

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Reología.

La Reología es la ciencia de la deformación y flujo de la materia.

El término Reología fue introducido por Eugene Bingham, profesor de la Universidad de Lehigh, en 1920, por una sugerencia de Markus Reiner, inspirado por la famosa expresión de Heraclito *'panta rhei'* que quiere decir *'todo fluye'*.

Esta rama estudia las propiedades mecánicas de los gases, líquidos, plásticos, sustancias asfálticas, materiales cristalinos y fluidos No Newtonianos en general. Estos materiales son incapaces de soportar un esfuerzo cortante en equilibrio estático. En este sentido, por ejemplo, un sólido plástico es un fluido.

Debido a lo anterior, es conveniente considerar a la Reología como *la descripción de un conjunto de comportamientos* en lugar de la descripción de un conjunto de materiales.

TABLA 1

Areas de Estudio de la Reología

| | | | |
|-----------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------|
| Mecánica del Continuo | Mecánica de Sólidos | Elasticidad | |
| | | <i>Plasticidad</i> | <i>Reología</i> |
| | Mecánica de Fluidos | <i>Fluidos No Newtonianos</i> | |
| | | Fluidos Newtonianos | |

La Reología tiene aplicaciones importantes en Ingeniería, Geofísica y Fisiología.

1.2. Compuestos.

Los compuestos son materiales que aprovechan las propiedades de dos o más materiales (metales, cerámicos y plásticos) que, al ser combinados (insolublemente) y unidos de ciertas maneras y en proporciones adecuadas, forman un nuevo material con propiedades diferentes a las de los constituyentes. Así, pueden lograrse combinaciones de propiedades que son difíciles de

obtener en materiales convencionales. Generalmente, los constituyentes se combinan en dos fases tal que las debilidades de uno de ellos se compensan con las fortalezas del otro, mejorando el desempeño global.

Un compuesto puede ser 'inteligente' si se introducen materiales 'inteligentes' en su estructura, ya sea como aparatos o en fibras. Un material inteligente es un material estructural que intrínsecamente (por su microestructura) tiene la capacidad de actuar, sentir y controlar. Similarmente, un sistema o estructura inteligente es un ensamble que presenta las mismas características, mediante la combinación de dos o más materiales. Un sistema inteligente incluye sensores y actuadores, los cuales producen cambios de forma, características mecánicas, posición o frecuencia natural cuando hay un cambio de temperatura, de campo magnético o eléctrico, y procesadores de tiempo real, que pueden controlar el sistema. Por lo tanto, los materiales compuestos inteligentes son compuestos capaces de sensor cambios en el medio circundante y responder a ellos de una manera predeterminada.

1.3. Materiales Inteligentes.

Los materiales inteligentes, denominados también multifuncionales, son aquellos que tienen la capacidad de cambiar sus propiedades mecánicas o físicas en presencia de un estímulo concreto.

Aunque todavía no existe un consenso sobre los límites exactos entre los materiales inteligentes y los que no lo son, existe un acuerdo en cuanto a ciertas características que deben presentar las estructuras inteligentes, las cuales son:

- De manera intrínseca o embebida, presentan sensores de reconocimiento y medida de la intensidad del estímulo ante el que reaccionará el material;
- Presentan actuadores, embebidos o intrínsecos, que responden ante dicho estímulo;
- Para controlar la respuesta de una forma predeterminada presentan mecanismos de control y selección de la respuesta;
- El tiempo de respuesta es corto;
- El sistema regresa a su estado original tan pronto como el estímulo desaparece.

Teniendo en cuenta lo anterior, se define al sistema o material inteligente como aquel que presenta sensores, actuadores y

mecanismos de control, intrínsecos o embebidos, por los cuales es capaz de sentir un estímulo, de responder ante él de una forma predeterminada en un tiempo apropiado y de volver a su estado original tan pronto como el estímulo cesa.

Los materiales inteligentes más comunes se clasifican en:

- Materiales con memoria de forma.
- Materiales electro y magnetoactivos.
- Materiales foto y cromosactivos.

Para propósitos de la presente tesis, se procederá únicamente a definir los materiales electro y magnetoactivos.

1.3.1. Materiales electro y magnetoactivos.

Estos materiales experimentan cambios en sus propiedades físicas ante la presencia o aplicación de un campo eléctrico o magnético.

Entre estos materiales se encuentran los fluidos inteligentes. Dichos fluidos presentan la capacidad de cambiar su viscosidad aparente en presencia de un estímulo externo. Se dividen en dos categorías

dependiendo de la naturaleza del estímulo al que responden, mediante un cambio en sus propiedades reológicas.

Efecto Electrorreológico es el cambio reversible de las propiedades reológicas de un fluido debido a la aplicación de un campo eléctrico. Estos fluidos suelen clasificarse en dos tipos: fluidos formados por partículas dispersas, y fluidos homogéneos. En el primer caso, el más común, se acepta que el origen de la respuesta electrorreológica es debido a la agregación de las partículas en suspensión provocada por la polarización de los materiales. Acerca de los fluidos homogéneos, éstos se comportan de igual manera que los anteriores; pero, gracias a la ausencia de partículas, pueden llegar a ser de gran utilidad para la microtecnología permitiendo mayores miniaturizaciones.

Los **Materiales Magnetorreológicos** son aquellos cuyas propiedades reológicas pueden ser variadas mediante la aplicación de campos magnéticos. En general, un material Magnetorreológico (MR) se compone de partículas micrométricas magnéticamente permeables suspendidas en un medio no magnético. Bajo el campo magnético se

produce una polarización inducida sobre las partículas suspendidas, de manera que se forman estructuras con forma de cadena debido a la interacción entre los diferentes dipolos inducidos. Estas estructuras restringen la movilidad del fluido y, consecuentemente, se incrementa la viscosidad y se desarrolla una resistencia en la suspensión. Cuanto mayor sea el campo magnético aplicado, mayor será la energía mecánica necesaria para romper dichas estructuras; es decir, se genera una resistencia dependiente del campo.

1.3.2. ¿Son inteligentes los Materiales Inteligentes?.

El desarrollo de materiales nuevos contribuye al avance tanto de la ciencia como de la tecnología; por lo cual, las estructuras inteligentes juegan un papel importante.

Las aplicaciones potenciales de los sistemas inteligentes son extensas, por lo que han despertado el interés en los campos industriales, militares, comerciales, médicos, automotores y aeroespaciales.

Pero, para demostrar que los Materiales Inteligentes son inteligentes es necesario seguir investigando, experimentando y cubriendo los campos interdisciplinarios involucrados.

1.4. Electromagnetismo.

El Electromagnetismo es la ciencia que estudia los campos combinados de electricidad y magnetismo. Las leyes que rigen estos campos desempeñan un papel fundamental en la operación de todo tipo de equipos, desde radios, televisores, motores y computadoras, hasta aceleradores de alta energía y dispositivos electrónicos usados en medicina, entre otros.

Ciertos documentos ancestrales encontrados en China muestran que el magnetismo se conoció, aproximadamente, desde el año 2000 a.C. Los antiguos griegos observaron los fenómenos eléctricos y magnéticos en los años 600 a.C., cuando Tales de Mileto descubrió que al frotar un pedazo de ámbar, éste se electrificaba y atraía pedazos de paja o plumas. De aquí, que la palabra **eléctrico** proviene de la palabra griega **electrón** que significa ámbar.

La existencia de las fuerzas magnéticas se conoció al observar que pedazos de una piedra que existe en la naturaleza, llamada Magnetita (Fe_3O_4), son atraídos por el hierro.

En 1600, William Gilbert comprobó que la electrificación no se limitaba al ámbar, sino que era un fenómeno general. Los experimentos de Charles Coulomb en 1785 confirmaron los postulados de la ley que lleva su nombre.

La electricidad y el magnetismo se desarrollaron como dos ciencias independientes entre sí; hasta que a principios del siglo XIX los científicos determinaron que son fenómenos relacionados. En 1820, Hans Oersted descubrió que la aguja de una brújula se desviaba cuando se encontraba cerca de un circuito que conducía una corriente eléctrica. En 1831, el estadounidense Joseph Henry y el inglés Michael Faraday demostraron, casi simultáneamente, que cuando un alambre se mueve cerca de un imán, o viceversa, se establece una corriente eléctrica en el alambre.

En 1873, James Clerk Maxwell apoyado en las observaciones de Henry y Faraday, y de otros hechos experimentales, formuló las **Leyes del Electromagnetismo**. Estas leyes, conocidas como **las**

ecuaciones de Maxwell, son fundamentales para todas las formas de fenómenos electromagnéticos, y son tan importantes como las leyes de Newton del movimiento y de la gravitación. En 1888, Heinrich Hertz comprobó las predicciones de Maxwell al producir ondas electromagnéticas en el laboratorio. Esto contribuyó al desarrollo de la radio y de la televisión.

1.4.1. Nociones de Electricidad

A continuación se definirán ciertos parámetros esenciales en el estudio de esta ciencia.

Carga Eléctrica (Q): Es una partícula cargada eléctricamente. Hay dos tipos de cargas en la naturaleza: positivas y negativas. Las cargas diferentes se atraen entre sí; y las cargas similares se rechazan unas a otras. La unidad de la carga eléctrica en el Sistema Internacional es el *Coulomb (C)*.

Potencial Eléctrico o Voltaje (V): El potencial eléctrico en un punto arbitrario es igual al trabajo requerido por unidad de carga para llevar una carga de prueba positiva desde el infinito hasta ese punto. Es decir, el voltaje representa la

diferencia de potencial entre un punto arbitrario y un punto en el infinito. La unidad del voltaje en el Sistema Internacional es el *Voltio (V)*:

$$1\text{ V} \equiv \frac{1\text{ J}}{1\text{ C}} \quad (1.1)$$

Es decir, 1 Joule de trabajo debe efectuarse para llevar una carga de 1 Coulombio a través de una diferencia de potencial de 1 Voltio.

Corriente Eléctrica (I): Es la tasa a la cual fluyen cargas eléctricas de igual signo por una superficie perpendicular. La unidad de la corriente en el Sistema Internacional es el *Amperio (A)*:

$$1\text{ A} \equiv \frac{1\text{ C}}{1\text{ s}} \quad (1.2)$$

Esto significa que 1 Amperio de corriente es equivalente a 1 Columbio de carga que pasa por el área de la superficie en 1 segundo.

Resistencia (R): Es la razón entre la diferencia de potencial a través del conductor y la corriente:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.3)$$

La unidad de la resistencia en el Sistema Internacional es el *Ohmio* (Ω):

$$1\Omega \equiv \frac{1\text{V}}{1\text{A}} \quad (1.4)$$

Es decir, si una diferencia de potencial de 1 Voltio a través de un conductor produce una corriente de 1 Amperio, la resistencia del conductor es 1 Ohmio.

Potencia (*P*): Para mantener una corriente constante en un circuito cerrado se debe utilizar una fuente de energía o una *fem* (*fuerza electromotriz*). Una fuente de fem es cualquier dispositivo (batería, generador, etc.), que produce un campo eléctrico y origina un movimiento en las cargas por un circuito.

Si se utiliza una batería para establecer una corriente eléctrica en un conductor, existe una transformación continua de energía química almacenada en la batería en energía cinética de los portadores de carga. Esta energía cinética se pierde rápidamente como consecuencia de los choques entre los portadores de carga y los átomos que integran al conductor, lo que produce un aumento en la temperatura del conductor. Es decir, la energía química

almacenada en la batería se transforma continuamente en energía térmica.

Si se conecta una batería con un resistor, se obtiene el siguiente circuito y su correspondiente circuito eléctrico equivalente:

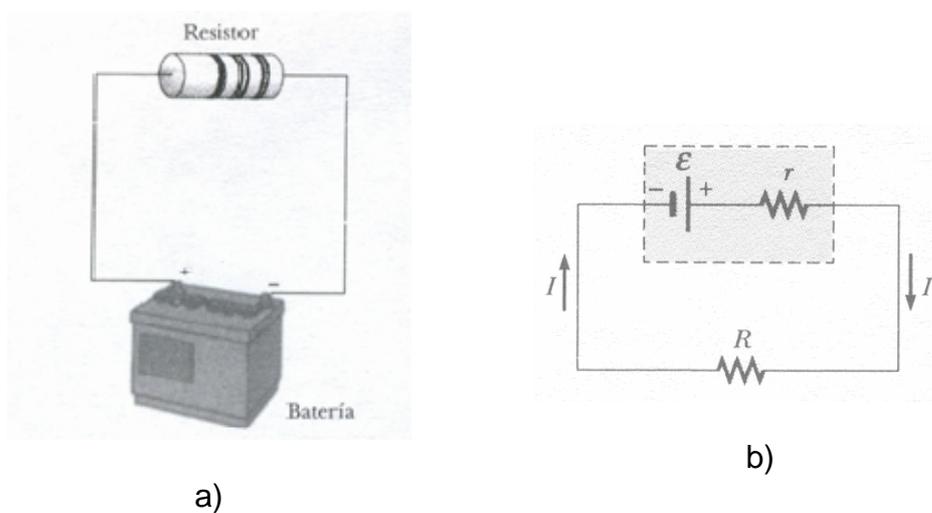


Figura 1.1 Circuito compuesto por un resistor conectado a las terminales de una batería. a) Circuito eléctrico. b) Circuito eléctrico equivalente. [6]

Suponiendo que los alambres de conexión no tienen resistencia, \mathcal{E} representa el voltaje en el circuito abierto (es decir, el voltaje de las terminales cuando la corriente es cero), r es la resistencia interna de la batería, R es la resistencia externa (llamada frecuentemente resistencia de

carga), e I es la corriente del circuito. De este modo, se tiene que:

$$\varepsilon = IR + Ir \quad (1.5)$$

Si se multiplica la ecuación 1.5 por la corriente I , se puede escribir:

$$I\varepsilon = I^2R + I^2r \quad (1.6)$$

donde $I\varepsilon$ es la potencia total de la fem, el término I^2R es la potencia disipada en la resistencia de carga, y la expresión I^2r es la potencia disipada en la resistencia interna. La unidad de la potencia en el Sistema Internacional es el *Watt* (W).

1.4.2. Nociones de Magnetismo.

La palabra ***magnetismo*** viene de la región de ***Magnesia*** (Asia Menor), lugar donde se encontraron fragmentos de mineral de hierro magnetizado. Estos fragmentos eran ejemplos de lo que actualmente se conoce como *imanes permanentes*. Todo imán, sin importar su forma, tiene dos polos, llamados polo magnético norte y polo magnético sur. Polos iguales se repelen entre sí; y polos diferentes se atraen entre sí.

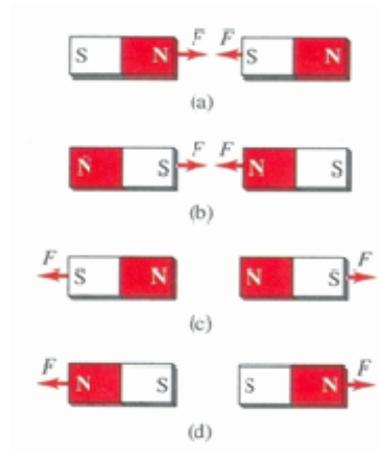


Figura 1.2 Interacciones magnéticas. a) y b) Dos imanes de barra se atraen cuando dos polos opuestos (N y S o S y N) están próximos uno al otro. c) y d) Los imanes de barra se repelen cuando dos polos iguales (N y N o S y S) están cerca uno del otro. [5]

Los polos magnéticos no pueden aislarse, siempre se encuentran en pares. Todos los intentos realizados hasta ahora para detectar un monopolo magnético aislado no han tenido éxito. Independientemente de las veces que se corte un imán permanente, cada pedazo siempre tendrá un polo norte y un polo sur, incluso si los fragmentos son de diferente tamaño.



Figura 1.3 Ruptura y separación de un imán de barra. [5]

Densidad de campo magnético (B): Para definir la densidad de campo magnético se considera una partícula de prueba cargada que se mueve con una velocidad v y pasa por un punto arbitrario. Si una fuerza desvía lateralmente a la partícula en cuestión, se dice que existe un campo magnético en el punto arbitrario. Entonces se tiene que:

$$F = q v B \text{ Sen } \theta \quad (1.7)$$

donde q es la carga de prueba, B es la densidad de campo magnético perpendicular a la fuerza, y θ es el ángulo más pequeño entre la velocidad y el campo magnético.

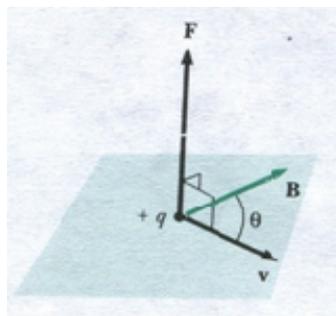


Figura 1.4 Fuerza magnética sobre una partícula cargada que se mueve con una velocidad v en presencia de un campo magnético B . [6]

La unidad de la densidad de campo magnético en el Sistema Internacional es el *Weber por metro cuadrado* (Wb/m^2), llamada también Tesla (T):

$$[B] \equiv T \equiv \frac{Wb}{m^2} = \frac{N}{C \cdot m/s} = \frac{N}{A \cdot m} \quad (1.8)$$

Esto es, una carga de 1 Coulombio que se mueve a través de una densidad de campo magnético de 1 Tesla con una velocidad de 1 m/s perpendicular al campo, experimenta una fuerza de 1 Newton.

El campo magnético de la Tierra, en un punto cercano a su superficie, es de aproximadamente $0.5 \times 10^{-4} T$. Existen campos magnéticos en el orden de 10 T en el interior de los átomos, y son importantes en el análisis de los espectros atómicos. El campo magnético estable más grande que se puede crear actualmente en un laboratorio es de aproximadamente 45 T. Ciertos electroimanes de corriente pulsante producen campos de hasta 120 T durante intervalos de 1 milisegundo. Se piensa que el campo magnético en la superficie de una estrella de neutrones es de $10^8 T$.

La densidad de campo magnético se puede representar por medio de líneas. A continuación se ilustran las líneas de campo magnético de la Tierra. Si empleamos una brújula, un extremo de la aguja buscará o apuntará hacia el polo geográfico norte de la Tierra, en la dirección de la línea de campo presente en ese lugar. Sabiendo que polos opuestos se atraen, se concluye que el polo magnético norte se localiza cerca del polo geográfico sur, y que el polo magnético sur se localiza cerca del polo geográfico norte.

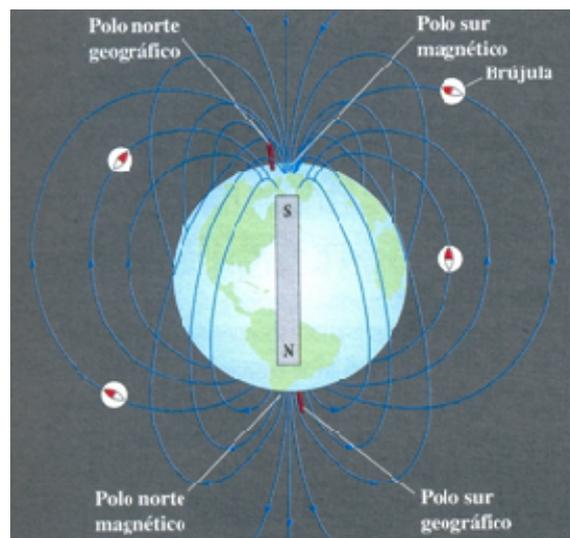


Figura 1.5 Líneas de campo magnético de la Tierra. [5]

La siguiente figura muestra las líneas generadas por varias fuentes comunes de campo magnético:

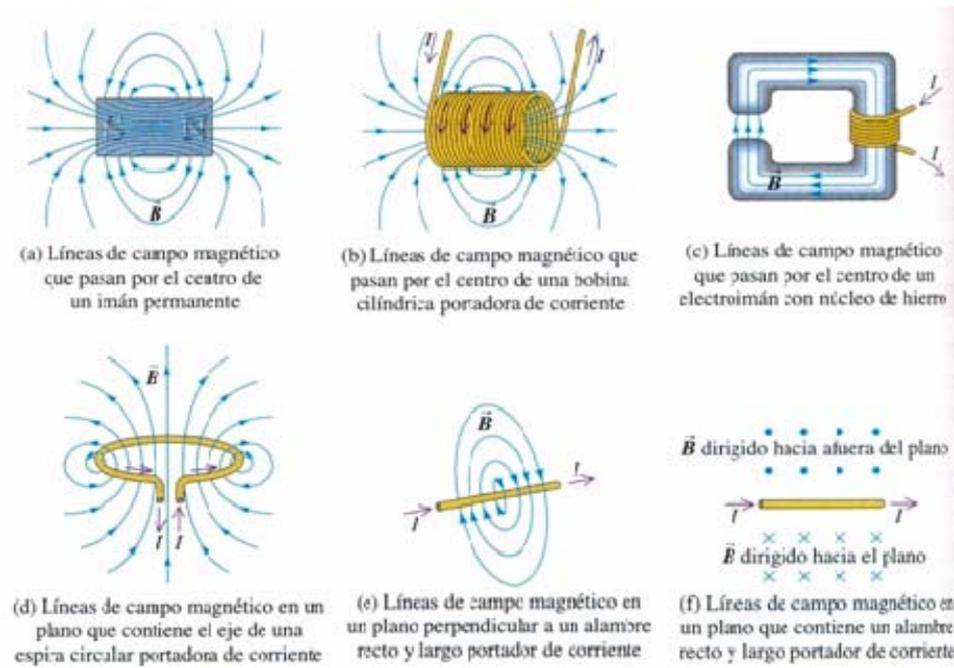


Figura 1.6 Líneas de campo magnético creadas por varias fuentes comunes de campo magnético. [5]

Permeabilidad del medio (μ): Es una constante de proporcionalidad. Puede definirse como la medida de la capacidad para establecer líneas de flujo magnético. Cuanto más grande sea la permeabilidad del medio, mayor será el número de líneas de flujo que pasarán por unidad de longitud.

La *permeabilidad del espacio libre* (el vacío) se denota mediante μ_0 :

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A} \quad (1.9)$$

La permeabilidad para cualquier material está dada por:

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (1.10)$$

donde **H** es la intensidad de campo magnético.

Los materiales magnéticos se clasifican conforme a sus permeabilidades comparadas con la del espacio vacío. La razón de la permeabilidad de un material con la correspondiente para el vacío se llama *permeabilidad relativa* (μ_r), y está expresada por:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1.11)$$

De acuerdo a esto se tienen:

Materiales Diamagnéticos.- Su permeabilidad relativa es ligeramente menor a la unidad. Tienen la propiedad de poder ser repelidos débilmente por un imán potente.

Materiales Paramagnéticos.- Presentan una permeabilidad ligeramente mayor que la del vacío. Son atraídos débilmente por un imán poderoso.

Materiales Ferromagnéticos.- Muestran permeabilidades extremadamente altas, comprendidas desde pocos cientos a miles de veces la del vacío. Estos materiales son atraídos fuertemente por un imán. Se encuentran el hierro, cobalto, níquel, acero y aleaciones de éstos.

Intensidad de campo magnético (H): Representa una magnitud que sirve para expresar un campo magnético cualquiera. Tiene la particularidad de ser independiente de la naturaleza del medio magnético. Es directamente proporcional al número de líneas establecidas y a la corriente del circuito, e inversamente proporcional a la longitud:

$$H = \frac{NI}{L} \quad (1.12)$$

La unidad de la intensidad de campo magnético en el Sistema Internacional es *Amperio por metro (A/m)*.