En este tipo de montaje el freno hidrodinámico se monta frente a la caja de velocidades unido nada más por el yugo de la caja de velocidades directamente al rotor del freno hidrodinámico, las bases que sostienen el freno van acopladas al chasis del vehículo.

Para este tipo de montaje, el freno hidrodinámico viene configurado de forma que se acople directamente a la caja de velocidades y solo es necesario atornillarlo a la misma, ver figura 17.

Figura 17. Montaje Focal



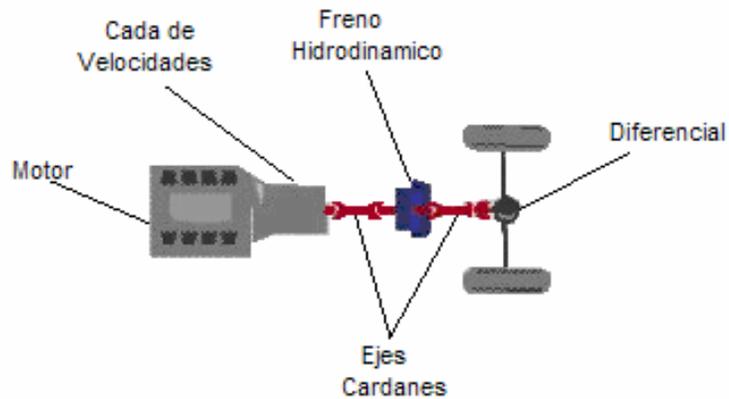
Fuente: http://www.voithturbo.de/vt_en_paa_road_retarder_installation.htm

2.3.4 Montaje libre

En el montaje libre el freno hidrodinámico se monta entre la caja de velocidades y el diferencial, para esto se desmonta el eje cardan, el freno hidrodinámico debe ser montado a una distancia equidistante de la caja y del diferencial. El montaje se hace sobre bases que van unidas al chasis del vehículo, se colocan dos ejes cardanes pequeños de los cuales uno va unido de la caja de velocidades al freno hidrodinámico y el otro del freno hidrodinámico al diferencial, con esto el freno hidrodinámico queda separado de la caja de velocidades, este tipo de montaje usualmente se utiliza cuando por diseños del vehículo no se tiene espacio para el montaje focal.

En este tipo de montaje es necesario hacer las bases sobre las cuales ira montado el freno hidrodinámico; estas irán atornilladas al chasis del vehículo por lo que es necesario hacer perforaciones en el chasis para el acople de las bases, ver figura 18.

Figura 18. Montaje libre

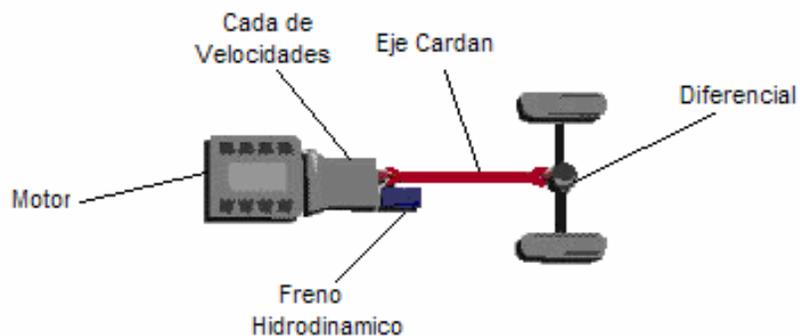


Fuente: http://www.voithturbo.de/vt_en_paa_road_retarder_installation.htm

2.3.5 Montaje *offline*

Este montaje se utiliza cuando se carece de espacio para la instalación focal y libre, por lo que el freno hidrodinámico que se utiliza es especialmente fabricado para dicho montaje ya que el tipo de acople a la caja de velocidades es especial por la manera en que se monta, siempre se sujeta al chasis del vehículo.

Figura 19. Montaje *offline*



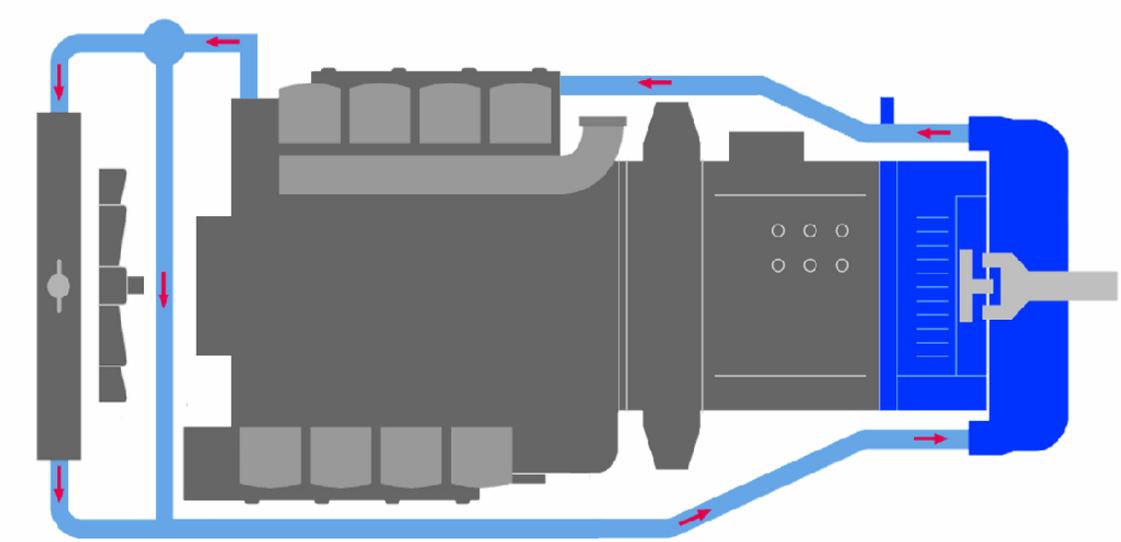
Fuente: http://www.voithturbo.de/vt_en_paa_road_retarder_installation.htm

2.5 Sistema de enfriamiento del freno hidrodinámico

Debido a que el freno hidrodinámico carece de un sistema de enfriamiento propio, se aprovecha el sistema de enfriamiento del motor para enfriar también el freno hidrodinámico, debido a que este último solo produce calor cuando se está utilizando y además el calor producido es menor a la temperatura que produce el motor del vehículo por lo que se cambia el flujo de agua de enfriamiento del motor de la siguiente manera:

- Primero por medio de una tubería instalada se toma el flujo de refrigerante listo para absorber calor a la salida del radiador.
- El refrigerante pasa por el freno hidrodinámico absorbiendo el calor generado por este; si el freno hidrodinámico no está trabajando el refrigerante pasa sin absorber calor.
- Luego de que el refrigerante ha absorbido el calor producido por el freno hidrodinámico, el refrigerante pasa al motor donde debe absorber el calor de este, recordemos que el calor del freno hidrodinámico es menor al del motor.
- Luego de absorber el calor del freno hidrodinámico y del motor del vehículo el refrigerante continúa con su flujo normal hacia el radiador para la disipación del calor, ver figura 20.

Figura 20. Sistema de enfriamiento del freno hidrodinámico



Fuente: http://www.voithturbo.com/vt_en_paa_road_retarder_hydrprin.htm

Debido a la instalación del freno hidrodinámico y la extensión del sistema de enfriamiento este y del motor es necesario agregar aproximadamente 5 litros más de refrigerante para que pueda absorber de mejor manera el calor generado por el motor y el freno hidrodinámico.

El freno hidrodinámico posee dos sensores para medir la temperatura del refrigerante uno a la entrada al freno hidrodinámico y otro a la salida del mismo.

La ECU del freno hidrodinámico monitorea la temperatura del refrigerante y mantiene en balance el calor generado con la capacidad de disipación del sistema de enfriamiento del vehículo.

Así pues cuando la temperatura del refrigerante a la entrada del freno hidrodinámico esta muy elevada la ECU lo detecta y automáticamente desconecta el freno hidrodinámico, igual hace cuando la temperatura es muy elevada a la salida del freno hidrodinámico, debido a que puede aumentar la temperatura del agua que circula por el motor y producir un sobrecalentamiento del motor, por esto se recomienda siempre mantener las revoluciones del motor un poco más elevadas de lo normal, para que el refrigerante circule con mas rapidez y pueda disipar el calor generado con mayor facilidad, en vehículos de transporte pesado con motores de 450 hp o más de potencia se recomiendan de 1700 a 1800 rpm del motor.

Si los sensores de temperatura detectan un incremento de temperatura en el refrigerante la ECU del retardador lo irá desconectando gradualmente hasta desconectarlo por completo, esto debido a que por seguridad del operario y del vehiculo no se puede desconectar de una vez, debido a que se podría provocar un accidente.

Si el freno hidrodinámico esta por desconectarse la ECU envía una señal intermitente a la luz del tablero del vehiculo por lo que el operador estará enterado que el freno hidrodinámico esta por desconectarse y puede aplicar los frenos de servicio para ayudar a frenar antes que se desconecte.

La temperatura de lectura en los sensores en los que se desconecta el freno está alrededor de 95° C normalmente, pero esta puede variar debido a la configuración del vehículo, debido a que los fabricantes de motores pueden trabajar con temperaturas distintas en los motores que fabrican.

3. VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE UN FRENO HIDRODINÁMICO EN UN VEHÍCULO

Con la utilización de un freno hidrodinámico, instalado en un vehículo de transporte pesado se pueden obtener muchos beneficios los cuales compensarán el gasto invertido en el montaje del mismo, entre los beneficios que el freno hidrodinámico ofrece se tienen los siguientes:

- Seguridad en la conducción del vehículo
- Alta potencia de frenado (4000 N-m)
- Aumento de velocidad promedio del vehículo
- Disminución de desgaste en el embrague
- Disminución del uso de los frenos de servicio hasta en un 90% menos de lo normal
- Disminución de fugas de aceite por los retenedores de bufa
- Aumento en el intervalo de servicios a los frenos de servicio o cambio de fricciones

Todos estos beneficios se pueden obtener con la correcta utilización del freno hidrodinámico, para lo cual se debe de capacitar o entrenar al operador del vehículo para que lo utilice constantemente y así obtener el mayor beneficio del freno hidrodinámico.

Para poder medir la eficiencia en la utilización del freno hidrodinámico también se debe tomar en cuenta la geografía desigual de las carreteras por las cuales se conduzca el vehículo ya que pueden afectar la necesidad de utilizarlo.

3.1 Freno hidrodinámico como mejora al freno de servicio y freno de motor

El freno hidrodinámico utilizado conjuntamente con el freno de motor y frenos de servicio dan un excelente resultado en potencia de frenado de un vehículo de transporte pesado, reduciendo considerablemente el desgaste en las fricciones de los frenos de servicio así como aumentando la seguridad del vehículo y velocidad promedio del mismo.

En tramos de carretera que sean de pendiente pronunciada se debe utilizar el freno hidrodinámico fijando la velocidad a la que se quiere descender y también utilizando el freno de motor para que ayude al freno hidrodinámico, se logran mejores resultados utilizando simultáneamente el freno hidrodinámico y freno de motor. Al exigir la mayor potencia de frenado del freno hidrodinámico se deben utilizar los frenos de servicio para disminuir la velocidad; es en estos casos donde únicamente se utilizan los frenos de servicio y de allí su poca utilización y su aumento entre periodos de mantenimiento que debe dárseles.

Para comprender más a fondo los beneficios del freno hidrodinámico es necesario hacer pruebas en carretera y de esta forma poder observar la eficacia que se tiene al utilizarlo.

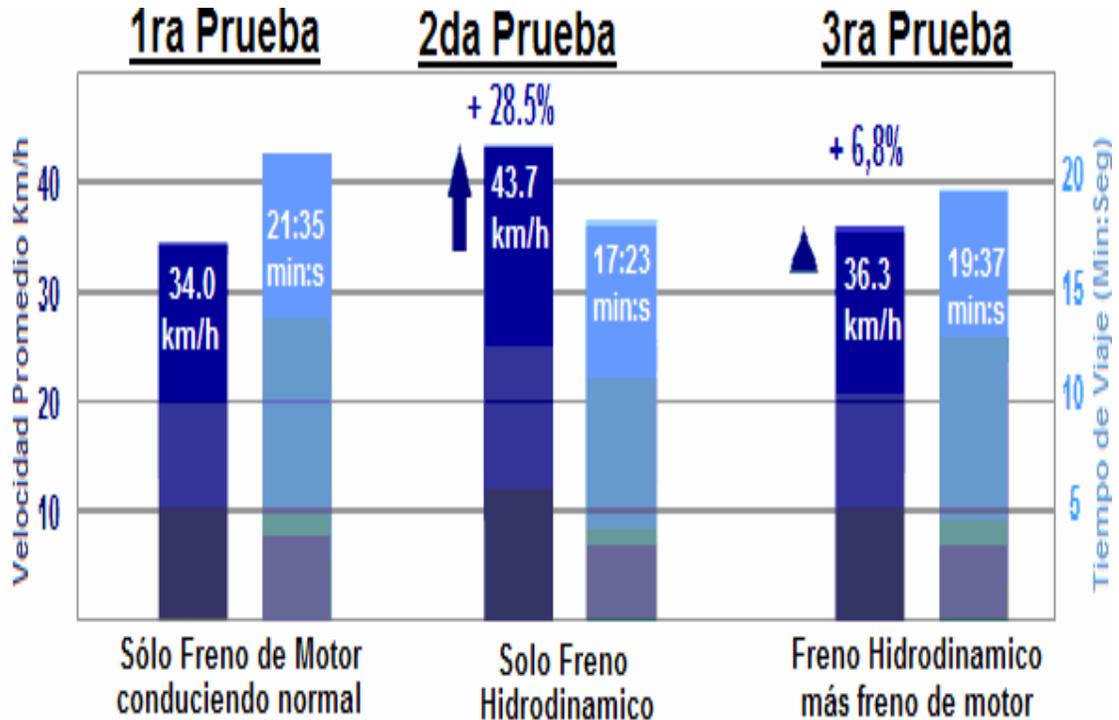
3.1.1 Pruebas en carretera

Se hicieron tres pruebas en carretera en un mismo tramo, en cuyos descensos se probaron distintas combinaciones en el sistema de frenos. En el primer descenso se probaron los frenos en condiciones normales, únicamente se utilizaron los frenos de servicio y freno de motor; en el segundo descenso se utilizó únicamente el freno hidrodinámico con ayuda de los frenos de servicio; y en el tercer descenso se utilizó el freno hidrodinámico con ayuda tanto de los frenos de servicio como del freno de motor.

Los datos generales donde se realizaron las tres diferentes pruebas son los siguientes:

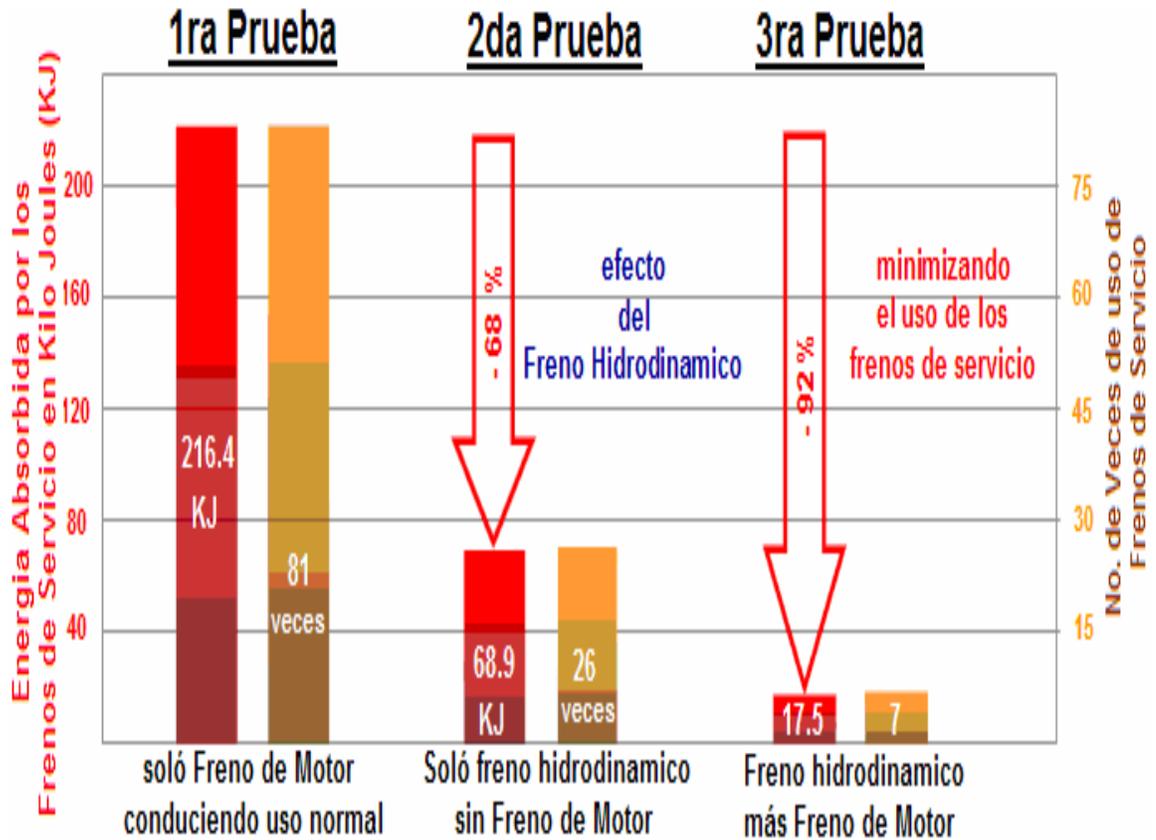
- Lugar: Km. 70 al 82 Ruta a El Salvador
- Vehículo: Cabezal 9200i Marca International
- Equipo de Arrastre: Doble Remolque
- Peso Aproximado: 55 toneladas
- Distancia de la prueba: 12.2 kms
- Diferencia de Altitud : 480 mts
- Pendiente Promedio: 3.9 %

Figura 21. Comparación velocidad – tiempo



En la figura 21, se puede observar que en la prueba No.1 la velocidad promedio es menor a la conseguida utilizando nada mas el freno hidrodinámico (prueba No. 2); en la prueba No.3 se utilizo el freno hidrodinámico y el freno de motor dando una velocidad promedio un poco menor a solo utilizar el freno hidrodinámico (prueba No. 2), esto debido a que al utilizar el freno de motor se disminuye aun mas la velocidad promedio de descenso dada la mayor potencia de frenada que se tiene.

Figura 22. Cantidad de frenadas en un vehículo en 3 diferentes pruebas



En la figura 22, se puede observar que la cantidad de veces que se aplica el freno de servicio es mucho mayor a la cantidad de veces que se aplica cuando se utiliza el freno hidrodinámico y aún mayor cuando se utiliza el freno de motor conjuntamente con el freno hidrodinámico, así también disminuye el calor generado por los frenos de servicio debido a que estos se utilizaron un 92% menos en la prueba en la que se empleó el freno hidrodinámico y freno de motor.

De esta manera se puede observar la disminución de la utilización de los frenos de servicio y el aumento tanto de la seguridad del vehículo en la conducción como el aumento de la velocidad promedio del mismo; también se

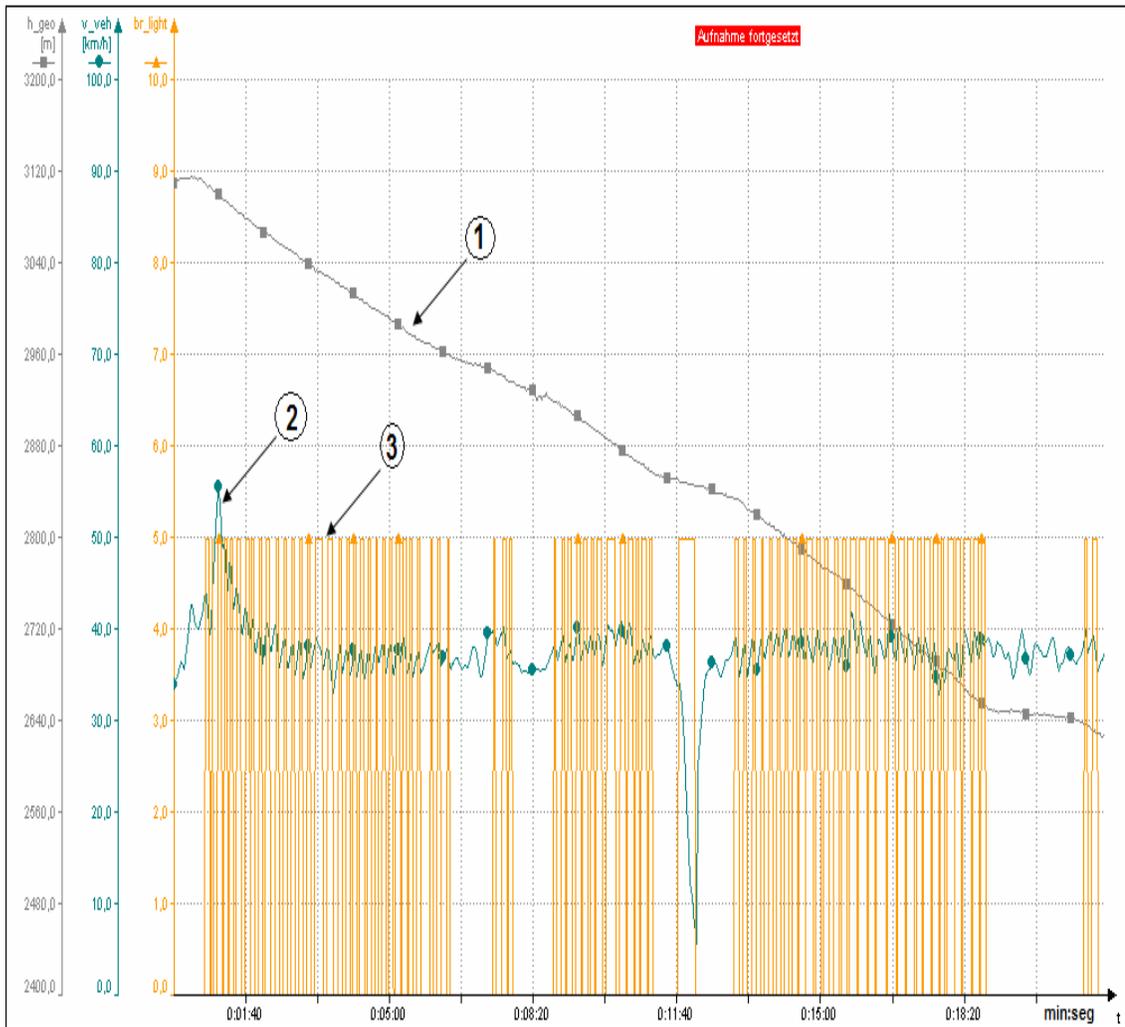
ha podido observar que la temperatura del motor se mantuvo estable a 210 °F sin dar ningún problema de calentamiento al mismo, también se tomó la temperatura de la caja de velocidades, estando esta en un rango aceptable de 180 °F después de realizada la prueba.

Estos resultados se observaron en un tramo de carretera de 12 kms de longitud pero se maximizan al utilizar el freno hidrodinámico constantemente presentando buenos resultados en costos de mantenimiento para los frenos de servicio.

En la siguiente gráfica se muestra el resultado obtenido en las pruebas efectuadas, utilizando únicamente el freno de motor y frenos de servicio (1ra prueba), de los resultados obtenidos se tabularon en la figura 23 las siguientes curvas:

1. Descenso del vehículo
2. Velocidad de descenso del vehículo
3. Cantidad de veces que se presiona el pedal de freno

Figura 23. Cronología de descenso, velocidad y frenadas en prueba sin freno hidrodinámico

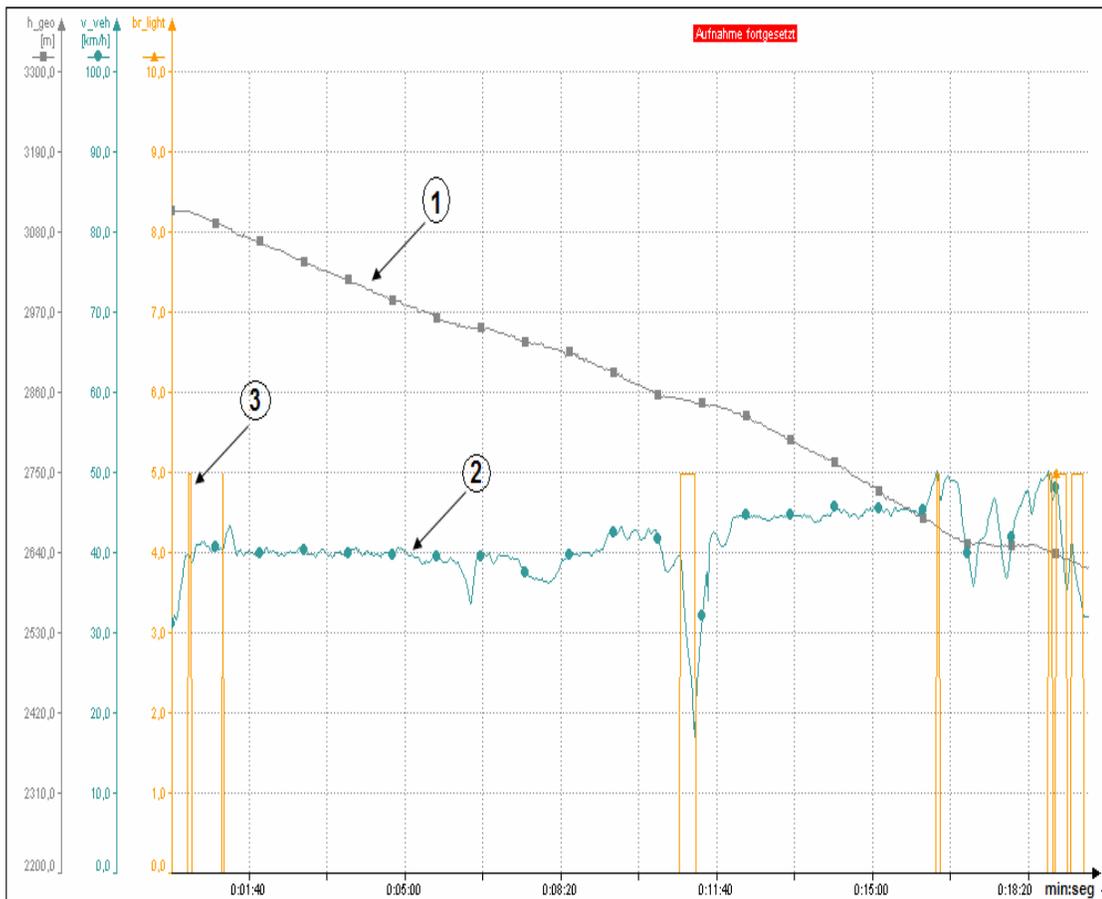


Como se puede evidenciar en la gráfica anterior la cantidad de veces que se utiliza el freno de servicio, en ésta prueba es considerablemente alta, lo que provoca calentamiento de las fricciones y desgaste de las mismas, así como el deterioro continuo de los tambores. Mientras más se van utilizando los frenos estos tienden a disminuir su eficacia, consecuencia del calentamiento y por consiguiente la seguridad del vehículo también disminuye.

En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos en una prueba similar a la anterior a excepción que en esta prueba se utilizó un freno hidrodinámico, utilizando los mismos parámetros:

1. Descenso del vehículo
2. Velocidad del vehículo
3. Cantidad de veces que se presiona el pedal de freno

Figura 24. Cronología de descenso, velocidad y frenadas en prueba con freno hidrodinámico



Como se puede observar en esta figura, es notable la disminución del uso de los frenos de servicio, así como la velocidad del vehículo es levemente mayor a la velocidad obtenida en la prueba en la que no se utilizó el freno hidrodinámico.

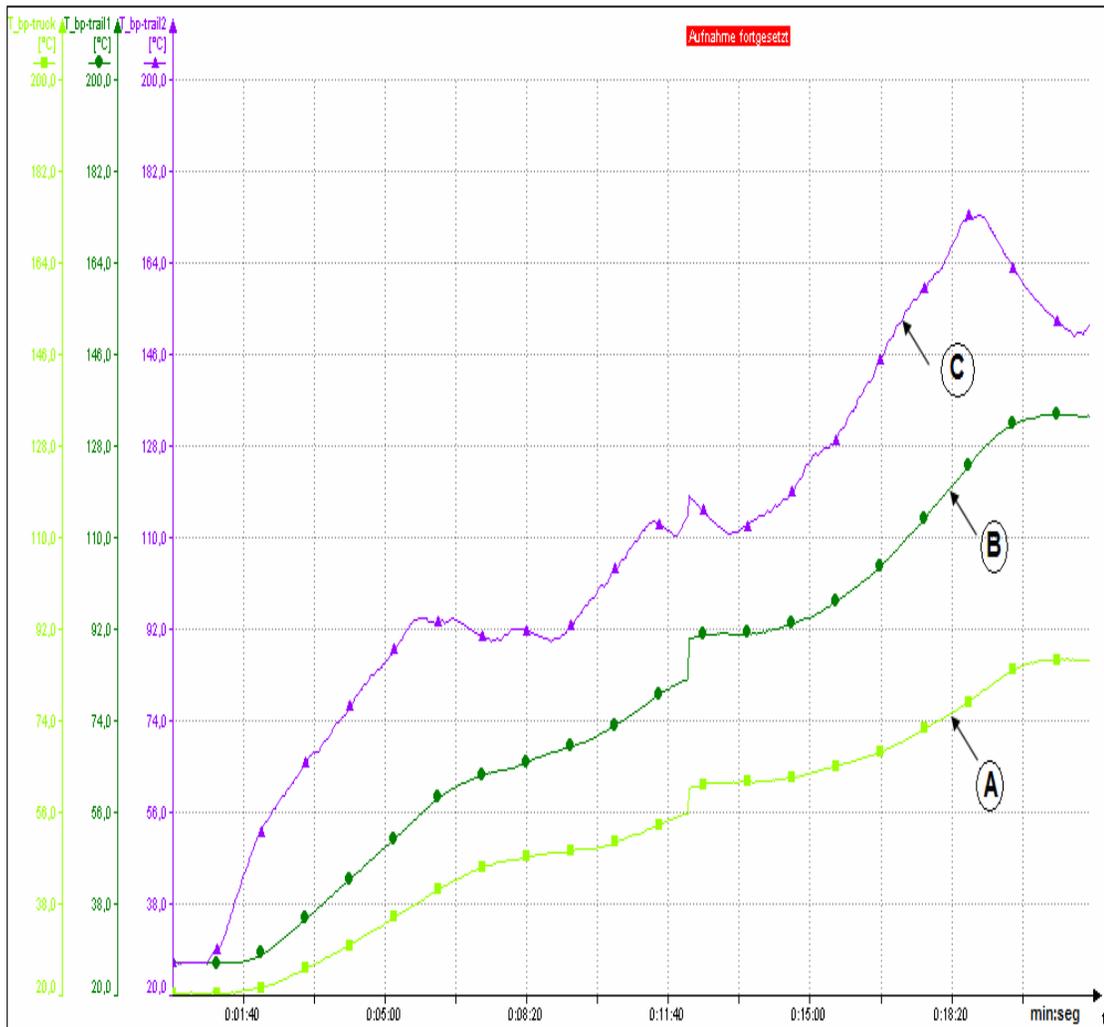
Resultado de esto, se puede determinar el aumento considerable en la vida útil de las fricciones y tambores, así como la disminución del mantenimiento de los mismos y por consiguiente la disminución de costos de operación.

Tomando mediciones sobre las temperaturas en las fricciones durante el descenso en la primera prueba, donde solamente se utilizó el freno de motor y frenos de servicio; se tiene como resultado la siguiente gráfica, donde se tomaron mediciones de temperatura en lugares estratégicos, donde se puede evidenciar un considerable aumento en la temperatura de las fricciones del vehículo, debido a que en la prueba fueron estas las que se utilizaron con mayor frecuencia para disminuir la velocidad del vehículo, se obtuvieron 3 tomas de datos diferentes en los siguientes lugares:

- A. Fricciones del eje delantero del vehículo
- B. Fricciones del eje intermedio del vehículo
- C. Fricciones del eje trasero del vehículo

Durante la prueba de descenso se fueron monitoreando estas temperaturas a fin de poder obtener una idea real del trabajo que las fricciones efectúan para detener un vehículo de estos, dando como resultado la siguiente gráfica:

Figura 25. Temperaturas de fricciones en prueba sin freno hidrodinámico

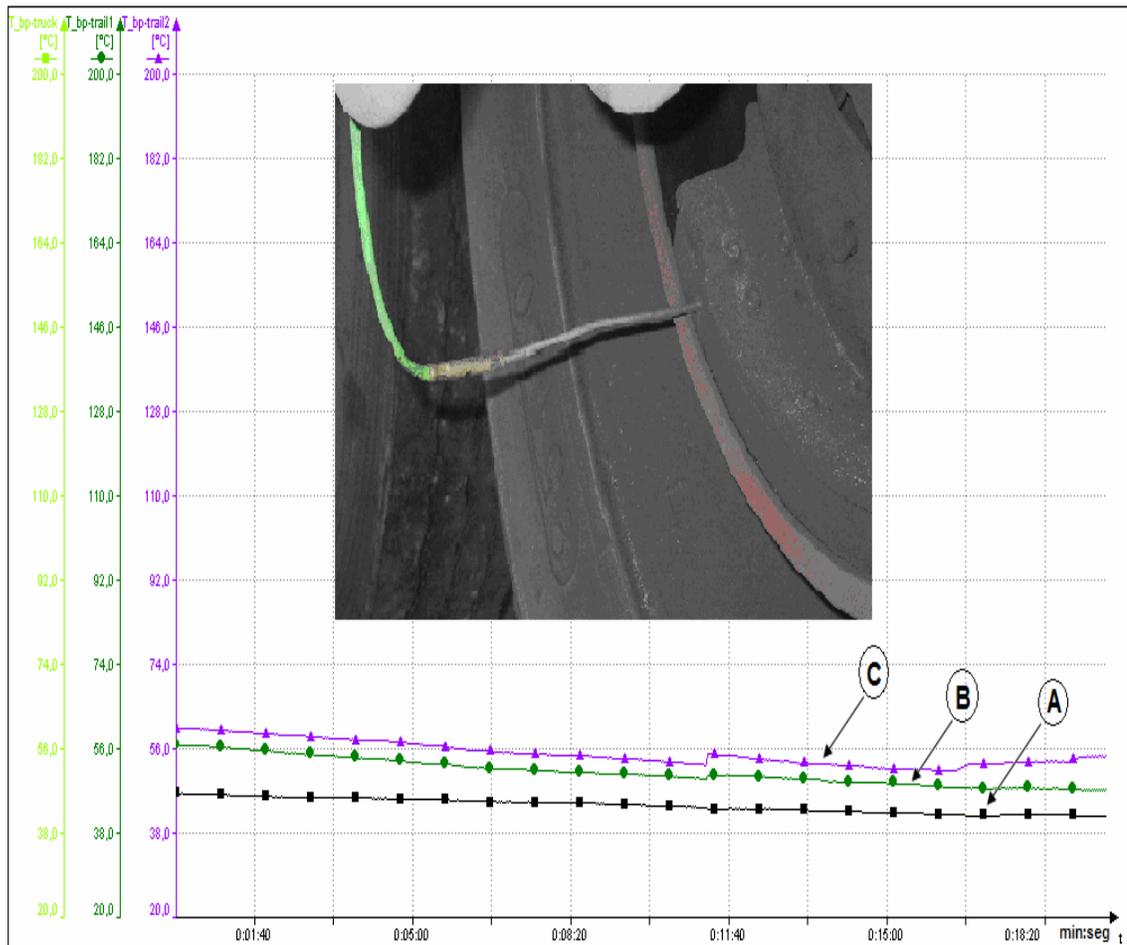


Como se puede observar la temperatura en las fricciones se fue elevando conforme se descendía, esto debido a que se utilizaban los frenos de servicio constantemente; también se puede visualizar que la temperatura del eje trasero del vehículo fueron las que mayor aumento de temperatura mostraron, aproximadamente 170° C, esto debido a que son estas fricciones las que mayor potencia de frenado ofrecen para detener el vehículo y su carga.

Las temperaturas obtenidas en la prueba que se realizo con ayuda del freno hidrodinámico, y siempre tomando datos en los mismos lugares que en la prueba sin el freno hidrodinámico, se obtuvo lo siguiente:

- A. Fricciones del eje delantero del vehículo
- B. Fricciones del eje intermedio del vehículo
- C. Fricciones del eje trasero del vehículo

Figura 26. Temperaturas de fricciones en prueba con freno hidrodinámico



Durante la segunda prueba, donde se utilizó el freno hidrodinámico las temperaturas leídas fueron considerablemente bajas en comparación con las lecturas obtenidas en la figura 26, en este caso la temperatura en las fricciones del eje trasero fueron las más altas en comparación con los otros dos ejes, sin embargo se nota incluso un descenso en la temperatura de las fricciones durante el descenso en la prueba, esto se atribuye a la ventilación del vehículo y el poco uso de las fricciones debido a la utilización del freno hidrodinámico, la temperatura máxima de las fricciones del eje trasero fueron de 60° C aproximadamente al inicio de la prueba y de 55° C al finalizar la prueba.

3.2 Reducción de la utilización de los frenos de servicio

La buena utilización del freno hidrodinámico en condiciones apropiadas puede llegar a reemplazar hasta en un 90% la utilización de los frenos de servicio, casi reemplazándolo por completo en las ocasiones que se necesite frenar el vehículo tal como se observó en la sección 3.1.

El freno hidrodinámico debe utilizarse en la mayoría de las ocasiones en las que se necesite disminuir la velocidad del vehículo para obtener el mayor aprovechamiento del mismo, tal como se demostró en la sección anterior. Se hicieron pruebas en un tramo de carretera relativamente corto pero los resultados de conveniencia son constantes cuando se utiliza el freno hidrodinámico todo el tiempo.

Para utilizar el freno hidrodinámico constantemente se utiliza la palanca de mando instalada en el panel de instrumentos del vehículo o también se puede activar mediante el pedal de freno (pero de éste se hablará mas adelante), y se puede utilizar en toda ocasión. Con esto se asegura que

siempre se utilice el freno hidrodinámico cada vez que el operador necesite frenar el vehículo.

Por la topografía del terreno en Guatemala, las empresas de transportes realizan regularmente mantenimiento a los frenos, específicamente a las fricciones en los vehículos cada 40,000 kms; con la utilización correcta tanto del freno de motor como del freno hidrodinámico se puede aumentar este periodo de revisión de las fricciones hasta más de 200,000 kms sin necesidad de darles mantenimiento en este periodo de tiempo.

Normalmente los periodos de mantenimiento de las fricciones de los frenos para vehículos de transporte pesado son los siguientes:

Tabla II. Intervalos de mantenimiento para un cabezal

Tipo de Servicio	Intervalo (en kms)	Intervalo (días)
Servicio Menor	8,000	21
Servicio Menor	16,000	42
Servicio Menor	24,000	63
Servicio Menor	32,000	84
Servicio Mayor	40,000	105

Estos tipos de mantenimiento se repiten constantemente haciendo que se tenga que detener el vehículo para poder realizarlos. Esta política de mantenimiento se implementa para vehículos que trabajan las 24 hrs del día, con recorridos largos y cuando hay más tráfico vehicular, haciendo que la

velocidad promedio disminuya y la utilización de los frenos de servicio aumente considerablemente.

Las rutinas o revisiones para el caso específico del mantenimiento menor de las fricciones de los frenos de servicio en vehículos de transporte pesado son las siguientes:

Tabla III. Rutina de mantenimiento en un servicio menor

No.	Descripción
1	Inspección y ajuste de fricciones.
2	Inspección de fugas de aire en el sistema neumático
3	Inspección de funcionamiento de compresor de aire.
4	Inspección de las válvulas de parqueo.
5	Inspección del funcionamiento de palanca de freno de plataforma
6	Inspección de mangueras de conexión con plataforma.
7	Inspección de sensores de freno del ABS
8	Inspección de modulares de presión del ABS
9	Inspección de ajustadores automáticos

Todos estos pasos de mantenimiento son básicamente de revisión y no comprenden trabajos correctivos, estos pasos requieren de un mínimo de 4 hrs para efectuar la revisión de frenos.

Si en caso se encuentra algún desperfecto mecánico en los sistemas de frenos se procede a su reparación y la rutina preventiva se convierte en una acción correctiva, aumentando el tiempo que el vehículo pasará en taller, pero la mayor parte del tiempo en los servicios menores solo se hacen inspecciones y ajustes a los frenos para que estos funcionen adecuadamente y no presenten ningún problema posteriormente.

Tabla IV. Rutina de mantenimiento para un servicio mayor

No.	Descripción
1	Inspección y ajuste de fricciones.
2	Inspección de fugas de aire en el sistema neumático
3	Inspección de funcionamiento de compresor de aire.
4	Inspección de las válvulas de parqueo.
5	Inspección del funcionamiento de palanca de freno de plataforma
6	Inspección de mangueras de conexión con plataforma.
7	Inspección de sensores de freno del ABS
8	Inspección de modulares de presión del ABS
9	Inspección de ajustadores automáticos
10	Limpieza y ajuste de fricciones. (cambio de fricciones, cepillar tambores o cambio si es necesario)

Para los servicios de mantenimiento mayor, se desarman las ruedas y se verifican las fricciones y tambores. Se limpian éstas partes y si los tambores están muy desgastados o rayados por exceso de uso éstos se cepillan, a fin de obtener nuevamente una superficie apta para que asienten de una mejor manera las fricciones, al cepillar los tambores se corre el riesgo que estos no se puedan reparar y haya que cambiarlos así como las fricciones.

Como se ve en la tabla IV los servicios de mantenimiento mayores, se hacen cada 3 ½ meses aproximadamente o a cada 40,000 kms de recorrido del vehículo. Es en estos servicios donde se revisan más a fondo los frenos, ya que se hacen trabajos de rectificación en los tambores o incluso pueden llegar a cambiarse.

3.3 Reducción de costos de operación

Anteriormente sin instalar el freno hidrodinámico el promedio en kilómetros del cambio de fricciones y rectificado de tambores era de 25,000 kms aproximadamente, debido al peso total del vehículo y el peso de la carga hacen que las fricciones se desgasten rápidamente y su utilización sea mas frecuente, cabe mencionar que también se cambian las fricciones cuando estas están demasiado cristalizadas o rajadas por los esfuerzos a las que son sometidas.

Los costos de cambio de fricciones, rectificado de tambores y mano de obra según valores proporcionados por la empresa Clutches de Guatemala S.A. que es una empresa que se dedica a efectuar este tipo de trabajos en Guatemala son los siguientes:

- Fricciones delanteras Q 593.00
- Fricciones traseras Q 1316.00
- Tornear 6 tambores Q 606.00
- Mano de Obra Mecánico Q 225.00

Con un valor total de **Q 2740.00**, tomando en cuenta que no se están cambiando los tambores sino que solo se están rectificando.

Si en caso se tienen que cambiar los tambores estos son los precios:

- Tambores delanteros Q 698.25 c/u
- Tambores traseros Q 564.19 c/u

Para el cambio de tambores en un vehículo es necesario hacer el cambio del juego completo y el valor total es de **Q 3,653.26**.

Tomando como base los datos anteriores se hizo un comparativo de gastos en mantenimiento del sistema de frenos en un vehículo y se obtuvieron los siguientes resultados durante un año de funcionamiento de un vehículo que no utiliza el freno hidrodinámico:

Tabla V. Costos de mantenimiento en frenos de servicio para un vehículo

kilometraje	periodo (días)	Costo Sin Freno Hidrodinámico (Q)	Comentarios sobre los costos
8,000	21		
16,000	42		
24,000	63	Q 2,740.00	
32,000	84		
40,000	105	Q 3,653.26	
48,000	126		
56,000	147		
64,000	168	Q 2,740.00	
72,000	189		
80,000	210	Q 3,653.26	
88,000	231		
96,000	252		
104,000	273	Q 2,740.00	
112,000	294		
120,000	315	Q 3,653.26	
128,000	336		
136,000	357	Q 2,740.00	
144,000	378		
152,000	399		
160,000	420		
168,000	441		
176,000	462		
184,000	483		
192,000	504		
200,000	525		
TOTAL:		Q 21,919.78	

Si tomamos en cuenta que con ayuda de un freno hidrodinámico, se prolongarían las revisiones o reparaciones de frenos hasta en 200,000 kms dándole un buen uso al freno hidrodinámico; nos evitaríamos los gastos descritos en la tabla V, visto desde del punto de operación, la instalación de un freno hidrodinámico es bastante aceptable dada la cantidad de dinero que se puede ahorrar en mantenimiento.

4. MANTENIMIENTO DEL FRENO HIDRODINÁMICO

Derivado del funcionamiento del freno hidrodinámico así como el funcionamiento de sus elementos, estos no reciben mayor desgaste debido a que la fricción es absorbida por el aceite, también hay que considerar que sus elementos en movimiento son relativamente pocos.

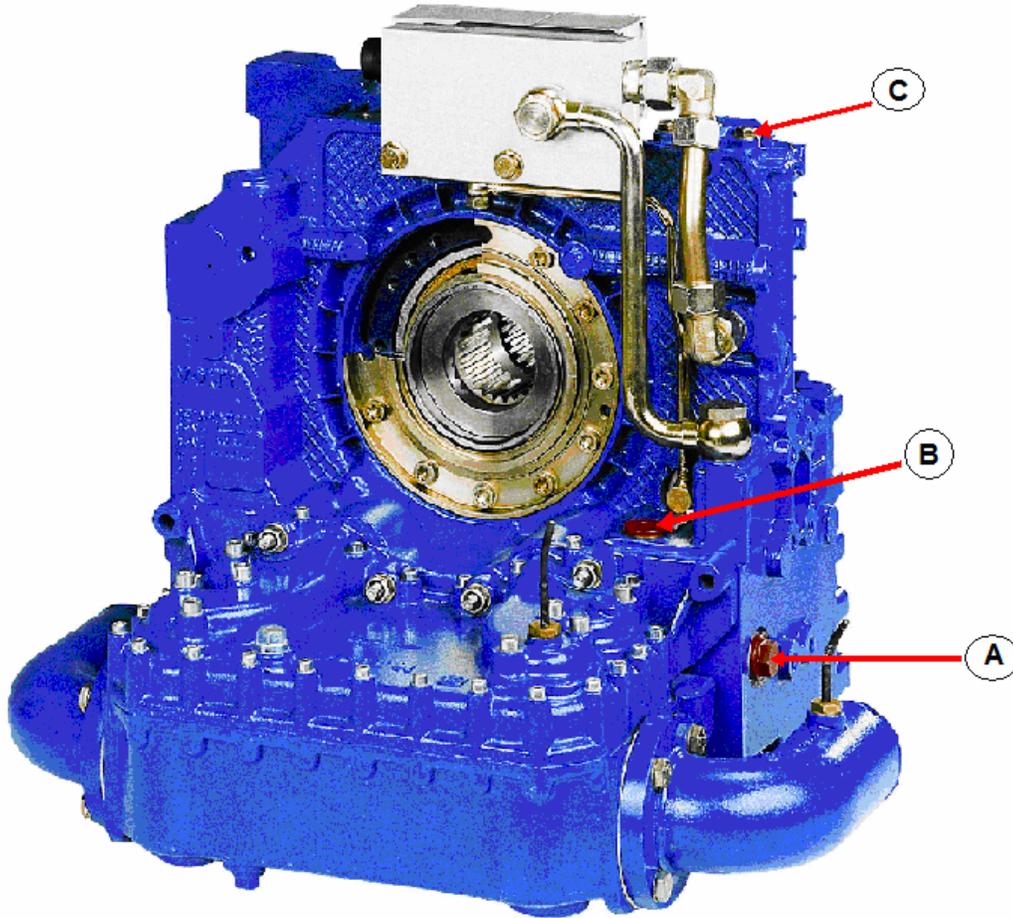
En Guatemala, se ha determinado que el intervalo de mantenimiento para un freno hidrodinámico, se debe calcular en base al kilometraje recorrido por el vehículo. El kilometraje correcto para hacerle cambio de aceite, inspección y ajustes al freno hidrodinámico debe ser en un intervalo de 80,000 kms utilizando aceite sintético 10W30.

4.1 Comprobación del nivel de aceite del freno hidrodinámico

La comprobación del nivel de aceite del freno hidrodinámico, según la accesibilidad que se tenga en el vehículo, se puede hacer directamente desde dos puntos de medición localizados en la carcasa del freno hidrodinámico, estos se muestran en la figura 27

Cabe mencionar que cuando se tenga que hacer una medición ésta se debe tomar con la temperatura normal de trabajo del aceite, aproximadamente 60° C.

Figura 27. Tomas de nivel de aceite



- A. El tornillo de nivel
- B. La sonda del nivel de aceite
- C. Tapón roscado para llenado de aceite

A continuación se detallan los pasos a seguir para la medición correcta del nivel de aceite en cada uno de los casos posibles para medir el nivel de aceite, se debe mencionar que se debe tener mucho cuidado ya que en ambos casos se debe hacer a temperatura de operación y los tornillos estarán calientes.

4.1.1 Control del nivel de aceite con el tornillo de nivel

Para verificar si el nivel de aceite es adecuado se deben seguir los siguientes pasos:

1. Con el freno hidrodinámico en reposo, llevar la palanca de mando a su posición máxima de frenado, y luego regresarla a la posición 0, se deben dejar transcurrir 5 segundos. Repetir el proceso 2 veces.
2. Desconectar el freno hidrodinámico. Esto se hace, apagándolo directamente del mando en el tablero de instrumentos del vehículo.
3. Transcurridos unos 5 minutos aproximadamente desatornillar el tornillo de nivel de aceite (A).
4. El nivel de aceite es correcto, si llega al borde inferior de la rosca en el orificio que deja el tornillo.
5. Si falta aceite, se podrá rellenar o bien a través del orificio roscado (A), también se puede rellenar en el orificio de la varilla de nivel de aceite (B), o utilizando también, el tapón roscado (C) en la tapa de la carcasa del freno hidrodinámico.
6. Una vez realizadas las operaciones anteriores colocar roldanas nuevas a cualquiera de los tornillos que se hayan quitado, ya sea los dos de inspección del nivel de aceite o el tapón especial para rellenado de aceite (C).
7. Los pares de aprietes de estos tornillos debe ser de 80 N-M en cualquiera de los 2 tornillos de medición de aceite y 50 N-M en el tapón de rellenado.

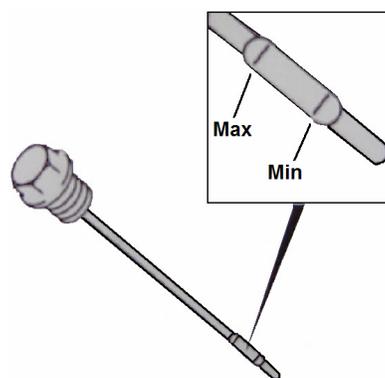
Se debe realizar este tipo de medición, solo si debido a la instalación del freno no se puede realizar de otra manera, ya que es un poco más difícil que con el método de la varilla de nivel de aceite.

4.1.2 Control del nivel de aceite con la sonda de nivel

Se deben de seguir los siguientes pasos para hacer una correcta medición del nivel de aceite empleando este método:

1. Con el freno hidrodinámico en reposo, llevar la palanca de mando a su posición de frenado máxima y desconectar transcurridos 5 segundos. Repetir el proceso 2 veces.
2. Desconectar el freno hidrodinámico. Esto se hace, apagándolo directamente del mando en el tablero de instrumentos del vehículo.
3. Transcurridos unos 5 minutos aproximadamente destornillar la sonda de nivel de aceite (B), y limpiar el aceite de la varilla.
4. Colocar la sonda de tal manera que quede plana sobre la superficie rebajada del orificio roscado (sin atornillarla).
5. Retirla nuevamente. Si el nivel de aceite es correcto, deberá encontrarse entre las marcas mínima y máxima de la varilla.

Figura 28. Varilla de nivel de aceite del freno hidrodinámico



6. Si falta aceite rellenar por el orificio de la sonda (B), o por el tapón de llenado de aceite (C), en la tapa de la carcasa del freno hidrodinámico.

7. Montar nuevamente la varilla medidora del nivel de aceite y colocar roldanas nuevas para evitar que se dañe la rosca y los tornillos.
8. Los pares de aprietes de estos tornillos debe ser de 80 N-M en cualquiera de los 2 tornillos de medición de aceite y 50 N-M en el tapón de rellenado.

4.2 Cambio de aceite del freno hidrodinámico

Para efectuar el cambio de aceite correctamente se debe tener en cuenta que la temperatura del aceite debe ser de 60° C, esto para que el aceite pueda fluir con mayor facilidad y sea más fácil el cambio del mismo, para esto se deben efectuar los siguientes pasos:

1. Colocar una bandeja colectora del aceite debajo del freno hidrodinámico.
2. Con el freno hidrodinámico en reposo, llevar la palanca de mando a su máxima posición de frenado, luego regresar la palanca a su posición inicial 0, esperar 5 segundos. Repetir el proceso 2 veces.
3. Desconectar el freno hidrodinámico. Esto se hace, apagándolo directamente del mando en el tablero de instrumentos del vehículo.
4. Destornillar el tapón de vaciado (D) como se muestra en la figura 28. Y vaciar el aceite del freno hidrodinámico.
5. El tapón roscado deberá ser provisto de su roldana nueva, montado en su alojamiento y apretado con el par de apriete correspondiente.
6. Destornillar el tapón roscado (E) de la válvula de cierre del carter en la parte inferior de la tapa de la carcasa del freno hidrodinámico y permitir el vaciado del aceite que se encuentre allí.

7. Montar nuevamente el tapón roscado provisto de una nueva arandela y apretar con un par de apriete prescrito, ver tabla VI.
8. Llenar el freno hidrodinámico con aceite sintético a través del orificio de la sonda de aceite, (ver figura 27-B) ó a través del orificio de llenado de aceite, (figura 27-C) en la parte superior del freno hidrodinámico. El cambio de aceite se debe hacer teniendo en cuenta una política de mantenimiento ya establecida para los intervalos de tiempo o de kilometraje necesarios para hacer el cambio de aceite.
9. A continuación, y después de colocar nuevas roldanas al tornillo de llenado o a la sonda de nivel de aceite, figura 28, montar los mismos según proceda y apretar con el par de apriete prescrito (ver tabla VI).

Inmediatamente después del cambio de aceite y con el vehículo en marcha, hacer funcionar el freno hidrodinámico por lo menos 3 veces consecutivas en la posición 2 del mando de accionamiento.

Figura 29. Parte inferior del freno hidrodinámico

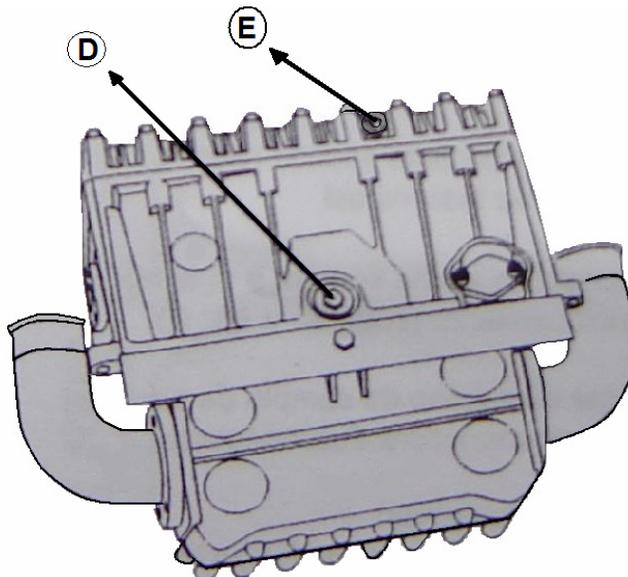


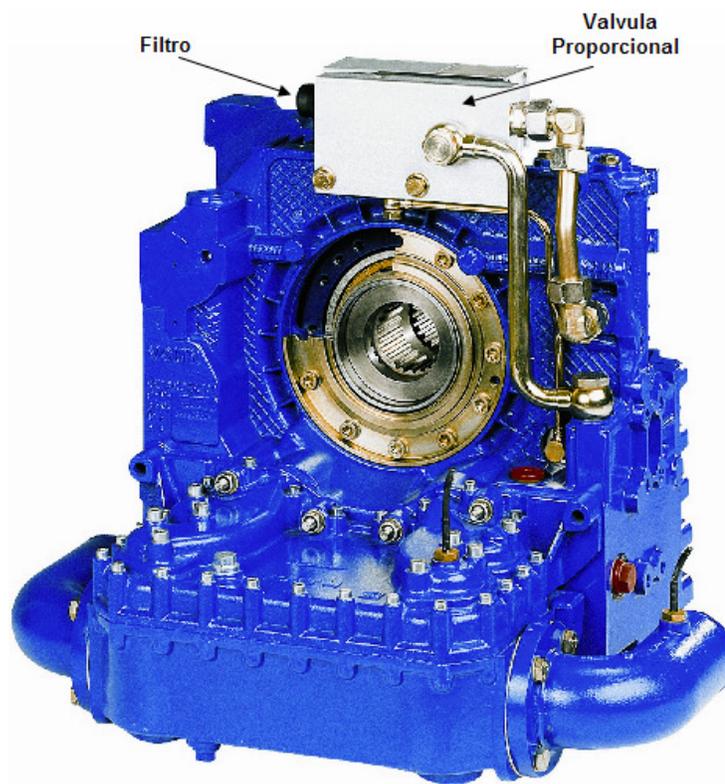
Tabla VI. Medidas de aprietes para los tornillos

Par de apriete	NM
Tapón roscado vaciado de aceite (D)	150
Tapón roscado válvula del carter (E)	66
Sonda nivel de aceite (B)	80
Tapón de aceite M 24x1.5	80
Tapón de aceite M 18x1.5	50

4.3 Limpieza del filtro de aire de la tubería

El freno hidrodinámico posee un pequeño filtro de aire, el cual está montado para evitar daños en la válvula proporcional y tuberías. El filtro está colocado entre la tubería de alimentación de aire y la válvula proporcional que envía el aire comprimido al depósito de aceite del freno hidrodinámico. El aire comprimido es suministrado por un compresor de aire, el cual se encuentra cercano al motor y por medio de una faja el motor hace girar la polea del compresor la cual hace mover el embolo del compresor y así comprimir el aire, el cual sirve para todo el sistema de frenos del vehículo.

Figura 30. Localización del filtro y válvula proporcional



El filtro de aire de la tubería, es sumamente sencillo de desmontar y para su mantenimiento simplemente se deben seguir los siguientes pasos:

1. En el propio filtro desconectar la tubería, quitando la tuerca donde acopla.
2. Desenroscar el filtro que va unido a la válvula proporcional y extraerlo de su lugar.
3. Soplar con aire comprimido el filtro de aire de adentro hacia afuera, teniendo precaución de no dañarlo. Verificar el estado del filtro y renovarlo si es necesario.
4. Montar nuevamente el filtro enroscándolo en su posición y conectar la tubería de aire, teniendo cuidado de no dañar la rosca.

4.4 Intervalo de cambio de aceite

Como se ha mencionado en esta misma sección, en Guatemala el intervalo de cambio de aceite se debe efectuar cada 80,000 kms, para mayor seguridad y cuidado del freno hidrodinámico.

En Guatemala se pueden tomar dos diferentes tipos de condiciones de trabajo:

- Servicios en condiciones normales de trabajo
- Servicios en condiciones extremas

Para cada una de ellas existen intervalos específicos de mantenimiento para el freno hidrodinámico, dependiendo del tipo de vehículo que influye mucho en el trabajo que aporta el freno hidrodinámico.

4.4.1 Servicio en condiciones normales

En Guatemala, debido a la topografía del terreno este tipo de condición de trabajo, suele encontrarse en trayectos cortos que no tienen mucha pendiente, también tomando en cuenta que Guatemala no posee condiciones fuera de lo normal como temperaturas muy bajas o al contrario temperaturas demasiado altas y sus recorridos pueden variar de muy cortos a recorridos largos. Más adelante se mostrara en la tabla VII los intervalos aconsejables para el cambio de aceite para este tipo de condición de trabajo.

4.4.2 Servicio en condiciones extremas

Este tipo de servicio se utiliza para los equipos que trabajan en condiciones superiores a la media. En Guatemala se presenta este tipo de condición en lugares calidos y donde su topografía es sumamente accidentada con muchas pendientes y los recorridos son largos. Estas son condiciones que fatigan fuertemente los vehículos y por lo tanto hacen que los intervalos de mantenimiento se reduzcan.

Se pueden considerar condiciones de trabajo extremo, los siguientes casos:

- Utilización en zonas con temperaturas exteriores sumamente altas (ejemplo: desierto).
- Vehículos de obras y explotaciones madereras.
- Vehículos con peso total alto y potencias nominales bajas.
- Utilización en zonas montañosas (fuertes pendientes).
- Recorridos cortos con pendientes demasiado pronunciadas.
- En zonas con temperaturas frías extremas los aceites utilizados pueden ser de una viscosidad inferior (se puede utilizar Transmax Z ó SAE 5W-40).

Existen otros factores, que no se han considerado que influyen en el deterioro del aceite y que provocan que los intervalos de cambio de aceite deban ser considerados individualmente y reducidos, en consecuencia estos tipos de factores pueden ser el tipo de combustible que se utiliza o el mismo funcionamiento del motor podría también influir.

Los intervalos de cambio de aceite establecidos por el fabricante para estos tipos de condiciones de trabajo son mostrados a continuación en la siguiente tabla.

Tabla VII. Intervalos para cambio de aceite

	Aceite mineral monogrado	Aceite mineral multigrado	Aceite sintético / semisintético
Viscosidad del aceite	SAE 10W SAE 20W20 SAE 30	Todos	SAE 5W40 SAE 5W50 SAE 10W30 SAE 10W40
Camión Servicio Normal	90,000 kms	-	135,000 kms
Camión Servicio en condiciones extremas	45,000 kms	-	90,000 kms
BUS Servicio Normal	135,000 kms	90,000 kms	180,000 kms
BUS Servicio en condiciones extremas	60,000 kms	45,000 kms	90,000 kms

Si los kilometrajes indicados en la tabla anterior no son alcanzados en un intervalo de tiempo de 2 años, un cambio de aceite deberá ser realizado.

5. OPERACIÓN DEL FRENO HIDRODINÁMICO

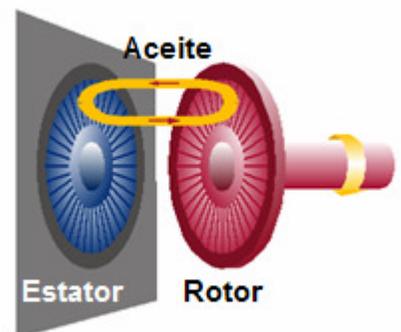
Para obtener el mayor beneficio del freno hidrodinámico es necesario que el operador este capacitado para poder utilizarlo. Se dedicará este capítulo especialmente para explicar al operador del vehículo, como es el funcionamiento del freno hidrodinámico, como se acciona e indicar las situaciones donde este debe ser utilizado plenamente. El operador que sepa utilizar debidamente el freno podrá prolongar la vida útil del mismo así como la del vehículo.

¿Cómo funciona el freno hidrodinámico?

El freno hidrodinámico es un sistema de frenos novedoso que disminuye la velocidad del vehículo mediante la utilización de aceite y dos partes fundamentales dentro de la carcasa del freno hidrodinámico (retardador) llamadas Rotor y Estator.

El freno hidrodinámico se monta entre la caja de velocidades y el primer diferencial, entonces el eje cardan que sale de la caja pasa por el retardador y esta acoplado al Rotor que dentro de la carcasa esta de cara al Estator.

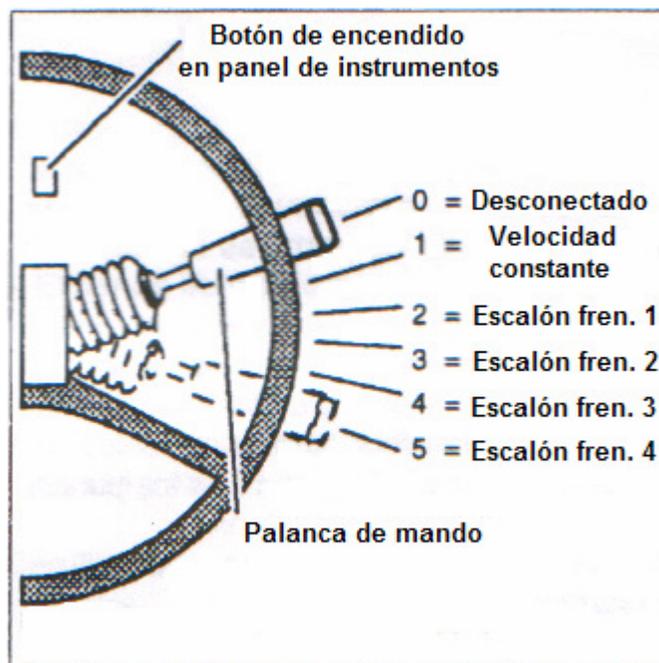
Cuando presiona el pedal del freno, entra aire comprimido al depósito de aceite del retardador el cual hace subir el aceite hasta el rotor el cual lo empuja contra el estator. En esta acción se crea una fuerza contraria al movimiento del rotor la cual hace que la velocidad del rotor disminuya y así también la del vehículo.



5.1 Accionamiento del freno hidrodinámico

El accionamiento del freno hidrodinámico se puede hacer mediante el interruptor escalonado de 5 pasos el cual se encuentra cerca del volante de dirección del vehículo o bien accionando la palanca de encendido en el panel de control del vehículo para la utilización del retardador por medio del pedal de freno.

Figura 31. Mando de control del freno hidrodinámico



Como se puede observar en la figura anterior la palanca de mando o mando de control del freno hidrodinámico puede ser utilizado para fijar una velocidad constante en el vehículo, o para aumentar la potencia de frenado de este. A continuación se describirá el funcionamiento de la palanca.

5.1.1 Fijación de velocidad constante

Para utilizar el interruptor escalonado del freno hidrodinámico es necesario que el operador primero fije la velocidad del vehículo y revoluciones de motor a la que se quiera desplazar; recordemos que en este momento la palanca de mando se encuentra en la posición 0 con el retardador sin accionarse (ver figura 31).

Cuando se ha fijado la velocidad a la que se quiere descender el operador acciona la palanca a la posición 1 (desde la posición 0 ó desde cualquier otra posición.) La ECU del freno hidrodinámico memoriza la velocidad a la que se desplaza el vehículo y lo mantiene automáticamente a esa velocidad.

Si después de activar la función “velocidad constante” en la posición 1 en la palanca de mando, el operador desconecta el freno hidrodinámico (posición 0) o se introduce otra oposición de frenado cualquiera (posiciones 2.... 5), se borra la información sobre la velocidad que se había fijado anteriormente, y para obtener nuevamente una velocidad constante se debe llevar la palanca de mando a la posición 0 de nuevo para que la ECU memorice la nueva velocidad. Esta velocidad debe ser la apropiada según el operador para que se produzca el frenado adecuado o según las necesidades del operador.

Cuando ya no sea necesaria la utilización del freno hidrodinámico dado que se tenga que detener el vehículo o la pendiente de la carretera termine, el operador debe desconectarlo llevando la palanca a la posición 0 para que el freno hidrodinámico no siga funcionando y así seguir manejando en condiciones normales.

5.1.2 Aumento de potencia de frenado

Si se desciende una pendiente a velocidad constante con el freno hidrodinámico accionado automáticamente y se quiere aumentar la potencia de frenado basta con utilizar las posiciones 2 al 5 en la palanca de mando del freno según sean las necesidades del operador. Entre mas se aumente la palanca de mando en sus posiciones de la 2 a la 5, más se aumentara la potencia de frenado del freno hidrodinámico. Esto se ve a más detalle en la siguiente tabla:

Tabla VIII. Potencia de frenado según posición de la palanca

POSICIÓN PALANCA	POTENCIA EXIGIDA AL FRENO HIDRODINÁMICO	COMENTARIOS
Posición 0	0%	Freno hidrodinámico desconectado.
Posición 1	0% - 100%	Según la potencia requerida para llegar a la velocidad requerida.
Posición 2	25%	Aumento de potencia de frenado en un 25% más para disminuir la velocidad del vehículo
Posición 3	50%	Aumento de potencia de frenado en un 50% más para disminuir la velocidad del vehículo
Posición 4	75%	Aumento de potencia de frenado en un 75% más para disminuir la velocidad del vehículo
Posición 5	100%	Aumento de potencia de frenado en un 100% más para disminuir la velocidad del vehículo

Según las necesidades de frenado que el operador requiera así será la posición en la que deba colocar la palanca de mando, es como ejercer más presión sobre el pedal de freno, entre más lo presionamos más frena el vehículo, sucede lo mismo con el freno hidrodinámico entre más aumentamos la posición de la palanca más se le exige al freno hidrodinámico para que frene el vehículo.

El aumento de potencia de frenado es utilizado comúnmente en ocasiones cuando el frenado con velocidad constante no es suficiente para detener el vehículo, por ejemplo cuando se va a velocidad constante y se aproxima una curva demasiado cerrada y la velocidad a la que se viaja es demasiado alta para poder tomar esta curva, entonces es allí cuando se aumenta la palanca de mando en uno o varios escalones según la necesidad, para disminuir la velocidad del vehículo y así poder tomar esa curva con toda seguridad.

5.1.3 Accionamiento del freno hidrodinámico mediante el pedal de freno

El freno hidrodinámico también puede ser accionado mediante el pedal de freno, esto se hace accionando a encendido el botón que se encuentra en el panel de instrumentos del vehículo, ver figura 31.

Cuando el operador acciona este botón automáticamente la ECU del freno hidrodinámico lee la presión ejercida sobre el pedal de freno por el operador, según así sea la presión ejercida sobre el pedal así será la potencia de frenado que aplicara el freno hidrodinámico al vehículo.

Esto se hace debido a que se coloca un sensor de presión en el pedal de freno, que es el que envía la señal de presión al ECU del freno hidrodinámico y este a su vez a la válvula proporcional que es la que envía el aire comprimido según la potencia que se requiera a la carcasa del freno hidrodinámico para empujar el aceite hacia el rotor y estator para provocar el efecto de frenado.

La potencia exigida máxima utilizando el pedal de freno no es del 100%, esto debido a que la presión ejercida sobre el pedal del freno depende mucho del operador, y que no se puede exigir de golpe el 100% de la potencia de frenado ya que esto puede ser peligroso para el vehículo puede causar daños considerables en sus componentes como eje cardan, diferenciales, caja de velocidades y obviamente también corre peligro el operador del vehículo.

El sensor de presión colocado en el pedal de freno tomara varios rangos de presión ejercidos por el operador y según la lectura de este, enviara la señal al ECU, estas presiones sobre el pedal de freno se detallan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla IX. Potencia de frenado según presión sobre el pedal de freno

PRESIÓN EJERCIDA SOBRE EL PEDAL DE FRENO	POTENCIA EXIGIDA AL FRENO HIDRODINÁMICO	COMENTARIOS
0.3 bar.	25%	Utilización del freno hidrodinámico en un 25% de su potencia total
0.6 bar.	50%	Utilización del freno hidrodinámico en un 50% de su potencia total
1 bar.	75%	Utilización del freno hidrodinámico en un 75% de su potencia total

Cabe mencionar que al utilizar el pedal de freno para accionar el freno hidrodinámico NO se utilizan las fricciones ya que el rango de lectura de presión del sensor (0.3 bar – 1 bar) es menor a la presión necesaria para activar los frenos de servicio o en todo caso para que entren en funcionamiento las fricciones del vehículo. Por lo tanto de esta manera no se van a desgastar las fricciones del vehículo.

El accionamiento del freno hidrodinámico utilizando el pedal de freno es comúnmente más utilizado, debido a que ayuda enormemente a la comodidad del operador del vehículo ya que para este no será de mucho trabajo estar encendiendo y apagando el freno hidrodinámico.

5.2 Desconexión del freno hidrodinámico por calentamiento del motor

Recordemos que el sistema de enfriamiento del motor es el que enfría también el freno hidrodinámico y si esta temperatura aumenta mas allá de lo normal, podría ocasionar problemas al motor, incluso llegar a dañarlo.

En las frenadas utilizando el freno hidrodinámico, la energía dinámica, se transforma en calor, que es transferido al sistema de refrigeración del vehículo por medio del intercambiador de calor.

Para poder controlar estos aumentos de temperatura y no dañar el motor, se colocan dos sensores de temperatura, uno en el tubo de retorno de agua del circuito de refrigeración y el otro en la salida de aceite del freno hidrodinámico

hacia el intercambiador de calor, que es donde el aceite cede el calor al refrigerante.

Según el tipo de motor del vehículo se coloca la temperatura máxima en la ECU del freno hidrodinámico, pero en la mayor parte de los motores el valor máximo de temperatura del refrigerante debe ser 220° F, como máximo, para que el freno hidrodinámico se desconecte automáticamente.

Para no correr riesgos de accidente, debido a que el freno hidrodinámico se desconecte por completo súbitamente; la ECU al detectar aumento de temperatura en el refrigerante, alrededor de 215° F, empieza a encender la luz de advertencia en el tablero del vehículo, a la vez que la ECU envía una señal de disminución de potencia a la válvula proporcional, para que esta entregue nada más el 50% de presión de aire al freno hidrodinámico. Con esto se consigue disminuir la potencia de frenado y por consiguiente la generación de calor hacia el sistema de refrigeración, así mismo que se advierte al operador del vehículo para disminuya a una velocidad segura, en este tipo de casos se deben utilizar los frenos de servicio.

Si en todo caso la temperatura en el refrigerante sigue aumentando hasta llegar alrededor de 220° F, la ECU enviara la señal a la válvula proporcional para que no deje pasar aire y así el freno se desconectaría por completo.

Si el operador del vehículo observa que la luz de advertencia instalada en el panel de instrumentos se enciende, se deberán tener en cuenta lo siguiente:

- El operador debe adecuar la velocidad del vehículo con los frenos de servicio y disminuir una o dos velocidades en la caja de cambios del vehículo, con ello se consigue incrementar la velocidad de giro del motor.

Con lo anterior se consigue obtener mayores prestaciones de la bomba de agua y una mayor velocidad del ventilador, todo ello para disminuir la temperatura del refrigerante.

Conduciendo adecuadamente y realizando un mantenimiento correcto al freno hidrodinámico, se puede incrementar la capacidad de refrigeración del vehículo y, con ello, incrementar y asegurar la disponibilidad del freno hidrodinámico.

CONCLUSIONES

1. Con la utilización correcta del freno hidrodinámico, se determinó que el 80% de todas las frenadas pueden hacerse sin desgaste de los frenos de servicio, e incluso podría ser más si el piloto es experimentado.
2. Con el freno hidrodinámico se pueden conseguir velocidades promedio más elevadas, incrementando el mismo tiempo la seguridad del vehículo y del conductor.
3. Se pueden conseguir velocidades constantes en descensos con pendientes prolongadas, lo que hace que el manejo del vehículo sea sencillo y cómodo. Contribuyendo con esto a prolongar la vida útil de las fricciones del freno de servicio.
4. El freno hidrodinámico dispone de su propio circuito de aceite, el cual su función principal es el frenado, ya que, no hay desgaste en sus piezas internas.
5. El modulo de control del freno hidrodinámico controla la temperatura del mismo y, en caso de sobrecalentamiento, se desconecta automáticamente y gradualmente, lo que deja tiempo al operador del vehículo para que disminuya la velocidad utilizando los frenos de servicio que estarían en optimas condiciones de utilización.

6. Las rutinas de mantenimiento del freno hidrodinámico son sumamente sencillas y prolongadas, lo que hace disminuir el tiempo de mantenimiento, por lo que se dispondrá más tiempo del vehículo.

7. Los costos de mantenimiento de frenos en un vehículo con el freno hidrodinámico disminuyen, considerablemente, debido a la poca utilización de los frenos de servicio, pues en el 80% de las ocasiones será el freno hidrodinámico el que frenará el vehículo, por lo que los intervalos de mantenimiento preventivos para las fricciones se prolongará en 5 veces más del tiempo normal.

RECOMENDACIONES

1. Es aconsejable que el operador del vehículo que antes de utilizar el freno hidrodinámico, aprenda el funcionamiento del mismo, esto para que este enterado del sistema de refrigeración del mismo, para no sobrecalentar el motor del vehículo
2. Para poder mantener una refrigeración óptima tanto para el motor como para el freno hidrodinámico se recomienda mantener las revoluciones del motor aproximadamente a 1800 RPM.
3. Se deben revisar los niveles de aceite constantemente para evitar accidentes y asegurarse del óptimo funcionamiento del freno hidrodinámico.
4. Para efectos de operación se recomienda que los servicios de mantenimiento del freno hidrodinámico coincidan con los servicios mayores del vehículo.
5. El freno hidrodinámico no debe ser utilizado para detener por completo el vehículo, en estos casos se deben utilizar los frenos de servicio.

6. El operador del vehículo debe vigilar, constantemente, la temperatura del motor, si esta empieza a elevarse alrededor de 210° F, el operador debe de aumentar las revoluciones del motor y a disminuir la velocidad con ayuda de los frenos de servicio. Se elevan las revoluciones del motor para que la bomba de agua pueda aportar mas refrigerante y, así, disipar de una mejor manera el calor generado por el freno hidrodinámico.

7. Tratar de utilizar el freno hidrodinámico lo mas que se pueda, esto ayuda a disminuir los costos de mantenimiento de los vehículos y a frenar, seguramente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Streeter, Victor L. **Mecánica de los fluidos**. Madrid: Ediciones del Castillo, 1990. Obra de consulta para lectores con conocimientos de física y matemáticas.
2. Bernard J. Hamrock, Bo O. Jacobson, Steven R. Schmid, **Elementos de máquinas**, Mexico: McGRAW-HILL, 1999.
3. Voit Turbo GmbH & Co. KG, **Manual de taller retarder 133-2**, Alemania 2005.
4. Voit Turbo GMBH & Co. KG, **Instrucciones de servicio Voith retarder 133-2**, Alemania 2005.