

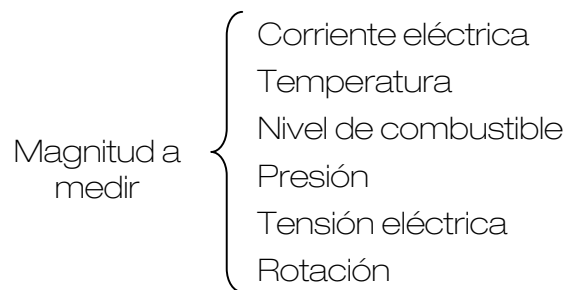


INSTRUMENTOS ELECTROMAGNÉTICOS

Estos indicadores funcionan bajo el principio de **acción entre campos magnéticos** producidos, unos por corrientes eléctricas y otros, por imanes permanentes.

Estos campos producen fuerzas entre sí y finalmente cuplas de rotación que permiten el movimiento de la aguja indicadora sobre una escala graduada, relacionada con la magnitud a medir.

Las magnitudes físicas del automotor, que comúnmente se miden con estos indicadores son:



Del mismo modo que en los instrumentos electrotérmicos, la conversión de la magnitud física a medir en un valor eléctrico la realiza la parte denominada "sensor", excepto en aquéllos casos en donde la magnitud física ya es eléctrica.

También, como en caso de los instrumentos electrotérmicos, la vinculación del sensor con el indicador es realizada por cable de longitud relativamente grande, dándole gran flexibilidad de instalación al posibilitar la lectura remota de las magnitudes variables.

Pero estos instrumentos tienen ventajas adicionales a los electrotérmicos y entre ellas la posibilidad de medir otras magnitudes que no son posibles de medir con aquéllos, tal como surge de la lista anterior; el



posicionamiento rápido de la aguja y por consiguiente la lectura inmediata de la variable; y la simplicidad de no necesitar regulador de tensión u otro elemento equivalente exterior al indicador.

Si bien todos estos indicadores funcionan con el mismo principio enunciado al comienzo, tienen diferencias constructivas según el efecto físico a medir y, para su mejor entendimiento, se suelen clasificar del siguiente modo:

Indicadores	}	Imán móvil y bobina fija
Electromagnéticos		Bobina móvil e imán fijo

Esta clasificación no es general para todos los instrumentos electromagnéticos existentes, sino que está referida a los indicadores de uso automotor contemplados en este texto. Pero además dentro de cada grupo anterior, existen diferencias constructivas menores que, según la aplicación, lo hacen más apto para la medición de determinadas variables. Dichas formas constructivas las veremos a continuación de describir el principio general de funcionamiento aplicado a estos instrumentos.

Principio de funcionamiento

El físico danés Hans Christian Oersted, fue el primero que en 1819, observó que en el entorno de los conductores recorridos por una corriente eléctrica, se producían fenómenos magnéticos. En efecto si se coloca una brújula en las proximidades de un conductor por el que circula una cierta corriente eléctrica, se notará que la aguja se desvía de su posición.

Se deduce de esta experiencia que alrededor del conductor se forma un campo magnético cuyas líneas de fuerza están contenidas en planos perpendiculares al conductor, y que son líneas cerradas de forma circular (Fig.

1).

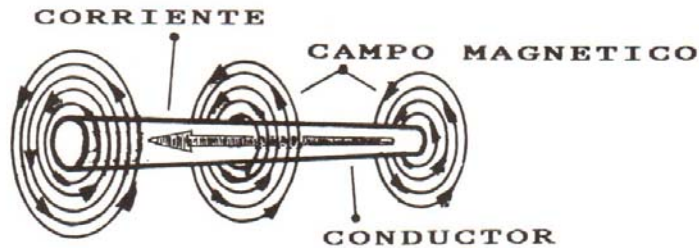


Fig. 1 - Campo magnético producido por una corriente

También se deduce que el campo magnético producido por la corriente tiene una intensidad que depende del valor de dicha variable de modo que el efecto magnético es **proporcional** a la magnitud de la corriente eléctrica circulante por el conductor.

Posteriormente los físicos Biot y Savart dedujeron la ley que lleva su nombre en donde se establece que la intensidad del campo magnético disminuye cuadráticamente con el aumento de la distancia que lo separa del conductor.

1. Indicador de imán móvil y media bobina fija

De acuerdo a los principios enunciados, se observa que si se coloca un pequeño imán (Fig. 2), cercano al conductor por el que circula la corriente, este es impulsado a seguir el recorrido de las líneas del campo magnético. La fuerza que impulsa al imán se denomina **Fuerza-Magneto-Motriz** y depende de la intensidad de la corriente, del magnetismo propio de ese imán y de su distancia al conductor.

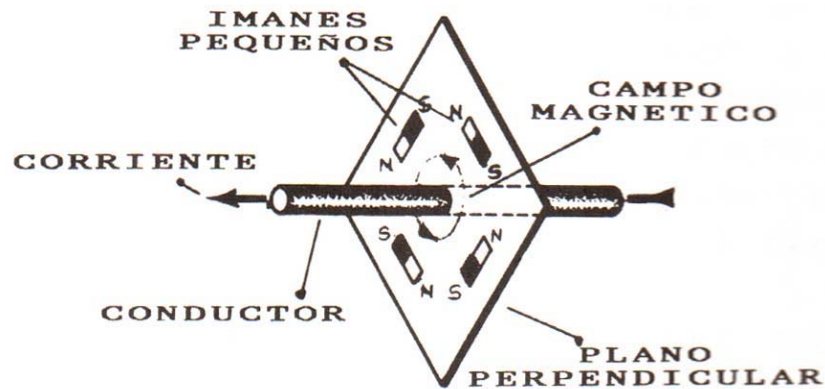


Fig. 2 - Fuerza Magneto Motriz en un imán

De este modo se construye un indicador que corresponde al primer grupo y cuya variante principal es que la bobina fija, que pareciera no existir, es en realidad el conductor al que, por configurar una espira abierta, se lo considera media bobina.

Este sistema, utilizado del modo indicado, es muy sensible a los campos externos y además necesita una fuerza antagónica que haga retornar al imán a la posición de reposo, cuando no circula corriente por el conductor. Ayrton, en 1880, modificó al sistema colocando en el conjunto un campo magnético extra.

Este fue el origen de los indicadores de corriente utilizados en los primeros automóviles Ford y, por ello, conocido como **amperímetro Ford** (Fig. 3). Consiste sencillamente en un conductor por el que circula la corriente a medir, ubicado próximo al imán móvil solidario a la aguja indicadora. El imán móvil posiciona a la aguja en el centro de la escala en virtud del campo magnético extra ideado por Ayrton, y este, al actuar como fuerza antagónica, permite medir **corrientes de diferentes magnitudes y sentidos**.

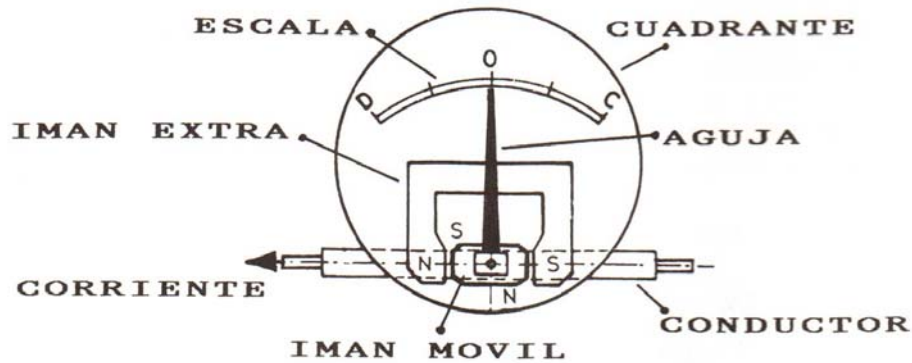


Fig. 3 - Indicador de corriente (Amperímetro Ford)

La forma constructora del indicador de corriente actual (Fig. 4), consiste en disponer al conductor como una **pieza plana** que a su vez sirve de soporte del eje del imán móvil. El eje le permite al imán **rotar** hacia ambos lados de una posición central de reposo, pero limitado en un ángulo inferior en 90 grados para cada lado.

Sujeta al conductor plano se encuentra una pieza de material de alta permeabilidad magnética, colocada de forma tal que completa gran parte del circuito exterior magnético del imán. La función de esta pieza es crear el campo magnético extra del sistema Ayrton y posibilitar además que exista una fuerza antagónica que, por ser de atracción magnética, permite prescindir de los espirales antagónicos o elementos equivalentes.

El resto del circuito magnético anterior, se realiza por el aire en dos partes simétricas y laterales al imán. Estos espacios laterales pueden variarse, acercando o alejando del imán dos lengüetas que pertenecen a la pieza de alta permeabilidad. De este modo se puede regular la fuerza antagónica y ésta es una forma de calibrar estos amperímetros en fábrica.

La desviación del imán móvil se produce por la acción recíproca de los dos campos magnéticos. Uno es el campo producido por la corriente eléctrica que circula por la pieza plana, que depende directamente de la magnitud de dicha corriente y está dado por la ley de Biot-Savart. El otro campo es

el producido por el mismo imán, en el circuito magnético del aire, y su magnitud es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa al imán de las lengüetas magnéticas.

Ambos campos se componen y dan una fuerza resultante que produce el movimiento del imán. Solidario al eje del imán se encuentra la aguja indicadora, que sobre un cuadrante convenientemente graduado permite la lectura de su desviación. .

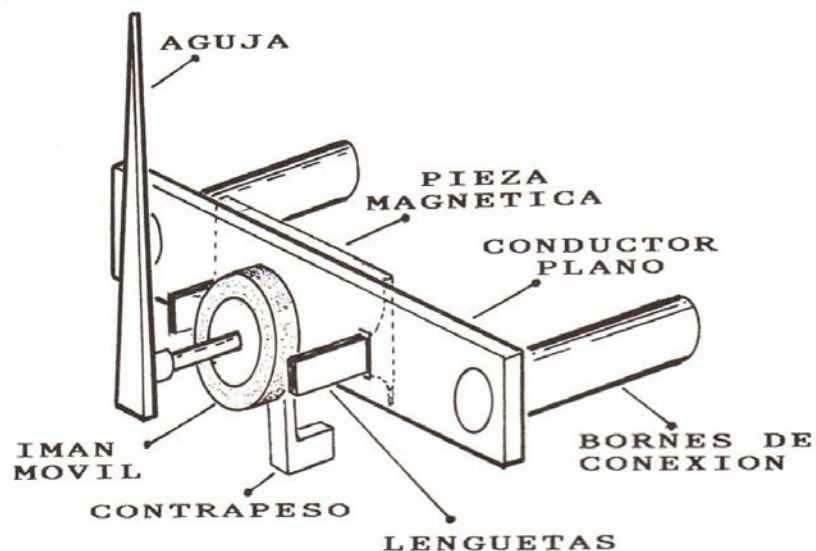


Fig. 4 -Indicador de corriente actual (Amperímetro)

Como se puede deducir de la variación de los correspondientes campos, la desviación de la aguja no sigue una ley lineal, produciéndose primero una expansión y luego una compresión de la escala para ambos lados del valor de reposo central.

Para disminuir esta alineación se coloca, diametralmente opuesto a la aguja, un pequeño contrapeso. Este contrapeso actuará indudablemente cuando el indicador se encuentre en su posición normal de uso.

La función de esta parte es múltiple. Por un lado, actúa compensando



el peso de la aguja de modo de lograr un sistema equilibrado. Por otro, a medida que el contrapeso se aparta de su posición central, va haciendo aumentar la fuerza de retorno a esa posición, produciendo una compresión que compensa el efecto de expansión de la escala, lográndose que esta sea casi lineal en un recorrido total de aproximadamente 90 grados. Por último, se lo dispone de manera de limitar el recorrido de la aguja hasta la zona donde comienza la compresión final de la escala, evitando además, con esta limitación, que el recorrido del imán entre en la zona crítica de reversión.

En este sencillo instrumento, denominado comúnmente amperímetro, el sentido de movimiento de la aguja desde su posición central de reposo, dependerá del sentido de circulación de la corriente por el conductor, permitiendo determinar además de su magnitud, si se trata de carga o descarga de la corriente de la batería del automotor.

Es importante destacar la robustez de este instrumento, que nace de la aplicación de leyes físicas bien determinadas a un elaborado desarrollo industrial, y que le ha dado al amperímetro de uso automotor, una gran popularidad.

2. Indicador de imán móvil y bobina fija

Si al conductor analizado anteriormente y por el cuál circulaba una cierta corriente eléctrica (produciendo fenómenos magnéticos), se lo arrolla, ahora se tiene una bobina. La corriente realizará entonces un recorrido de ida y vuelta durante varias veces. Su efecto magnético, que antes se verificaba en el conductor solo, ahora es acumulativo con cada espira o vuelta que da el conductor, produciéndose un campo magnético varias veces superior al anterior (Fig. 5)

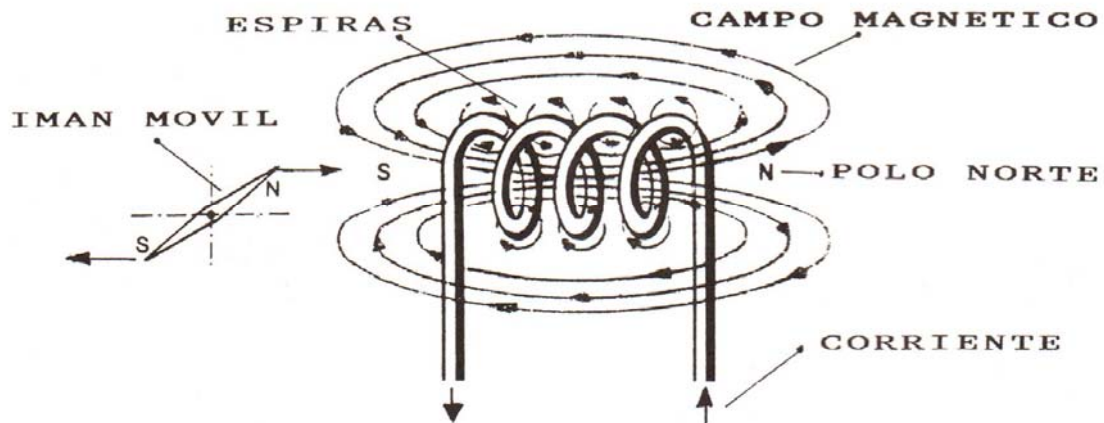


Fig. 5 - Campo magnético producido por una bobina

Una bobina que tenga esta forma producirá, por el efecto acumulativo de los campos magnéticos de cada espira, un campo magnético resultante que la transformará en un imán, con los correspondientes polos en sus extremos. Por ser este imán producto de una corriente eléctrica se lo denomina **electroimán**.

La magnitud del campo magnético producido es directamente proporcional al efecto acumulativo de cada espira. Por lo tanto, aplicando nuevamente la ley de Biot y Savart, obtendremos que el campo magnético de esta bobina depende principalmente, y en forma directa, del producto de la corriente por la cantidad de espiras de la bobina.

Dicho de otra manera, si colocamos un pequeño imán cerca de este arrollamiento y hacemos circular una determinada corriente por él, la fuerza que atraerá o repelerá al imán, denominada Fuerza-Magneto-Motriz, dependerá directamente del valor de dicha corriente multiplicada por la cantidad de espiras de la bobina.

Esta es una forma de obtener, con mayor eficiencia, un sistema indicador. Debido a que con una pequeña corriente que circule por una bobina de gran cantidad de espiras, se logra mover un imán con igual fuerza



que en el sistema de media bobina anterior, en donde era necesario que circulara una corriente varias veces superior para lograr ese movimiento.

Si quisiéramos ser estrictos con este tipo de indicador, deberemos considerar también la incidencia del circuito magnético que vincula al imán con la bobina. Es sabido que la permeabilidad magnética de ciertos metales, tales como el hierro y algunas aleaciones, facilitan la circulación de las líneas de fuerzas ayudando a concentrar el campo magnético de la bobina.

Pero deberá tenerse en cuenta el inconveniente que ocasiona el magnetismo residual de estos materiales, produciendo un resto de campo aunque no exista corriente circulando por la bobina. Por lo tanto, es común que el circuito magnético se realice por el aire que, al no introducir modificación de las líneas de campo, no será necesario considerarlo.

3. Indicador de bobinas cruzadas

Si se construye un instrumento con una sola bobina se tiene la necesidad de disponer de un sistema antagónico (que podría ser un resorte), para que el instrumento vuelva a cero cuando no hay corriente por la bobina, o permanezca en las distintas posiciones de equilibrio correspondientes a cada indicación.

Una forma de crear esta fuerza antagónica es colocar otra bobina desplazada de la anterior, de modo que produzca un campo magnético cruzado con el campo de la primera bobina. Haciendo circular por esta bobina auxiliar una corriente constante e independiente de la primera bobina o bobina de medición, obtendremos una fuerza antagónica a la fuerza

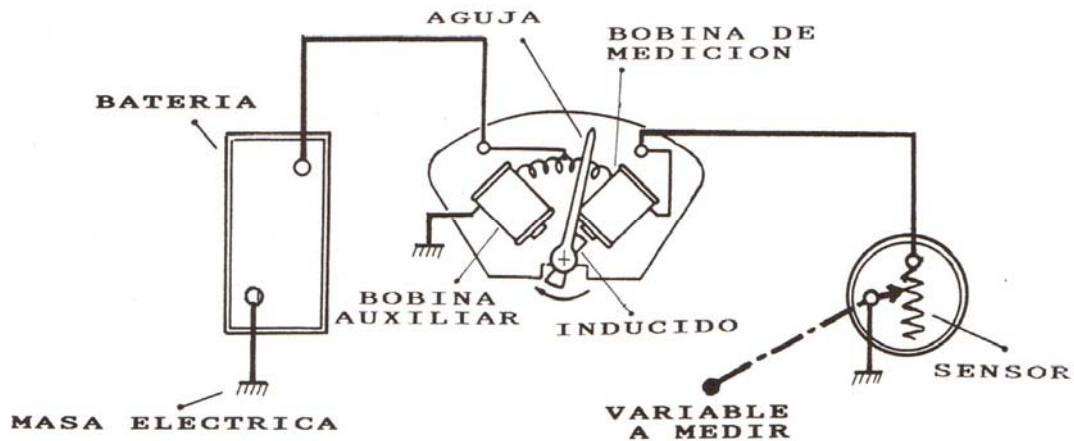


Fig. 6 - Indicador de bobinas cruzadas

Una de las primeras disposiciones físicas de este indicador fue la realizada por Delco-Remy (Fig. 6) en donde las bobinas están realizadas en dos carretes independientes y montadas en un ángulo de aproximadamente 90 grados entre sí. La bobina de medición recibe por un extremo tensión de batería. Por el otro está conectada al sensor, de modo que la corriente circulante (y por consiguiente su campo magnético), aumenta con la disminución de la resistencia del sensor, haciendo desplazar la aguja hacia la derecha. La bobina auxiliar recibe permanentemente la tensión de batería por lo que su corriente circulante (y en consecuencia su campo magnético), es constante y su sentido es tal que hace retornar la aguja a cero.

Nace así el indicador de bobinas cruzadas, que es en realidad un instrumento de campos magnéticos cruzados y compuestos, de modo tal que dan un campo resultante de dirección distinta a los anteriores.

La composición de ambos campos magnéticos puede analizarse en gráficos vectoriales (Fig. 7) observando que se obtiene una resultante que se irá desplazando hacia la derecha a medida que disminuye la resistencia del sensor, produciéndose un movimiento de la aguja proporcional a la variable a medir.

Se observa también en estos gráficos vectoriales que la resultante magnética es, en realidad, un imán virtual que permite a cualquier material magnético orientarse en su dirección. Utilizando esta propiedad, el indicador Delco-Remy no tiene imán móvil y en su reemplazo existe una liviana pieza de hierro en forma de mariposa, que constituye un **inducido** en donde el imán virtual le induce un par de polos magnéticos. Este inducido se orienta entonces según las distintas posiciones que adquiere la resultante magnética.

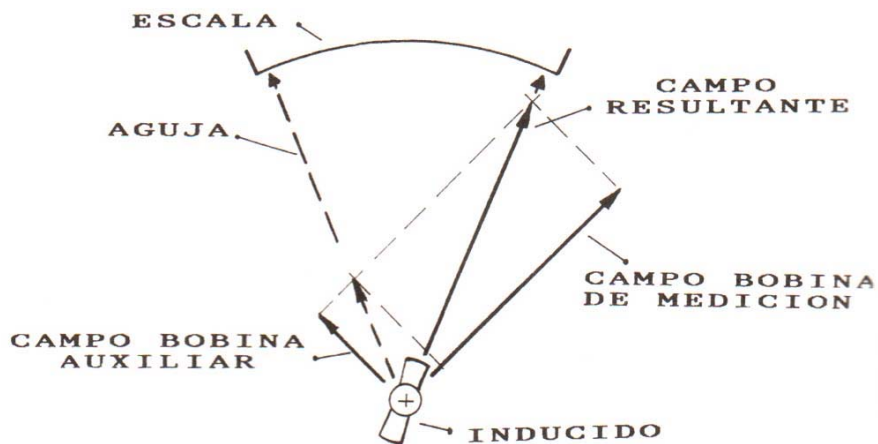


Fig. 7 - Gráfico vectorial de los campos magnéticos

Se indicó que los campos magnéticos en ambas bobinas son proporcionales a la corriente eléctrica que circula por ellas y que, de acuerdo a la ley de Ohm, cuando la resistencia se mantiene constante también son proporcionales a la tensión de alimentación. Esta importante propiedad se aplica en este indicador, observándose en los gráficos vectoriales que si ambos campos magnéticos aumentan o disminuyen en la misma proporción, la resultante cambia de valor pero no modifica su dirección.



La consecuencia es que la aguja no cambia de posición cuando aumenta o disminuye la tensión de batería, posibilitando una indicación constante dentro de una banda de tolerancia de variación de esta tensión.

Evidentemente, hay un **valor mínimo** de tensión debajo del cuál la fuerza del campo magnético será insuficiente para mover al inducido, y habrá un **valor máximo** en donde la corriente producirá la destrucción de los arrollamientos de las bobinas y del sensor.

Pero el diseño de estos indicadores es tal que estos valores mínimo y máximo cubren las fluctuaciones normales de tensión del sistema eléctrico, producidas por las variaciones de carga de la batería y de los distintos consumos de la parte eléctrica del automotor. De este modo, el indicador de bobinas cruzadas tiene la ventaja de no necesitar un sistema regulador de tensión externo.

4. Indicador compacto de bobinas cruzadas

Se dijo que, de acuerdo a la ley de Biot y Savart, la fuerza ejercida en el imán por el campo magnético de la bobina disminuye cuadráticamente a medida que aumenta la distancia que los separa.

También se dijo que, para evitar el magnetismo residual, el circuito magnético se realiza por el aire y no se utiliza ningún material de alta permeabilidad magnética que facilita la circulación de las líneas de fuerza.

Todo esto conduce a que debe mejorarse la utilización de los campos magnéticos producidos por las bobinas, por lo que una primera modificación del indicador tipo Delco-Remy, es introducir la parte móvil dentro de las bobinas por ser este el lugar en donde existe mayor cantidad de líneas de campo magnético (Fig. 8).

La segunda modificación consiste en emplear un imán en lugar del inducido, de modo que el posicionamiento de la parte móvil se realice con más firmeza sobre el imán virtual resultante de los campos magnéticos.

Por otra parte, es conveniente que cuando esté interrumpida la tensión de alimentación, la aguja del indicador repose en el comienzo de su escala. Ello se logra realizando una tercera modificación que consiste en colocar un pequeño imán fijo que ejercerá sobre el imán móvil una atracción hacia la izquierda, actuando como una fuerza antagónica que se compone con la fuerza motriz de la resultante de los campos.

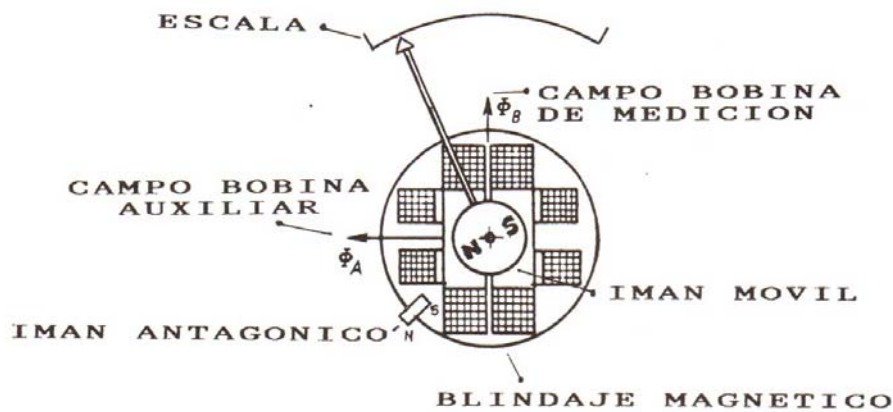


Fig.8 - Indicador compacto de bobinas cruzadas

El aprovechamiento de los campos magnéticos es óptimo, pues el imán se encuentra ubicado en el centro geométrico de ambas bobinas. Como consecuencia, la composición vectorial de estos campos que ahora son máximos, darán una fuerza resultante que también es máxima.

Para lograr aún un mejor aprovechamiento de estos campos, se dispone el conjunto dentro de una caja de chapa de hierro que le brinda una protección adicional. Esto se debe a que actúa como blindaje magnético y evita que el imán resulte atraído o repelido por algún campo magnético externo. Si esto ocurre, al desplazarlo aunque sea levemente, introduce un error en la indicación del instrumento.

Con este diseño se tiene un indicador compacto que conserva las ventajas del sistema de bobinas cruzadas y adquiere la robustez del instrumento de imán móvil y bobina fija, haciéndolo especialmente adecuado para su aplicación en el automotor.

Es interesante analizar ahora el comportamiento que tendrá este instrumento con la combinación de diferentes formas de arrollamientos de sus bobinas, posibilitando de este modo aplicarlo en la medición de distintos tipos de variables.

Observamos que las bobinas están desplazadas exactamente en un ángulo de 90 grados entre sí y producen campos magnéticos en direcciones ortogonales. La magnitud y sentido de estos campos dependen de la cantidad de espiras de las bobinas y de la forma como fueron arrolladas (Fig. 9).

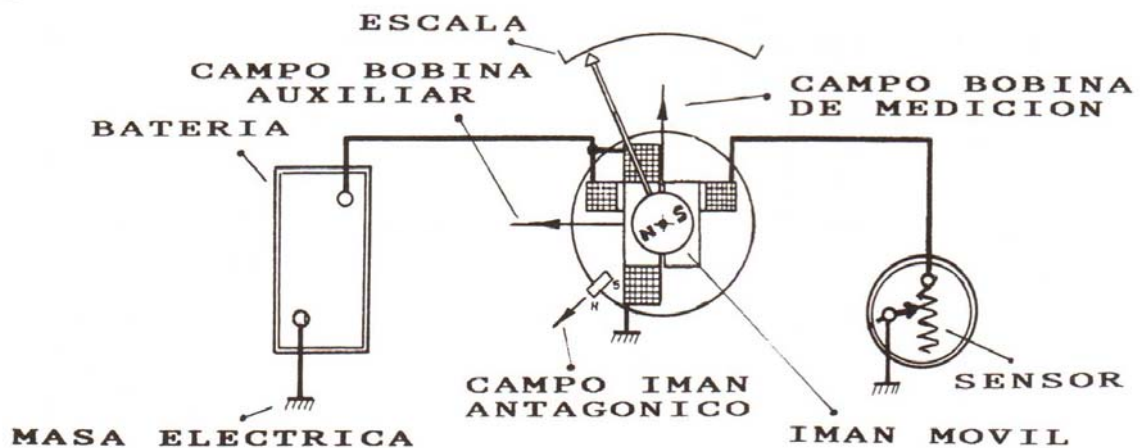


Fig. 9 - Indicador eléctrico de temperatura

Por ejemplo, cuando se requiere **medir Temperatura** y se utiliza un sensor cuya resistencia disminuye con el aumento de dicha variable a medir, los campos producidos por la Bobina Auxiliar, por la Bobina de Medición y por

el imán Antagónico, se componen vectorialmente dando un Campo Resultante cuya magnitud y principalmente su dirección va cambiando en función directa con el Campo de la Bobina de Medición (Fig. 10).

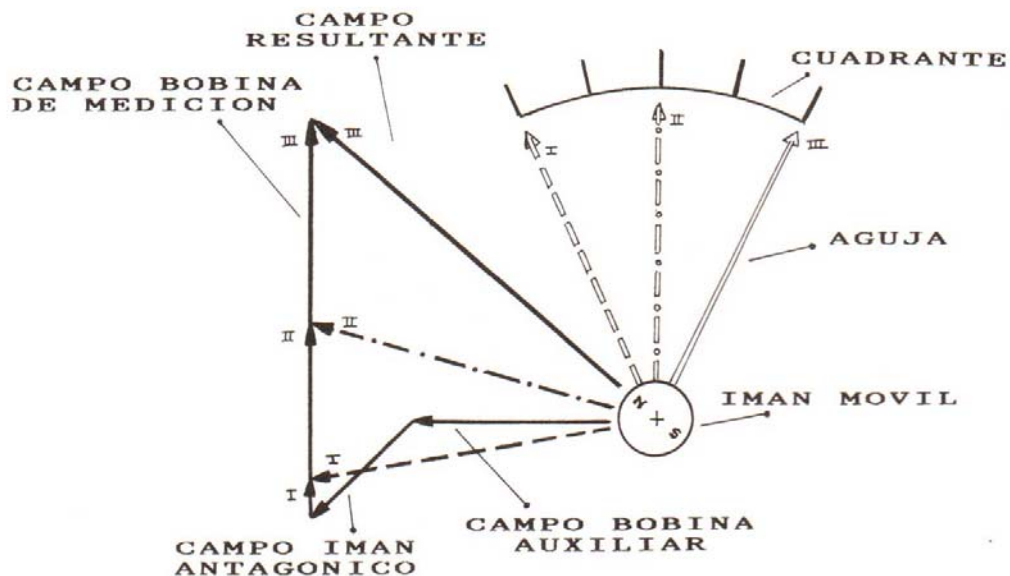


Fig. 10 - Vectores del indicador de temperatura

El Imán Móvil se ubicará entonces en coincidencia con la dirección del Campo Resultante, arrastrando a la aguja a las distintas posiciones de indicación sobre el cuadrante.

Surge de la observación del diagrama vectorial, que la aguja se desplazará hacia la derecha del cuadrante a medida que aumenta el campo en la Bobina de Medición y esto, de acuerdo a la ley de Ohm, ocurre cuando la resistencia del sensor disminuye. Es decir, cuando la temperatura aumente.

Se logra de esta manera un **Indicador Eléctrico de Temperatura o Termómetro Eléctrico**.

Pero se observa que tanto en el Indicador tipo Delco-Remy, como en el analizado recién, el ángulo barrido por la aguja (es decir el limitado por los extremos del Cuadrante), es relativamente pequeño, por lo que la lectura de las distintas magnitudes de la variable puede resultar dificultosa.

Una forma de lograr un mayor ángulo de barrido de la aguja es colocar una tercera bobina que estará conectada de modo que le circule la misma corriente que por la Bobina de Medición (Fig. 11). Esta Bobina tendrá un sentido de arrollamiento y una cantidad de espiras tal, que producirá un desplazamiento del campo de la Bobina de Medición desde su posición ortogonal hacia valores mayores de 90 grados respecto de la Bobina Auxiliar.

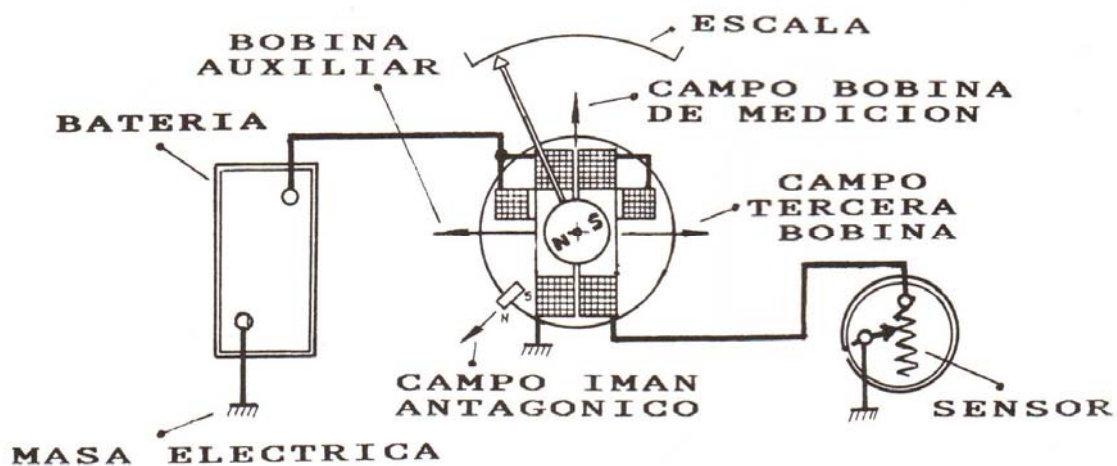


Fig. 11 - Indicador de temperatura con tercera bobina

Realizando ahora la composición vectorial de los campos (Fig. 12) obtenemos el Campo Resultante, el que tomará direcciones extremas más alejadas que en el caso anterior, pero sin que su magnitud adquiera valores elevados.

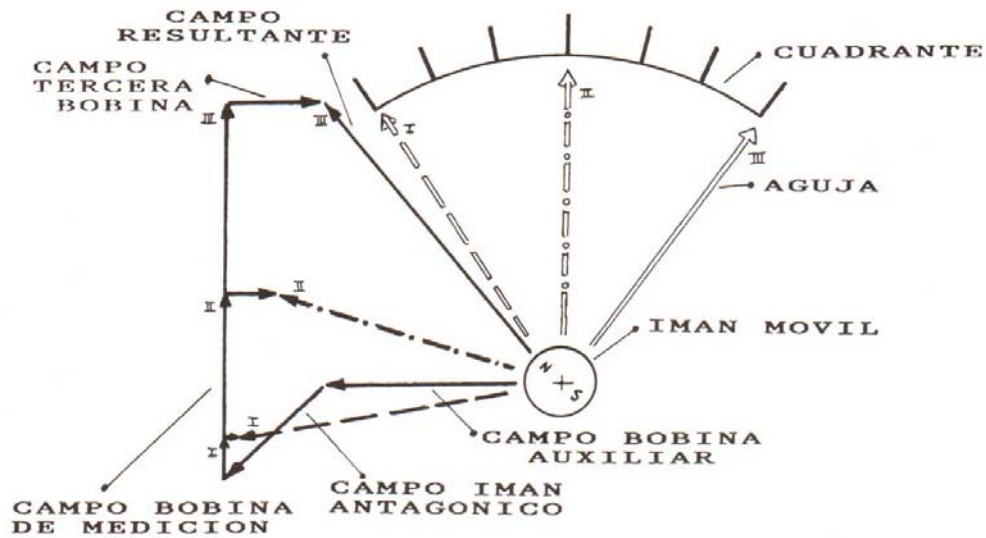


Fig. 12 - Vectores del indicador con tercera bobina

Si comparamos este diagrama vectorial con el anterior observamos que el Campo Resultante cumple lo antedicho al recorrer un ángulo mayor para los mismos valores extremos de corriente en la Bobina de Medición. Efectivamente, la suma vectorial del campo de esta tercera bobina a los campos anteriores, da como resultado una mayor separación entre las posiciones extremas del Campo Resultante y, además, un menor valor promedio de su magnitud, lo que produce una fuerza más uniforme sobre el Imán Móvil en todo su recorrido.

*Este perfeccionamiento conduce entonces a un **Indicador Eléctrico de Temperatura** que tiene un cuadrante de buena lectura, por ser de mayor amplitud, y una aguja con fuerza de posicionamiento casi constante en todo su desplazamiento sobre dicho cuadrante.*



Cuando interesa medir **Nivel de Combustible** o **Presión de Aceite** por medio de un Indicador Eléctrico, los sistemas pueden ser distintos según el tipo de sensor utilizado. Para este análisis preliminar dividiremos a estos en dos grandes grupos.

Tipo de Sensor	Sentido de variación de la resistencia respecto de la variable	Disposición de las bobinas respecto del indicador de Temperatura
Negativo	Disminuye	Sentido similar
Positivo	Aumenta	Sentido inverso

Existen sensores cuya resistencia disminuye con el aumento de la variable a medir. Es decir se trata de sensores que al incrementarse el nivel de combustible o la presión de aceite, su resistencia interior irá disminuyendo en correspondencia con el aumento de la magnitud que se quiere medir.

En este caso, la disposición de los arrollamientos de cada una de las bobinas de este indicador, es similar a la utilizada en el caso anterior, por ser del mismo tipo que la variación de resistencia del sensor de temperatura. Por lo tanto en el diagrama vectorial, los campos magnéticos pueden ser de distinta magnitud pero estarán representados en igual disposición que en el caso del indicador de temperatura eléctrico.

Hay otro tipo de sensores cuya resistencia aumenta con el aumento de la variable a medir. En este caso se invierte la disposición de los arrollamientos de modo tal que el desplazamiento de la aguja indicadora se efectúa ahora en sentido inverso, es decir, avanzando hacia la derecha con el aumento de resistencia. O lo que es lo mismo y de acuerdo a la ley de Ohm, con la disminución de la corriente y, consecuentemente, de los campos magnéticos de la bobina de medición y de la tercera bobina.

Pero dentro de los dos tipos anteriores, hay sensores cuyo intervalo de variación es muy pequeño o su valor de resistencia es demasiado bajo para producir un campo magnético confiable dentro del indicador de bobinas cruzadas. Por lo tanto, ya no es suficiente variar solamente el campo magnético de la bobina de medición, sino que es necesario actuar también sobre otro campo para lograr un adecuado campo resultante.

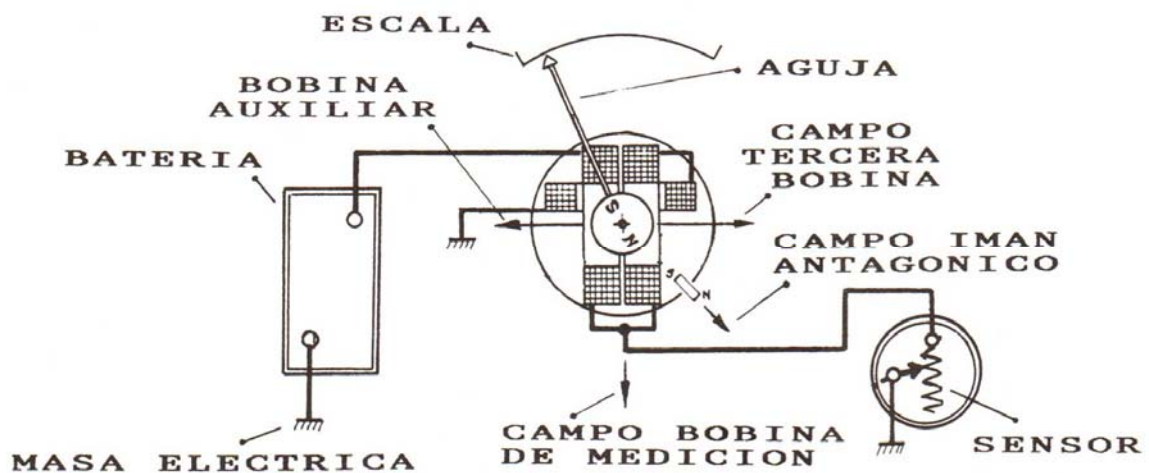


Fig. 13 - Indicador para baja variación del sensor

Para este caso se hace imprescindible modificar la disposición de las bobinas y su conexión (Fig. 13), para lograr un efecto acumulativo de modo tal que cuando aumente el campo de la bobina auxiliar, simultáneamente disminuyan los campos de la bobina de medición y de la tercera bobina, e inversamente (Fig. 14).

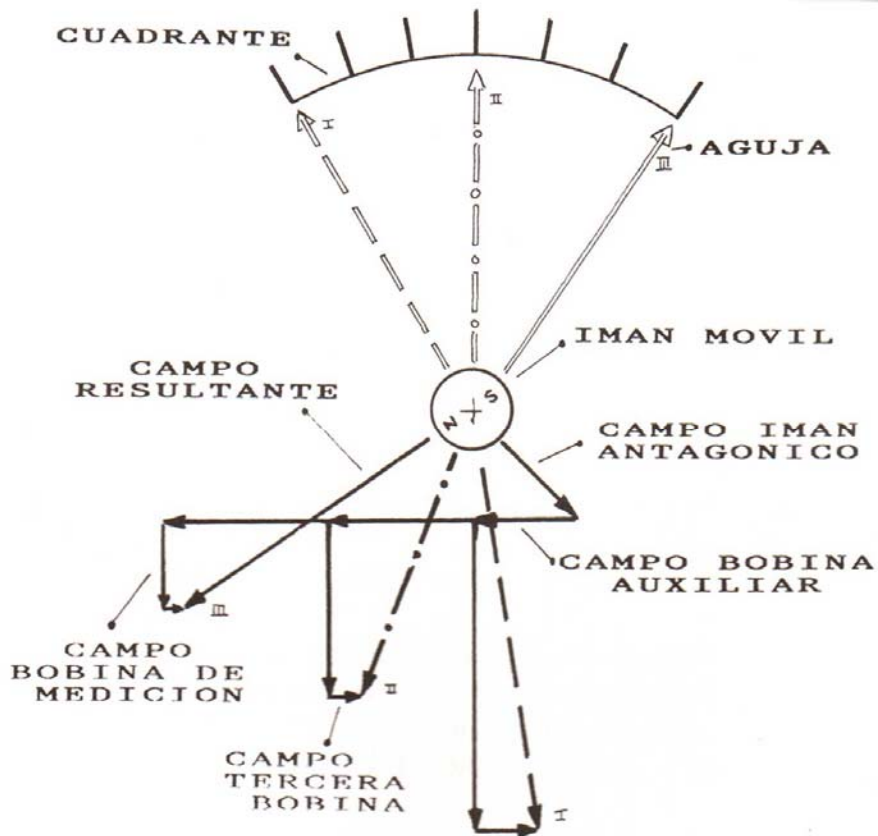


Fig. 14 - Vectores del indicador con baja variación del sensor

Esta disposición de bobinas se aplica principalmente en los indicadores de nivel de combustible y de presión de aceite que utilizan sensores de bajo valor resistivo. Sin embargo, hay algunos sensores de temperatura cuya resistencia eléctrica es también de bajo valor, por lo que sus correspondientes indicadores de temperatura aplican necesariamente la misma disposición constructiva.

Todos los indicadores de bobinas cruzadas analizadas hasta el momento, **utilizan necesariamente sensores** para poder realizar la medición de las variables indicadas.



Pero cuando la variable ya es eléctrica, como en el caso de medir intensidad de corriente o tensión eléctrica, no es necesario utilizar sensor alguno y la conexión del indicador se realiza directamente al circuito eléctrico.

El instrumento será de similar construcción física pero los arrollamientos de las bobinas adquieren ahora configuraciones que difieren de las analizadas anteriormente.

En el caso del indicador de intensidad de corriente eléctrica (**amperímetro**), se emplean solo dos bobinas cruzadas (Fig. 15), ambas arrolladas con igual cantidad de espiras y dispuestas de modo tal que el campo resultante, se encuentra desplazado 90 grados del campo del imán antagónico. Su magnitud es proporcional a la corriente que atraviesa por las bobinas y su sentido depende del sentido de circulación de la corriente eléctrica.

Pero debido a que la corriente necesaria para producir este campo resultante, es mucho menor que la que habitualmente circula por el circuito eléctrico del automotor, se hace imprescindible disponer de un camino derivador del excedente de corriente para no destruir al indicador. Para ello se conecta en paralelo con los arrollamientos, una resistencia derivadora, adecuadamente calculada para esta función y denominada comúnmente "shunt", que suele estar ubicada lejos del indicador y cerca de la batería y sus consumos principales.

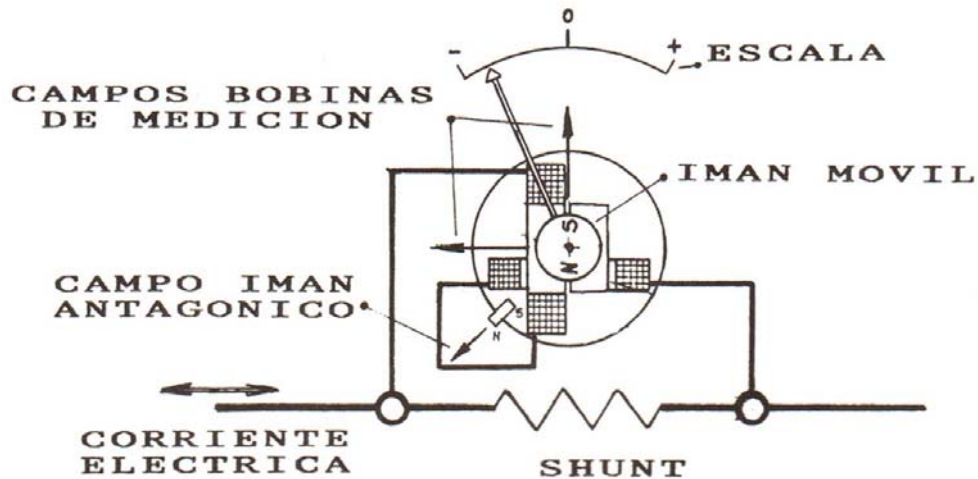


Fig. 15 - Indicador de corriente de bobinas cruzadas

Cuando no circula corriente por las bobinas, el campo del imán antagonístico ubica a la aguja en el centro del cuadrante en donde se indica el cero de la escala.

Al circular corriente los campos producidos variarán en forma proporcional, debido a que ambas bobinas se encuentran conectadas en serie obteniéndose el campo resultante por la composición vectorial de los tres campos magnéticos. Se observa que los campos de las bobinas de medición tendrán sentido dependiente del sentido de la corriente que atraviesa por las bobinas y por lo tanto dando una resultante que moverá a la aguja hacia ambos lados de su posición central de cero.

Se tiene así un **amperímetro** que en forma similar al modelo de imán móvil y media bobina, indica la magnitud de la corriente eléctrica y su sentido de circulación, con la ventaja adicional de que la elevada corriente del circuito eléctrico del automotor, al no circular por largos conexiones, evita pérdidas de tensión, y al no hacerlo por el habitáculo de conducción, suprime los riesgos propios del posible recalentamiento de los conductores.

Cuando la variable a medir es la tensión del sistema eléctrico del automotor, se emplea el indicador de tensión de batería, denominado comúnmente “voltímetro”, el que se lo construye también con dos bobinas cruzadas (Fig. 16). Estas bobinas son de mayor cantidad de espiras que en el caso del amperímetro, y están igualmente dispuestas de modo que el campo resultante se encuentre también desplazado 90 grados del campo del imán antagónico y de magnitud proporcional a la corriente circulante por las bobinas.

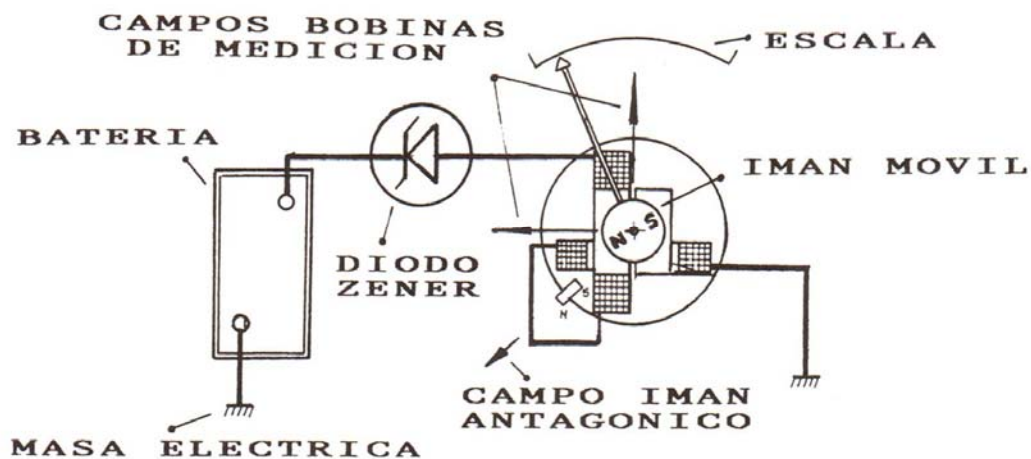


Fig. 16 - Indicador de tensión de bobinas cruzadas

Del mismo modo que en los casos anteriores, esta corriente produce los correspondientes campos magnéticos, y aplicando la ley de Ohm a la resistencia constante de las bobinas, la corriente resulta proporcional a la tensión aplicada y por consecuencia los campos magnéticos que producen el movimiento de la aguja, serán ahora dependientes de la tensión.

Por otra parte, se requiere que el instrumento indique sólo en la gama de tensiones de aplicación. Es decir, que no es necesario conocer tensiones

muy bajas y no tiene objeto para este caso, que el indicador se inicie en cero volts. Para que el voltímetro no indique los valores iniciales se intercala en serie con las bobinas un **Diodo Zener**, el que tiene la propiedad de permitir el paso de la corriente cuando la tensión en sus terminales supera su valor nominal. Así por ejemplo, si el Diodo Zener intercalado es de valor nominal 10 volt, recién cuando la tensión aplicada supere este valor la corriente comenzará a circular por las bobinas y a partir de esa tensión la aguja iniciará su movimiento.

*Se tiene de este modo un **voltímetro**, de escala ampliada en la zona donde se requiere conocer con detalle los valores de tensión del sistema eléctrico, hecho que facilita la lectura de este indicador.*

4. Indicador de bobina móvil e imán fijo

A este grupo de indicadores, que también utilizan los mismos principios electromagnéticos enunciados anteriormente, pertenece una amplia gama de instrumentos que tienen importantes aplicaciones en el campo de las mediciones eléctricas, llegando a ocupar el primer lugar dentro de los instrumentos de tipo analógico (Fig. 17).

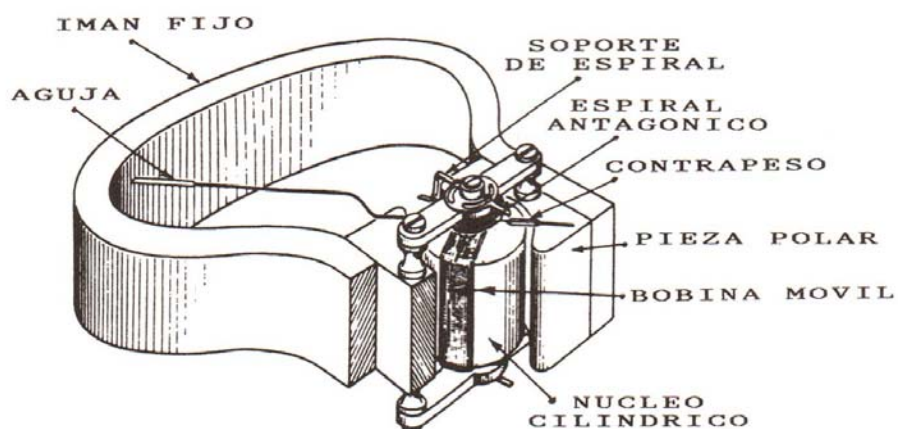


Fig. 17 - Indicador de Bobina Móvil e Imán Fijo

Las características principales de estos indicadores son su elevada sensibilidad que permite medir corrientes muy débiles; su linealidad casi perfecta, que minimiza los errores de indicación en toda su escala; y actualmente su construcción compacta, obtenida por el uso de potentes imanes permanentes y elevadas técnicas de fabricación.

El **imán permanente** es el elemento de mayor volumen y peso de este indicador. Su campo magnético (Fig. 18) se conduce a través de dos piezas polares de material magnético y forma cóncava, hacia un núcleo cilíndrico también de material magnético. De esta manera se forma una separación de dimensión constante, por donde se moverá la bobina móvil cortando las líneas de campo magnético allí presente.

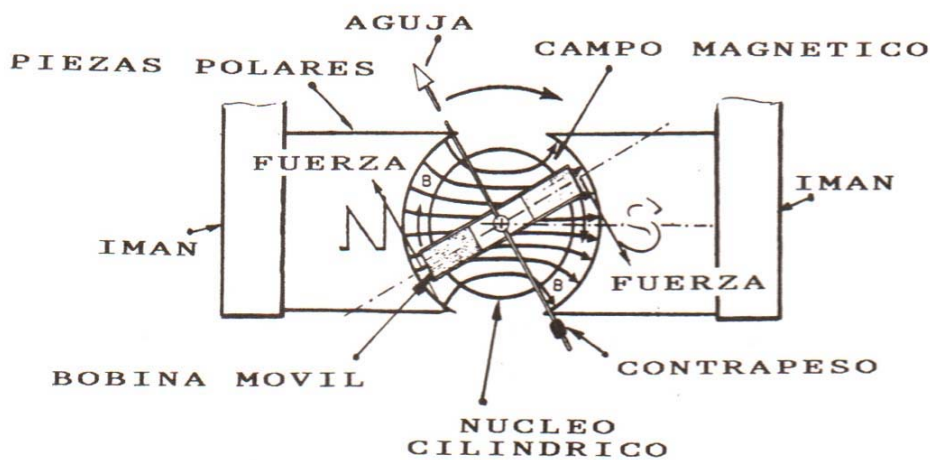


Fig. 18 - Campo magnético y fuerzas sobre la bobina móvil

La magnitud y sentido de la fuerza que actúa sobre los lados de la bobina móvil que están ubicados dentro de la separación de las **piezas polares**, depende directamente de la corriente circulante por la bobina, de su cantidad de espiras y del campo magnético que produce el imán

permanente. Estos tres factores son los elementos principales de la **cupla motora** de la bobina móvil.

La bobina móvil (Fig.19) está bobinada sobre un marco de aluminio al que están fijadas, en oposición una de otra, las puntas de los ejes. En el eje superior se fija la aguja indicadora, la que se contrapesa para evitar que su peso introduzca error en la indicación.

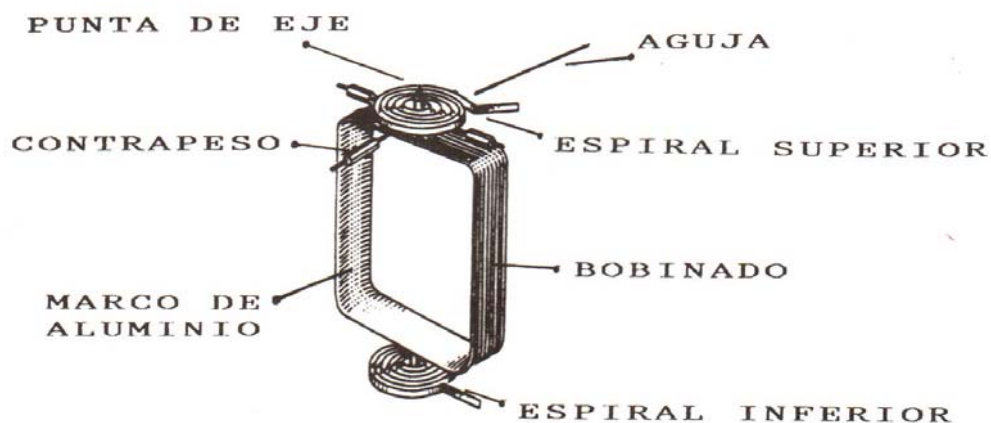


Fig. 19 - Bobina móvil y partes móviles del indicador

Cercano a las puntas de los ejes pero aislados de ellos, se colocan **dos espirales** de bronce fosforoso que tienen dos finalidades: una es la **conexión eléctrica** de la bobina móvil al circuito exterior, y la otra, producir la **cupla antagónica**.

Es importante destacar que la cupla antagónica producida por las espirales tiene una doble función. Por un lado, lleva la aguja al inicio de la escala cuando por la bobina móvil no circula corriente. Y por otro, cuando circula corriente por la bobina móvil se le opone a la cupla motora, aplicando una fuerza creciente con la rotación y de sentido contrario a la fuerza ejercida por la bobina móvil.



Se cumple aquí también, como en otros instrumentos, que la posición en la cual se detiene la parte móvil y consecuentemente la indicación de la aguja, es aquella en donde la cupla motora es igual a la cupla antagónica, cuplas que por ser opuestas dan, al componerse, una **cupla resultante** igual a cero.

Debido a que tanto la cupla motora como la antagónica son relativamente débiles, se debe procurar que el efecto de rozamiento de las puntas de los ejes no frene al desplazamiento de la bobina móvil. La calidad de este instrumento está condicionada, en parte, a la construcción de estas piezas mecánicas.

Con el desarrollo de imanes más potentes y mejores materiales magnéticos se ha hecho posible el diseño de circuitos magnéticos en donde el imán se ubica en el núcleo cilíndrico central (Fig.20).

La utilización de imanes de elevada potencia tiene la ventaja de generar intensos campos magnéticos dentro del indicador, que resultan inertes a campos externos, eliminando el error de indicación que podría ser causado por la interferencia de otros campos cercanos.

Por otra parte, la carcasa externa al conducir la casi totalidad de las líneas de campo producidas por el imán, evita la dispersión del flujo magnético hacia el exterior creando un auto-blindaje que tiene la doble función de proteger al campo interior y evitar la influencia de este campo en elementos cercanos al indicador.

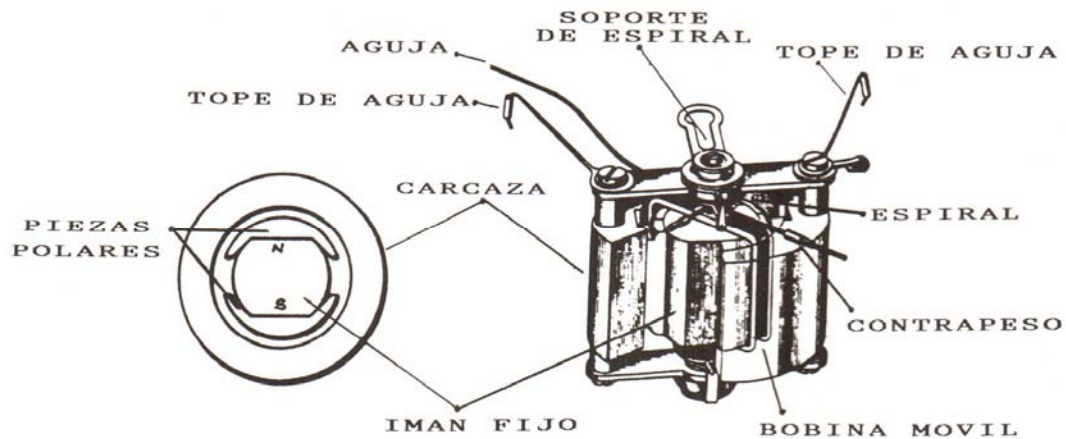


Fig. 20 - Indicador con imán fijo central

El reducido tamaño, el escaso peso y su particular auto-blindaje ha generalizado la aplicación de este indicador en instrumentos de uso general, y en particular en tableros indicadores en donde una gran cantidad de instrumentos deben montarse en estrecha proximidad, sin que se afecten las indicaciones de unos y de otros.

Pero en las disposiciones vistas hasta ahora la bobina móvil puede girar solamente en un ángulo que generalmente no supera los 100 grados. Sin embargo, en ciertos indicadores de uso automotor se requieren recorridos mayores con el objeto de lograr que la apreciación de las magnitudes medidas pueda hacerse dentro de una amplia gama de valores.

Así ocurre, principalmente, cuando se requiere conocer la velocidad de rotación. En estos casos es necesario que en el instrumento se pueda leer con igual precisión, tanto valores muy bajos de la variable, como valores altos.

No puede entonces, utilizarse aquí un instrumento indicador de escala ampliada como es el voltímetro, porque en este caso no habrá lectura en toda la escala. Ni tampoco un instrumento de escala expandida como es el indicador térmico y algunas disposiciones de bobinas cruzadas, porque la aguja

no se desplazará ángulos iguales para iguales cantidades de variación de la variable.

Por lo tanto cabe aquí solo el **instrumento de escala lineal completa**, y esto se consigue con un indicador de bobina móvil é imán fijo, pero ahora con otra disposición de componentes de modo tal que sin cambiar el principio de funcionamiento ni la función de cada parte, se logre mayor recorrido de la aguja indicadora (Fig. 21).

Se obtiene así un **ángulo de desviación** muy grande, cercano a los **300 grados**, y a su vez se lo diseña fortaleciendo su mecanismo con el objeto de que este instrumento soporte las condiciones de vibración del vehículo, pero simplificando su construcción y, consecuentemente, su costo.

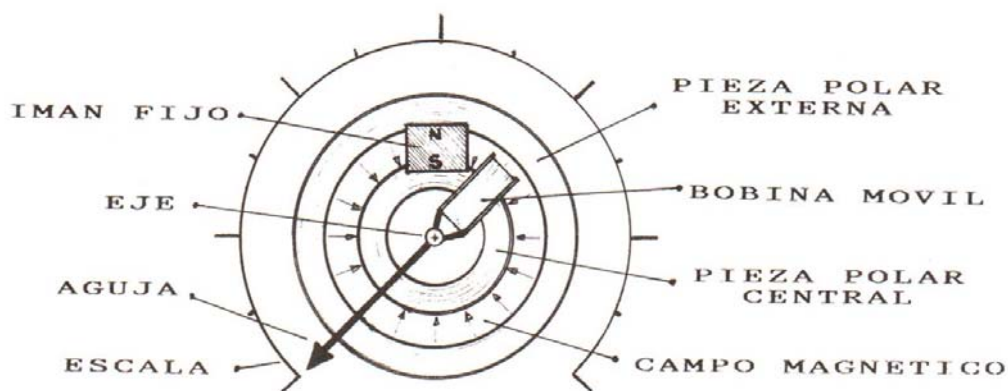


Fig. 21 - Indicador de $\frac{3}{4}$ de círculo de recorrido

La ventaja de utilizar un imán permanente fijo es que este puede aumentarse en tamaño y, por consiguiente, en potencia, de modo mucho más elevado que en el caso anterior en donde el imán es móvil. Pero por otra parte, la bobina móvil se convierte ahora en la parte débil del sistema al tener que girar libremente y a la vez recibir corriente por las dos espirales.



Orlan Rober. Since 1958

Por tal motivo, estos indicadores, pese a sus ventajas y un recorrido de aproximadamente 3/4 de círculo, no son de aplicación general en la medición de variables en el automotor, debido a su fragilidad frente a las vibraciones del vehículo y también a la necesidad de disponer de circuitos transductores previos que encarecen al instrumento.

Su aplicación típica es la medición de **revoluciones de rotación**, tanto en el **Tacómetro Electrónico** como en el **Velocímetro Eléctrico**, en donde se hace necesario utilizar circuitos electrónicos previos para convertir los pulsos eléctricos provenientes del sensor de rotación en corriente medible por este indicador.