

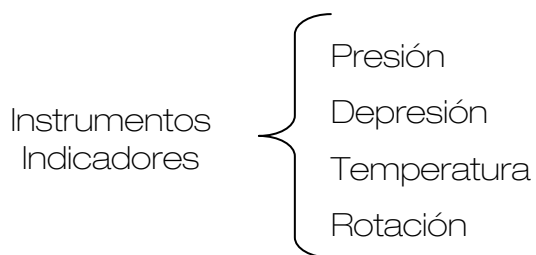


INSTRUMENTOS MECÁNICOS

Características y funcionamiento

Estos indicadores basan su funcionamiento en la **conversión directa**, por medios mecánicos, de un determinado efecto físico, en un movimiento que servirá para indicar valores vinculados con dicho efecto.

Los efectos físicos que comúnmente se miden en el automotor por medio de indicadores mecánicos, son:



El movimiento al cuál se convierten estos efectos físicos es generalmente de **rotación**, de modo que con una aguja indicadora, solidaria a este eje de rotación se pueden medir valores sobre una escala previamente establecida.

En general son instrumentos de concepción simple, que aplican pocos principios de funcionamiento y con pocas piezas móviles. Por tal motivo resultan ser bastantes sólidos y de costo reducido.

1. Indicadores de Presión

Sabemos que todo líquido o gas que se comprime ejerce una fuerza sobre las paredes del recipiente que lo contiene. La magnitud de esta fuerza es proporcional a la superficie de las paredes del recipiente, por lo



que para un determinado valor de compresión habrá una mayor fuerza al aumentar la superficie de las paredes. Se establece entonces la unidad de fuerza específica o fuerza por unidad de superficie, conocida técnicamente como "*presión*" y expresada por el cociente entre la fuerza ejercida y la superficie sobre la que se la ejerce:

$$P \text{ (presión)} = \frac{F \text{ (fuerza)}}{S \text{ (superficie)}}$$

Los indicadores basan su funcionamiento en esta expresión utilizando recipientes de paredes elásticas. De este modo la fuerza que desarrolla la presión **deformará** a las paredes produciendo un movimiento que será proporcional al valor de la presión a medir.

Es indudable que para que el sistema pueda funcionar se necesita que las paredes regresen a su estado original cuando cesa la presión y no permanezcan con alguna deformación residual.

Ello se consigue dando configuraciones especiales al recipiente de modo de lograr que el material empleado trabaje dentro de su **zona elástica**.

Dos diseños son comúnmente utilizados en los instrumentos indicadores mecánicos de uso automotor: el sistema de Diafragma y el tubo de Bourdon.

A. Sistema de Diafragma

Consiste básicamente en un recipiente en donde una de sus caras es un disco (Fig. 1) con un cierto número de ondulaciones anulares que le permiten flexionarse y apartarse de su posición original cuando se ejerce una presión sobre él. Las ondulaciones anulares actúan a modo de resorte haciendo que el disco, también denominado diafragma, retorne a su posición de reposo o ejerza una fuerza antagónica de equilibrio a la fuerza de la presión ejercida.

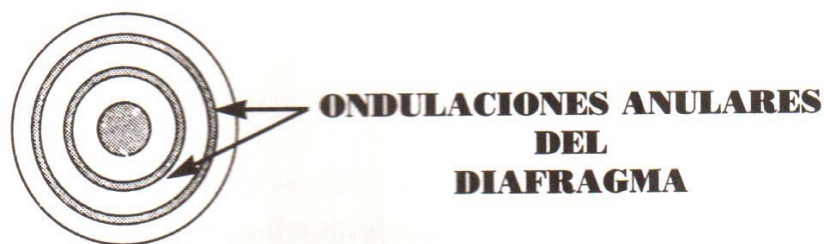


Fig. 1 - Diafragma

El centro del diafragma es el **punto de su mayor desplazamiento**. Desde allí se toma el movimiento (Fig. 2), **amplificándolo mecánicamente** hasta la aguja indicadora, la que rotará y apuntará a valores de una escala graduada.

La fuerza ejercida por la presión será proporcional a la superficie del diafragma tal como se deduce de la fórmula de presión indicada anteriormente. La resistencia mecánica que el diafragma le ofrece depende del material con que está construido éste y del resto del sistema mecánico.

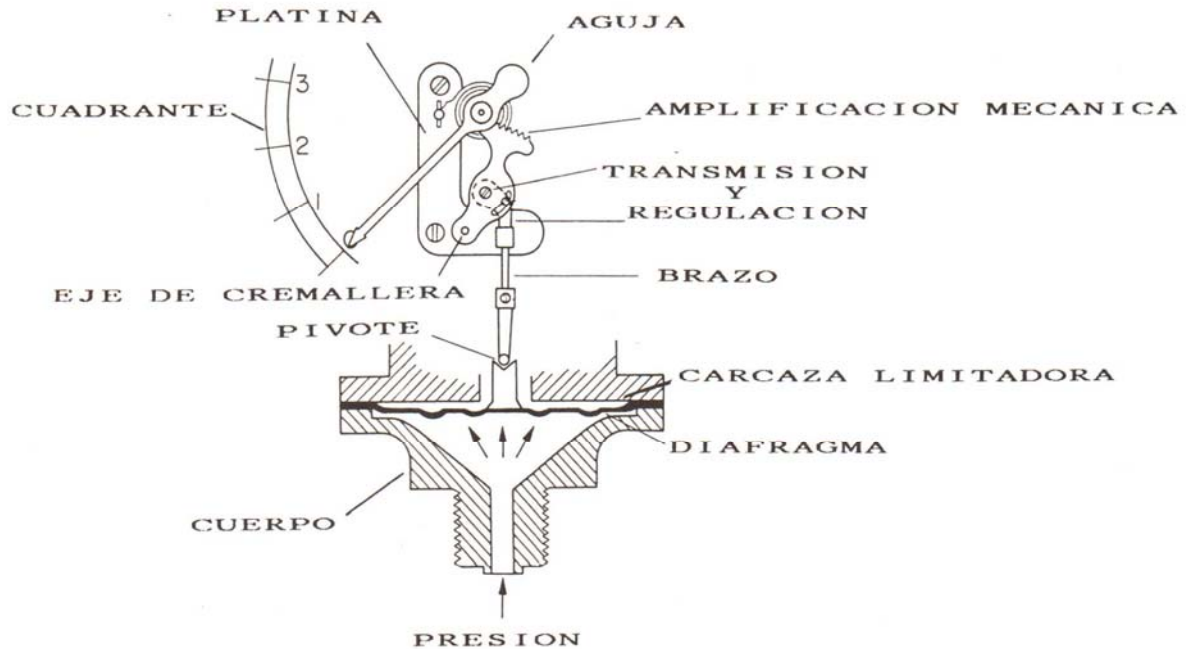


Fig. 2 - Indicador de Presión a diafragma

Por lo tanto, el desplazamiento del diafragma es principalmente función de su diámetro y de su material, habiendo casos en donde para compatibilizar un adecuado desplazamiento **sin superar el límite elástico** del material, se recurre al auxilio de un resorte antagónico que contribuirá a equilibrar la fuerza de la presión.

Los materiales más adecuados para la función del diafragma son las aleaciones de cobre-berilio y de bronce-fósforo. En algunos casos se utiliza acero inoxidable pero éste, igual que en el caso anterior, necesita de un adecuado sellamiento hermético entre el diafragma y el resto del recipiente. Actualmente se logran buenos resultados utilizando diafragmas de material plástico tales como el Teflón o similares.

De todos modos el desplazamiento del diafragma siempre es reducido debido a que es necesario limitar su recorrido y así evitar deformaciones permanentes. La limitación se realiza colocando una

carcaza que frena el desplazamiento del diafragma. La consecuencia de ello es que la relación entre presión y deflexión o movimiento del diafragma, es lineal sólo para una pequeña cantidad de desplazamiento produciéndose una compresión de la escala a medida que aumentan los valores de presión.

La aplicación práctica en automotores, es utilizar el sistema de diafragma, principalmente en los sensores ubicados en el motor, debido que soportan mejor, que otros sistemas transductores, las vibraciones de esos lugares. La transmisión de los valores de la magnitud medida se hará luego, eléctricamente, hacia otros instrumentos ubicados en el tablero.

A. Sistema a tubo de Bourdon

El instrumento indicador a tubo de Bourdon, del cuál hay muchas variantes, aplica probablemente el sistema más importante utilizado para indicadores mecánicos.

Fue patentado hace más de cien años, por Eugene Bourdon, físico francés, y su idea básica aún no ha cambiado. Consiste en un tubo de paredes delgadas y sección achatada, arrollado en una forma circular casi completa (Fig. 3). Por uno de sus extremos se inyecta el fluido a medir y en el otro extremo se lo cierra para evitar su salida.

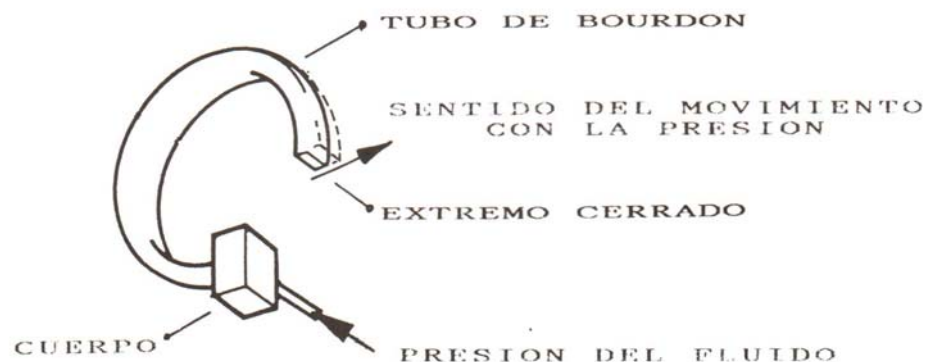


Fig. 3 - Sistema a tubo de Bourdon

Cuando el fluido ejerce presión dentro del tubo, la pared exterior, que tiene mayor superficie que la interior, ejerce una fuerza adicional que hace que el tubo tienda a enderezarse. La resistencia mecánica, al desplazamiento del tubo, la ejerce la parte perpendicular a los lados achatados de la sección transversal del tubo de Bourdon, y dependerá de las características elásticas del material empleado.

De este modo el extremo cerrado se moverá, respecto del otro, en función de la presión ejercida dentro del tubo y su recorrido será comparativamente mayor que en el caso del sistema a diafragma. Aún así no es suficiente para un amplio recorrido de la aguja indicadora, por lo que se amplifica este desplazamiento por un sistema de piñón y sector de engranaje también llamado denominado cremallera (Fig. 4).

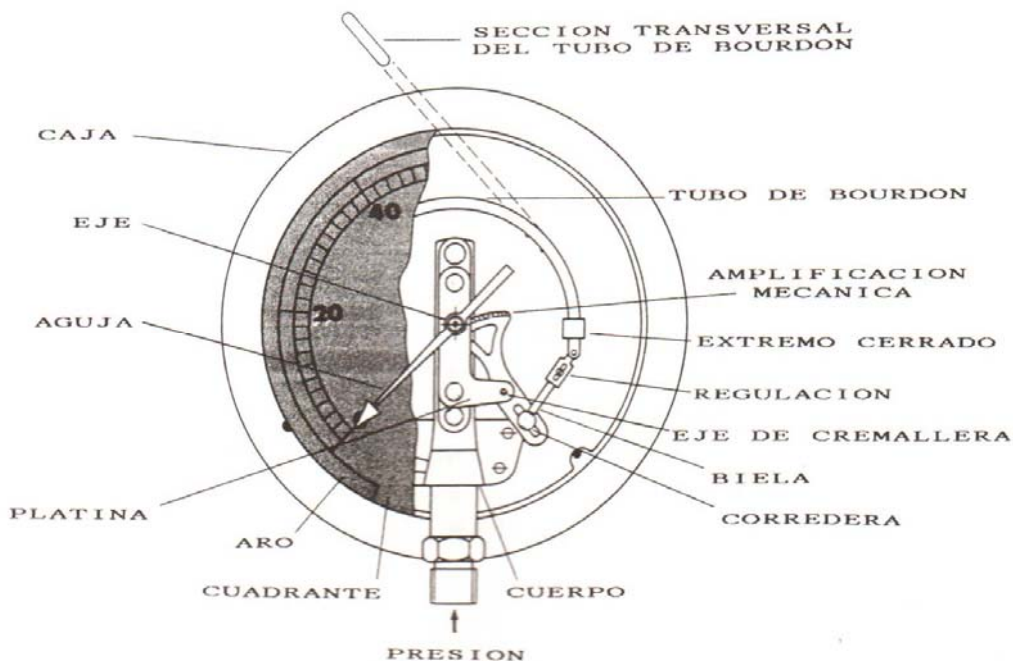


Fig. 4 - Indicador de Presión a tubo de Bourdon



Del mismo modo que en los sistemas de diafragma, existe una fuerza antagónica, producida por el tubo, para que éste vuelva a la posición de reposo o se mantenga en una posición de equilibrio. Por tal motivo en la construcción de estos tubos, se utilizan también las aleaciones de cobre-berilio, bronce-fósforo y aceros inoxidable.

Si bien se hace trabajar a estos materiales dentro de sus límites de elasticidad, la relación entre presión y desplazamiento no es la misma cuando sube la presión que cuando baja. Este efecto se denomina **Histéresis** y no produce error apreciable mientras el instrumento se conserve dentro de su rango de medida.

Evidentemente si se supera al rango máximo de presión del instrumento, la deformación del tubo de Bourdon se convierte en permanente por superarse su límite elástico. El instrumento permanecerá entonces, indicando un valor residual, aunque no se aplique presión alguna y por lo tanto queda inutilizado.

2. Indicadores de Depresión

Estrictamente los dos sistemas explicados anteriormente y utilizados en los indicadores de presión, miden a esta en forma **diferencial**.

Esto es así porque en la cara opuesta del diafragma o en el lado exterior del tubo de Bourdon, existe otra presión que se opone a la presión del fluido a medir y que es la presión atmosférica.

En el sistema a diafragma se aprecia que en reposo, ambas caras de éste se encuentran sometidas a la presión atmosférica y por lo tanto el diafragma no se desplaza. Cuando una de estas presiones aumenta habrá un movimiento hacia el lado de menor presión produciéndose el **desplazamiento por diferencia de presiones**.

Algo similar sucede en el sistema de tubo de Bourdon, porque la presión atmosférica ejercida sobre las caras externas del tubo, hace que éste se mantenga en equilibrio cuando en su interior exista la misma presión atmosférica. Ni bien la presión interior aumente o disminuya habrá un movimiento del extremo del tubo que será consecuencia de la diferencia de presiones.

Cuando se mide depresión, el diafragma se moverá en sentido opuesto al anterior es decir hacia el lado de la depresión y el tubo de Bourdon, que antes tendía a enderezarse, ahora tenderá a cerrarse (Fig. 5). Consecuentemente la aguja indicará hacia el otro lado, es decir, valores menores que cero, que representan **valores negativos de presión** respecto de la presión atmosférica.

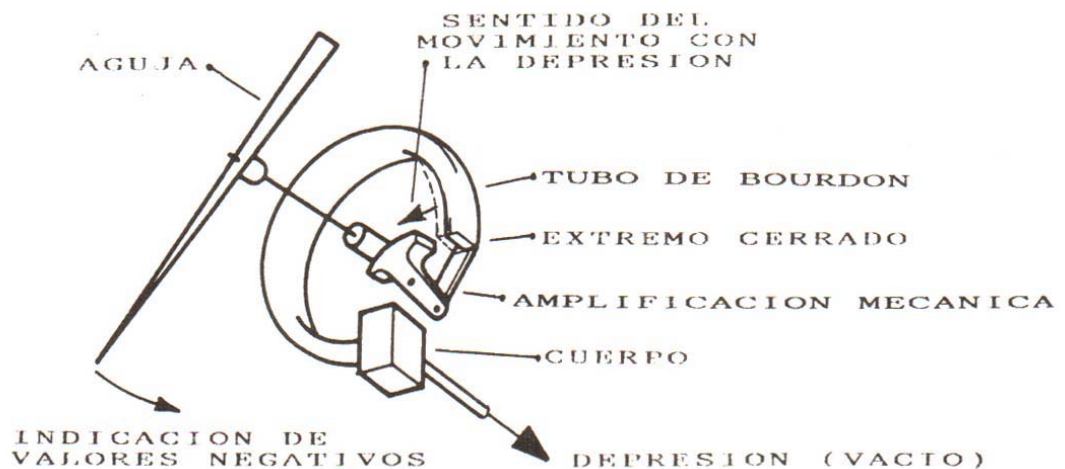


Fig. 5 - Indicador de Depresión a tubo de Bourdon

Observamos de lo anterior que hay un **límite para la depresión** a medir y que corresponde al **vacío absoluto**. En este caso la indicación del instrumento está limitada a 1 (una) atmósfera, negativa, debido a que la fuerza en la cara externa del diafragma o del tubo de Bourdon es, como



máximo la de la presión atmosférica.

La presión atmosférica tiene variaciones según el estado del tiempo y por lo tanto podemos decir que influye en la diferencia. No obstante y para el caso de los instrumentos de uso automotor, se considera que la variación de la presión atmosférica es despreciable y permanece constante en 1 (una) atmósfera.

3. Indicadores de Temperatura

Una de las propiedades más conocidas que tienen las sustancias, al aumentar su temperatura, es la de dilatarse. Pero cuando dichas sustancias se encuentran impedidas de aumentar sus dimensiones, por ejemplo al estar contenidas dentro de un recipiente rígido, realizan sobre las paredes de este recipiente, un esfuerzo tratando de expandirse. En particular si se trata de una sustancia gaseosa el esfuerzo sobre las paredes se convierte en una presión cuya magnitud será proporcional a la temperatura de dicho gas.

Utilizando esta propiedad se pueden construir termómetros si se adiciona, a los sistemas de diafragma o de tubo de Bourdon analizados anteriormente, un recipiente cerrado conteniendo una sustancia gaseosa.

Técnicamente se denominan a estos instrumentos **termómetros de gas de volumen constante**. En la práctica, con el aumento de la temperatura del gas, también aumenta la temperatura del recipiente y por consiguiente se dilata, pero su magnitud es tan pequeña que se hace despreciable frente al gas y puede considerarse de volumen constante.

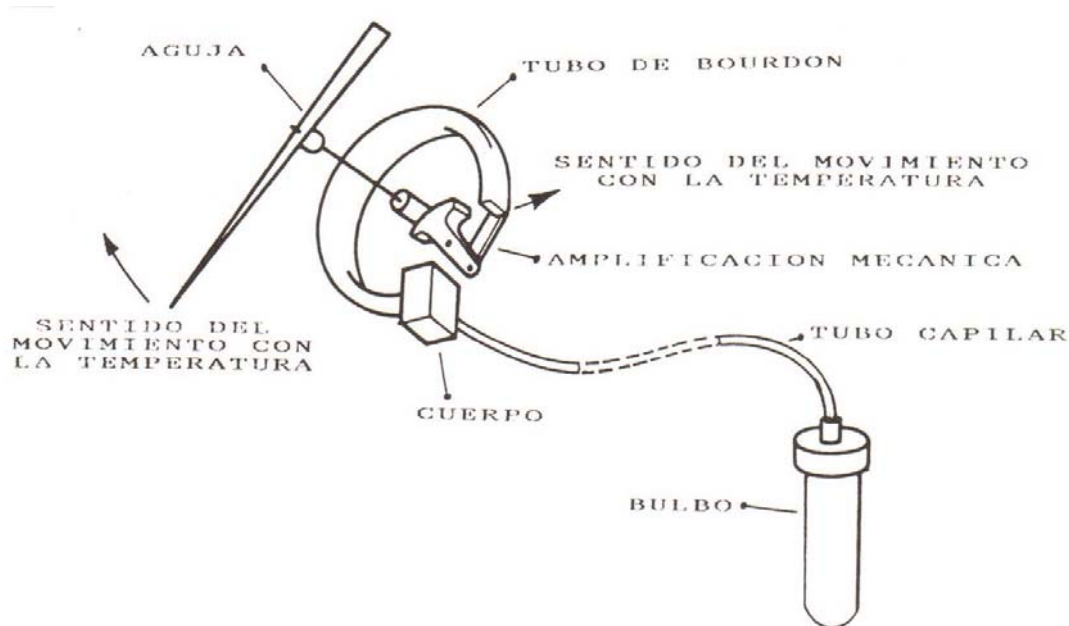


Fig. 6 - Indicador de Temperatura a tubo de Bourdon

Básicamente estos termómetros constan de tres partes bien diferenciadas (Fig. 6). Un recipiente de relativo alto volumen, llamado **bulbo**, que es el destinado a recibir el calor. Un manómetro, generalmente de tubo de Bourdon, por ser el más adecuado para indicar la presión del gas. Y un conducto, de muy pequeña sección interior, denominado **tubo capilar**, cuya misión es unir al bulbo con el instrumento sin introducir alteraciones de presión.

Introducir un gas dentro del bulbo es sumamente dificultoso y poco práctico en una producción industrial de estos instrumentos. Por tal motivo se ha recurrido a utilizar sustancias que por un principio de la física coexisten en estado líquido y gaseoso a igualdad de presión. Las sustancias comúnmente utilizadas en estos termómetros, son los alcoholes y los éteres, por permanecer en estado líquido a la temperatura ambiente y, por lo tanto, ser fácilmente manejables. Además, por ser altamente volátiles, es decir evaporarse con facilidad al elevar su

temperatura, produciendo los gases necesarios para el funcionamiento de este instrumento. Por lo tanto dentro del bulbo coexistirán líquido y vapor y a medida que la temperatura del líquido aumenta habrá más gas evaporado, el que, al no poder salir del conjunto, hará elevar la presión dentro del mismo.

Tales sustancias al estar contenidas dentro de un recipiente cerrado, de dimensiones constantes, y estar sometidas a una fuente de calor, producen una elevación de la presión del gas evaporado. Dicho comportamiento puede graficarse como una curva de presión de vapor en función de la temperatura del líquido, resultando una recta en un gráfico semi logarítmico (Fig. 7).

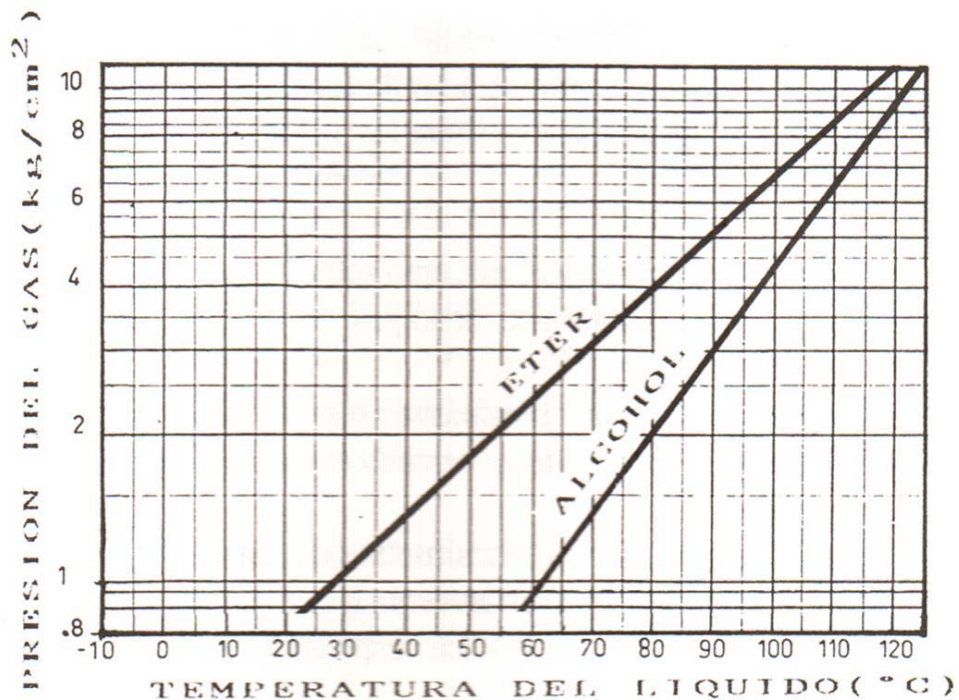


Fig. 7 - Variación de la Presión en función de la Temperatura



Para los termómetros de uso en automotores la sustancia más adecuada es el éter etílico o éter sulfúrico, $(C_2 H_5)_2 O$, cuya apariencia a temperatura ambiente es similar a la del agua y tiene la propiedad de poseer una relación presión del vapor-temperatura del líquido, de tipo casi exponencial creciente, dando como resultado una expansión en la escala alta de temperatura medida, circunstancia que favorece la apreciación de la lectura en esa zona del indicador.

Justamente por esta propiedad, no se debe ensayar al instrumento con temperaturas mayores a las indicadas en su escala. Por lo tanto nunca debe someterse al bulbo del termómetro a la acción directa de una llama o de otro cuerpo que se encuentre a temperatura elevada, pues la sobre presión producida por el gas, aunque fuese instantánea, llevaría al tubo de Bourdon a una deformación permanente que inutilizaría al instrumento.

4. Indicadores de Rotación

El movimiento más importante de cualquier máquina, es el movimiento de rotación y de él lo que se requiere conocer es su velocidad angular, comúnmente denominada: **velocidad de rotación**.

En el vehículo interesa conocer, principalmente, las velocidades de rotación de dos partes:

En el **motor**, interesa conocer su velocidad de rotación porque está relacionada con la potencia y el par motor y, por lo tanto, tienen mucha importancia para su óptimo aprovechamiento. El instrumento que mide la velocidad de rotación del motor se denomina **tacómetro** y expresa esta velocidad en revoluciones por minuto (rpm).

En el **vehículo** es necesario conocer la velocidad de rotación de las ruedas, que es una medida directa de la velocidad de traslación de ese

móvil. Y el instrumento que se utiliza se denomina **velocímetro** que indica la velocidad lineal del vehículo y la expresa en kilómetros por hora (km/h)

Ambos instrumentos utilizan el mismo principio de funcionamiento, denominado de **arrastre magnético**, que involucra a su vez efectos magnéticos y eléctricos independientes, asociados en este instrumento a la rotación mecánica.

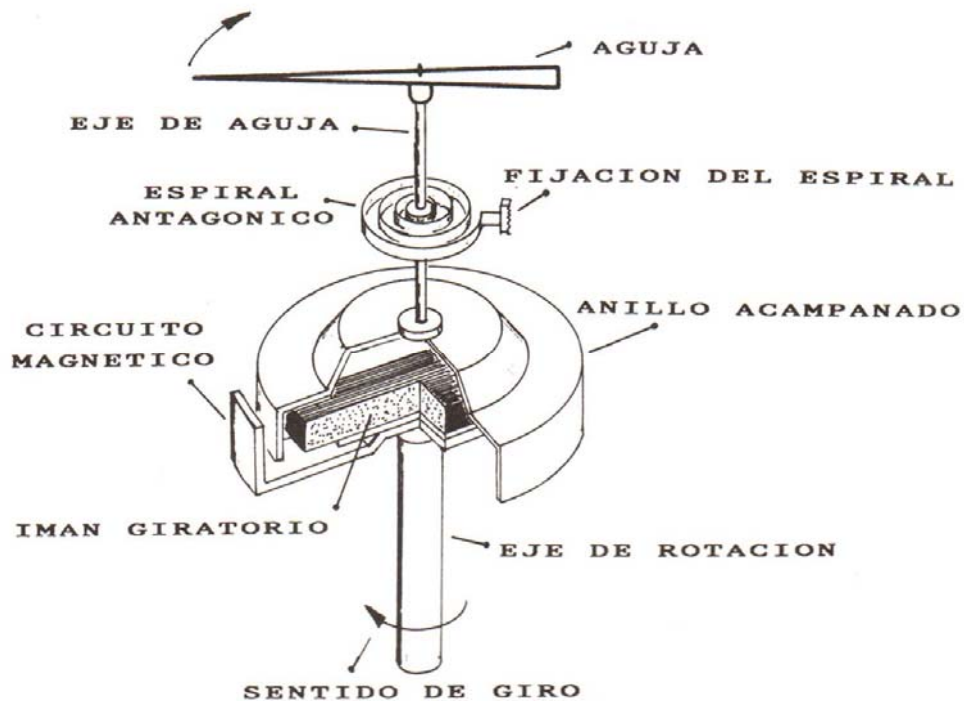


Fig. 8 – Indicador de Velocidad por arrastre magnético

El proceso de arrastre magnético consiste en producir, por medio de un imán permanente, un **campo magnético giratorio** (fig. 8). Este imán deberá rotar a la velocidad del eje a medir.

Sumergido en este campo magnético se encuentra un anillo de aluminio. Por razones constructivas este anillo debe ser soportado por un eje, por lo que el conjunto toma forma acampanada, pero su parte activa



sigue siendo el anillo periférico de aluminio.

Podría suponerse que el proceso de arrastre se produce por la atracción del anillo a causa del campo magnético del imán. Pero esto no es así porque el aluminio es un material no-magnético y por lo tanto, no es susceptible de atracción o repulsión magnética.

Lo que ocurre es que el campo magnético, al girar, induce una tensión eléctrica en el anillo de aluminio (Fig. 9). El efecto físico de la tensión inducida obedece en forma y magnitud, a la ley de Faraday de la inducción electromagnética, y es causado por el movimiento relativo del campo magnético giratorio, respecto del anillo de aluminio que tiene un giro limitado.

Estas tensiones inducidas producen a su vez **corrientes eléctricas** dentro del anillo. Esto es así porque el aluminio es conductor de la electricidad y como tal, obedeciendo a la ley de Ohm, la tensión inducida hará circular una corriente cuyo valor será función del valor resistivo eléctrico del anillo del aluminio. La corriente circulará en el anillo en un plano perpendicular al campo magnético y por lo tanto lo hará por un camino corto y casi circular. Esto configura una espira cerrada, que por otra ley electromagnética, la ley de Biot y Savart, sabemos que genera otro **campo magnético** producido por la corriente circulante en la espira.

Este campo magnético así generado actúa como un pequeño imán que, al enfrentarse con el campo magnético giratorio, **produce una cupla** en el anillo, haciendo que este tienda a girar en el mismo sentido que el del imán giratorio. La magnitud de la cupla dependerá de la velocidad de rotación del imán permanente, pues a mayor velocidad habrá mayor tensión inducida y como consecuencia, mayor corriente y mayor campo magnético producido. Es decir que habrá una **relación directamente proporcional** entre la velocidad del eje del imán con el esfuerzo en girar que hace el anillo acampanado.



El efecto de las corrientes en el anillo recibe también la denominación de **corrientes de Foucault** o corrientes en torbellino, a causa de su naturaleza generalmente circular. La acción mutua de las corrientes de Foucault y el campo magnético del imán se traduce en una acción de frenado del imán que al no poder realizarse produce el efecto de **arrastre** magnético.

Este esfuerzo en girarse denomina **cupla motora** porque es tal que tratará de acompañar al imán en su rotación. Por tal motivo es necesario oponer a este movimiento una **cupla antagónica**, la que está producida por un resorte en espiral fijo en un extremo y en el otro (Fig. 8), solidario con el eje que soporta al anillo acampanado.

Cuando ambas cuplas se igualen el eje adoptará una posición de equilibrio y se mantendrá así hasta que una de estas cuplas cambie.

Así, cuando cambie la velocidad de rotación del imán cambiará la cupla motora, produciendo un desplazamiento angular del eje del anillo, directamente proporcional a la velocidad de rotación del eje del instrumento.

Colocando entonces, una aguja indicadora en este eje, tendremos que las distintas posiciones angulares del mismo serán indicadas por la aguja, en un cuadrante graduado y así se podrá leer la velocidad del eje del imán.

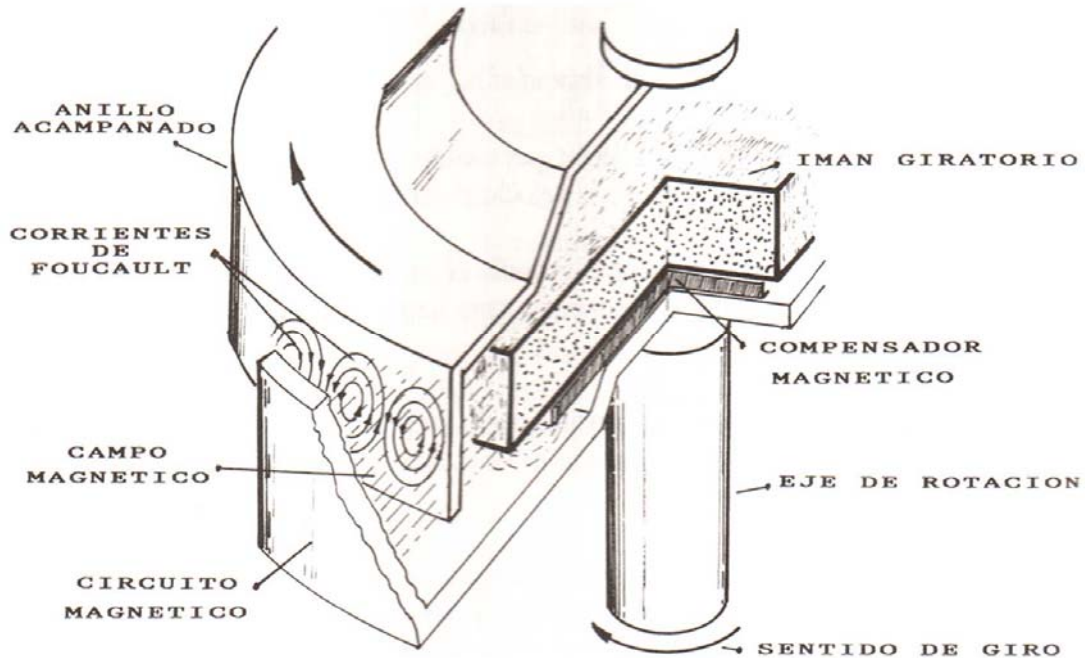


Fig. 9 - Efecto de arrastre magnético

Este instrumento, cuya construcción es bastante simple, como se observa en los esquemas, obedece su funcionamiento al conjunto de principios enunciados y como tal deberá tenerse en cuenta una serie de factores importantes para su correcto funcionamiento.

El principal de ellos es la temperatura de trabajo, debido a que tanto el campo magnético producido por el imán, como la resistencia eléctrica del aluminio, varían con el aumento de la temperatura ambiente produciendo debilitamiento de la cupla motora. También la espiral sufre las consecuencias de la temperatura dilatándose, y por lo tanto ejerciendo una cupla antagónica mayor. Ambos efectos se suman y ocasionan una **disminución de la indicación al aumentar la temperatura**, que debe ser compensada para evitar errores de indicación.



Orlan Rober. Since 1958

La compensación se logra colocando, en el circuito magnético del imán, un material cuya permeabilidad magnética varía inversamente con la temperatura. La función de esta pieza, denominada **compensador magnético** (Fig. 9), es lograr que el campo magnético del imán se derive por ella en mayor cantidad cuando menor es la temperatura ambiente, de modo que el campo magnético restante, que es en el que se encuentra sumergido el anillo acampanado, aumente con el aumento de temperatura y por consiguiente compense, en igual magnitud, la disminución de la cupla motora ocasionada por las causas anteriores.