

# OSCILACIONES FORZADAS, CORRIENTE ALTERNA Y LA GEOMETRÍA DEL UNIVERSO

Javier Escudero Arconada

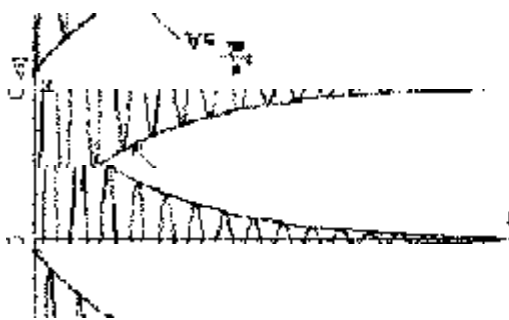
La idea de este artículo surge en plena clase de Física General durante el pasado curso y a raíz del estudio de la corriente alterna. Quiero compartir con vosotros la sorpresa que me produjo la relación que, a mi modo de ver, existe entre las llamadas oscilaciones forzadas, la corriente alterna y la geometría del universo. En un principio, y para alguien con unos mínimos conocimientos en Física, los dos primeros están íntimamente relacionados como a continuación veremos, pero no es tan clara la relación con el tercero. Aunque unas pequeñas fórmulas matemáticas son necesarias para entender a fondo el asunto, evitaré exponer estas durante el artículo y me limitaré a exponerlas en un apéndice al final para evitar que hagan del artículo algo engorroso para el que no este familiarizado con ellas.

## Oscilaciones forzadas.

Dejado libremente a si mismo, un muelle o péndulo (ejemplos claros de lo que en adelante llamaremos genéricamente oscilador) finalmente dejan de oscilar, pues la energía mecánica se disipa por fuerzas de rozamiento. La amplitud de tal movimiento iría decreciendo lentamente con el tiempo. Para mantener en marcha un sistema amortiguado, debemos ir suministrando energía al sistema. Cuando se lleva a cabo esto se dice que el oscilador es forzado.

Un ejemplo claro de un oscilador forzado es un niño en un columpio. Si al niño sentado en el columpio se le deja caer formando un cierto ángulo con la vertical, el columpio comenzará a realizar un

movimiento oscilatorio con una cierta frecuencia (tiempo que tardaría en volver a la posición desde la que fue lanzado) y con una cierta amplitud, que en el caso del columpio, y por llamarlo de una manera poco científica, sería el “alcance” que tiene el columpio, o lo “lejos” que llega. Sin embargo la experiencia nos dice que si el niño no ejerce el ya típico movimiento con las piernas, o el padre no está detrás de él empujándole en cada oscilación, dicho columpio terminará parándose lentamente y su amplitud irá decreciendo en cada vaivén. Si queremos que el sistema se comporte como un oscilador forzado, es necesario que el padre empuje al niño, o que éste ejerza el citado impulso con sus piernas. De esta manera, el columpio no se parará y la amplitud de la oscilación se mantendrá dentro de unos límites, pero no irá decreciendo lentamente hasta pararse.

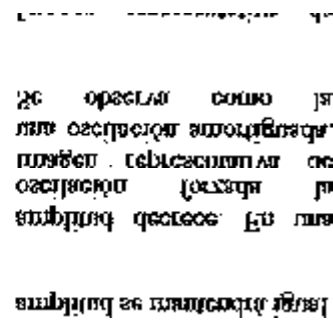


Hagamos un estudio matemático del movimiento. Aplicamos la segunda ley de Newton teniendo en cuenta que además de actuar una fuerza restauradora y una fuerza de amortiguamiento, esta sujeto a una fuerza externa (fuerza impulsora, papel que ejerce el padre en el ejemplo). (Ver ecuación diferencial 1 del apéndice). La fuerza amortiguadora vendría caracterizada por el coefi-

ciente de amortiguamiento  $b$  y la fuerza externa por la frecuencia angular  $\omega$  que por decirlo de alguna forma, representará la frecuencia con la que el padre debe empujar el columpio. En el primer término de esta expresión matemática denominada ecuación diferencial, aparece  $m$  que representa la masa y en último lugar aparece  $t$  que representaría el tiempo. Pero no perdamos de vista este primer término de la ecuación diferencial ni perdamos de vista a la masa porque es la base de todo lo que viene a continuación.

## Corriente alterna.

Todos estamos familiarizados con ella porque la tenemos presente en cada instante de nuestra vida. En forma de corriente alterna, la corriente eléctrica es transportada, con mínimas pérdidas de energía, desde los generadores hasta nuestras casas. Pero este no es el tema de hoy.



La forma en que se genera la corriente eléctrica, por ejemplo en una central hidroeléctrica, posibilitan que a este tipo de corriente se le pueda aplicar en su estudio, el mismo formalismo que utilizamos para las oscilaciones, y en particular, como antes vimos, para las oscilaciones forzadas. Su representación grafica es la misma, la característica gráfica sinusoidal propia de una función seno o coseno donde puede

mos considerar los mismos parámetros antes reseñados, tales como la amplitud, la frecuencia, etc.

Esta corriente alterna (en adelante ca) llega a cada uno de los aparatos eléctricos que tenemos en nuestras casas, cada uno de los cuales está compuesto por circuitos más o menos complicados, con más o menos elementos. Para nuestro artículo vamos a considerar el llamado circuito RLC con un generador. Estos circuitos constan de una resistencia (R) una bobina o autoinducción (L) y un condensador (C) además de un generador de ca, que bien podría ser una central hidroeléctrica con sus turbinas.

Una ca que se instala en un circuito como el anterior **se puede considerar como un oscilador forzado**. La resistencia jugaría el papel de amortiguador (como el que jugaba el rozamiento con el aire en el columpio), el generador nos sirve como fuerza externa que mantiene la corriente en el circuito (papel del padre) y los demás elementos, en principio, no les consideraremos.

Realizando un estudio matemático similar al anterior, llegamos de nuevo a nuestra buscada ecuación diferencial (ecuación diferencial 2 del apéndice), y *voilà*, adopta una forma muy semejante a la anterior.

En este caso el resto de términos no les tendremos en cuenta, y solo nos fijaremos en la  $L$  del primer término, justo donde antes nos apareció la masa. Lo cual quiere decir, por identificación con la anterior ecuación, que para una corriente alterna la  $L$  (que se conoce como coeficiente de autoinducción) juega el papel de la masa. ¿Cómo es que están relacionadas dos cosas pertenecientes a ámbitos tan distintos?

## Y la geometría del univer-

so

¿Pero qué demonios es este coeficiente de autoinducción? y lo que es más importante ¿qué papel juega en todo esto?. Intentemos explicar todo esto de forma que quede lo más claro posible y no tengamos que meternos en cuestiones que se excederían de la longitud del artículo. Cuando existe una corriente eléctrica en un circuito, existe un flujo magnético a través del mismo debido a su propia corriente. Cuando la corriente varía el flujo también varía y entonces se genera una fuerza electromotriz inducida que denominaremos fuerza electromotriz autoinducida (pues la “genera” el “propio” circuito). Lo que debemos tener claro es que esta fuerza electromotriz autoinducida **se opone a la variación de la corriente** y por tanto también se la denomina fuerza contra electromotriz.

En resumen lo que debemos tener claro del párrafo anterior es que la **variación** de la corriente eléctrica dentro de un circuito, genera una fuerza contra electromotriz que **se opone** a esta **variación** de la corriente. Se dice que se **opone a la variación que la genera**.

Lo más importante de todo, es que en la fórmula de esta fuerza contraelectromotriz (que evitamos exponer aquí para evitar fórmulas matemáticas) aparece, como coeficiente de proporcionalidad, la autoinducción, o sea la  $L$ . Esto quiere decir que, a mayor coeficiente de autoinducción  $L$ , mayor fuerza contraelectromotriz, y por lo tanto mayor oposición a la variación de intensidad dentro del circuito. Y viceversa.

Ahora bien, volvamos con la masa que teníamos olvidada desde las oscilaciones forzadas. Si enten-

demos a la masa de un cuerpo como una medida de su inercia, esto quiere decir que “a más masa, más inercia” por decirlo de alguna forma, con lo cual, como todo el mundo sabe, más esfuerzo nos costaría producir una variación en el movimiento que este cuerpo tenga. Esto es una consecuencia clara de la ley de Newton que relaciona fuerza, masa y aceleración por este orden, según la fórmula  $F = m \cdot a$ , donde se ve claramente que a mayor masa, será menor la aceleración (**variación en la velocidad**) que se puede producir en dicho cuerpo aplicando la misma fuerza. Y si abandonamos las leyes de Newton y nos adentramos en las teorías relativistas de Einstein, es por todos conocida la relación que la masa de un cuerpo tiene con la geometría del espacio. Cómo la masa condiciona la geometría del espacio, y la geometría del espacio afecta a la masa en cuestiones tan básicas como la aceleración de un cuerpo (será mejor que entendamos la aceleración como **variación de la velocidad** o mejor aun, **del movimiento**) o el principio de equivalencia, etc. Hasta tal punto que la Teoría General de la Relatividad viene a decir que geometría y materia son dos expresiones distintas de una sola realidad.

Pues parecido sucede con el coeficiente de autoinducción  $L$ . Este coeficiente depende, únicamente, de la forma geométrica que tenga el elemento del circuito que le genera (por ejemplo una espira). Su cálculo, aunque complicado, se basa únicamente en la geometría, forma geométrica del elemento en cuestión. Por ejemplo en un solenoide, su coeficiente de autoinducción es proporcional al cuadrado del número de vueltas por unidad de longitud, y al volumen del solenoide. Así pues, lo mismo que la capacidad, la autoinducción de-

pende solamente de factores geométricos.

La conclusión final es clara. Tanto la autoinducción como la masa son medidas de la oposición que presentará un circuito o un cuerpo a que se produzcan variaciones, en el primer caso en la intensidad que por él circula, y en el segundo en el movimiento de dicho cuerpo. Luego a fin de cuentas representan la oposición a que se produzcan variaciones en los campos, ya estén estos referidos a propiedades de la fuerza electromagnética, o al movimiento de los cuerpos o a variaciones en la fuerza gravitatoria. Y la relación que existe entre estas propiedades electromagnéticas, gravitatorias, cinéticas / dinámicas y la geometría del espacio. De cómo la **geometría condiciona estas oposiciones a la variación**. Seguro que un montón más de consecuencias se pueden extraer de todo esto tras una meditación más detenida y un mayor conocimiento de las propiedades físicas del universo.

Por tanto creo que es un claro llamamiento que la geometría del espacio nos hace, para que nos demos cuenta de la tremenda importancia que esta tiene en las propiedades físicas del universo, y de cuya importancia ya se están ocupando teorías como la de Supercuerdas, o nos han mostrado teorías como la de la Relatividad del señor Einstein. Creo que al final, la geometría tendrá el secreto para descifrar una gran cantidad de las propiedades del universo y un fuerte papel en la teoría final.

Invito a todo aquel que quiera, a mostrarme los fallos teóricos que habré cometido en el artículo y a redundar más en el asunto, desde un conocimiento más amplio de la Física del que yo tengo. Alguna cuestión técnica como la correspondien-

te al flujo magnético y a la fuerza contra electromotriz seguro que no ha quedado muy clara pues en ocasiones se sacrifican rigor científico y líneas de artículo en pos de lo que se piensa será claridad en la argumentación, y termina siendo al revés.

### Apéndice matemático

Me limito aquí a exponer las ecuaciones diferenciales que antes se mencionaron para ilustrar mejor el artículo y para todo aquel que tenga curiosidad. Es importante observar la forma que estas toman y comparar la gran similitud que hay entre las propias a las oscilaciones forzadas y la correspondiente a la corriente alterna.

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + m\omega_0^2 x = F_0 \cos \omega t \quad (1)$$

$$\epsilon \frac{d^3 Q}{dt^3} - R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \epsilon_m \cos \omega t \quad (2)$$

Para el artículo, solo es necesario fijarse que, donde en la primera aparece la masa, en la segunda aparece el coeficiente de autoinducción L. Los demás términos, en diferenciales, no son necesarios para entender el artículo y surgen de las suposiciones iniciales que hemos considerado.

Ninguna invención es perfecta al nacer.

**Cicerón, Marcus Tullius Cicero**

La ciencia es orgullosa por lo mucho que ha aprendido; la sabiduría es humilde porque no sabe más.

**William Cowper**

Nada vale la ciencia si no se convierte en conciencia.

**Carlo Dossi**

Lo más bello que podemos experimentar es el lado misterioso de la vida. Es el sentimiento profundo que se encuentra en la cuna del arte y de la ciencia verdadera.

**Albert Einstein**

El final de toda exploración será llegar al punto de partida y conocer el lugar por primera vez.

**Thomas Stearns Eliot**

Hoy los datos de la ciencia crecen con tal abundancia que hay que usar la inteligencia para ocultar la ignorancia.

**Salvador Euras**

Si poca ciencia es peligrosa, ¿dónde está el hombre que tenga la suficiente para estar fuera de peligro?

**Aldous Huxley**

El nacimiento de la ciencia fue la muerte de la superstición.

**Thomas Henry Huxley**

La ciencia es sin disputa el mejor, el más brillante adorno del hombre.

**Gaspar Melchor de Jovellanos**