



# NATURALIS

## BOLETÍN DE LA COORDINACIÓN DE FÍSICA Y QUÍMICA

No. 13

agosto de 2009

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS



### CONTENIDO

#### 1 Radiación de Cuerpo Negro

Rogelio Soto Ayala  
Salvador Enrique Villalobos Pérez  
Edgar Raymundo López Téllez  
René Ortega Alvarado

#### 5 Cristales Fotónicos. ¡El Adiós a los Electrones!

Nieto Rueda Marco Antonio

### Radiación de Cuerpo Negro

El término radiación se refiere a la emisión continua de energía desde la superficie de cualquier cuerpo. Esta energía se denomina radiante y es transportada por las ondas electromagnéticas que viajan en el vacío a la velocidad de la luz. Las ondas de radio, las radiaciones infrarrojas, la luz visible, la luz ultravioleta, los rayos x y los rayos  $\gamma$ , constituyen distintas regiones del espectro electromagnético.

Sobre la superficie de un cuerpo incide constantemente energía radiante, una parte de la cual se refleja y la otra se transmite. Si la superficie del cuerpo es lisa y pulimentada, como la de un espejo, la mayor parte de la energía incidente se refleja, el resto atraviesa la superficie del cuerpo y

es absorbida por sus átomos o moléculas.

La superficie de un cuerpo negro (el nombre cuerpo negro fue introducido por Gustav Kirchhoff en 1862) es un caso límite, en el que se considera que toda la energía que incide sobre él es absorbida. Sin embargo, no existe en la naturaleza un cuerpo negro ideal, ya que incluso el negro de humo refleja, aproximadamente, el 1% de la energía incidente.

El término emisividad se refiere a la fracción de radiación de un cuerpo negro que un cuerpo real es capaz de emitir. La emisividad puede ser distinta para cada longitud de onda, y depende de factores tales como la temperatura, la condición de la

superficie (pulida, oxidada, limpia, etc.) y del ángulo de emisión.

Un cuerpo negro se puede visualizar, con gran aproximación, por una cavidad con una pequeña abertura. La energía radiante que pasa a través de la abertura incide sobre la pared más alejada, donde parte de la radiación es absorbida y parte es reflejada. Ésta a su vez, cuando interacciona nuevamente con la pared, es parte absorbida y parte reflejada, etc., es así que, después de múltiples reflexiones, se considera que prácticamente toda la energía que incidió sobre el cuerpo negro ha sido absorbida, excepto aquella diminuta cantidad de energía que logra escapar a través del orificio. La luz emitida por un cuerpo negro se denomina radiación de cuerpo negro, y constituye un modelo físico ideal para el estudio de la emisión de la radiación electromagnética.

Todo cuerpo emite energía en forma de ondas electromagnéticas, siendo esta radiación, que se emite incluso en el vacío, tanto más intensa cuanto más elevada es la temperatura del emisor. Esto fue establecido en el año de 1879 por el físico austriaco Josef Stefan (1835-1893), quien encontró experimentalmente que la potencia total emitida por unidad de área por un cuerpo sólido a todas las frecuencias,  $e_{\text{total}}$ , era proporcional

a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

$$e_{\text{total}} = \sigma T^4$$

en la que  $\sigma$  representa la constante de Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )

En la figura 1 se muestra la potencia de emisión máxima en función de la longitud de onda para un cuerpo negro.

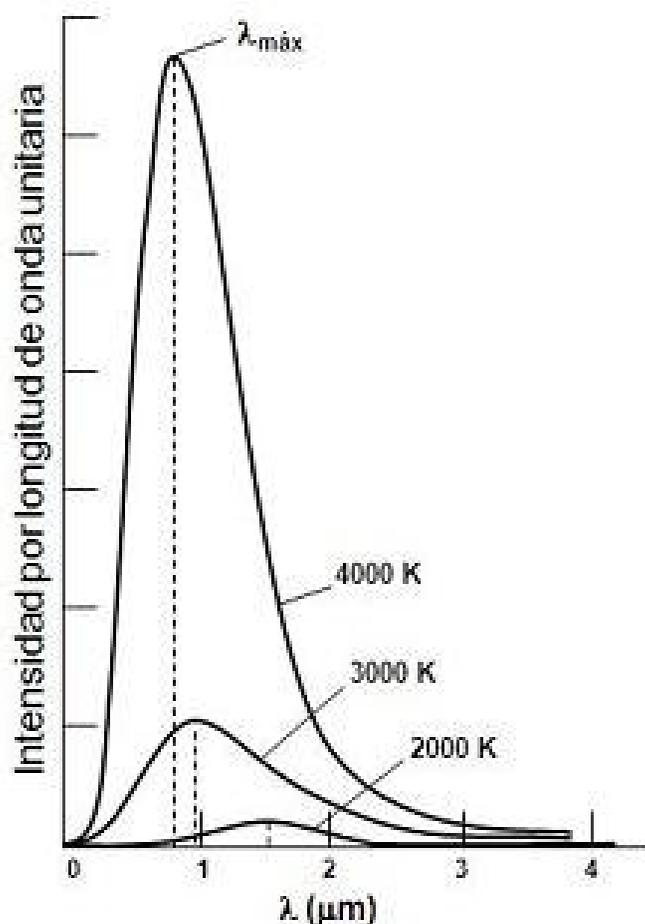


Figura 1. Intensidad emitida por un cuerpo negro en función de la longitud de onda.

Como se puede observar, la longitud de onda a la que se tiene la potencia de emisión máxima,  $\lambda_{\text{máx}}$ , se desplaza hacia longitudes de onda más cortas a medida que el cuerpo negro se calienta más. Este hallazgo coincide con la observación general de Thomas Wedgwood, pariente de Charles

Darwin y conocido fabricante de porcelana, quien, en 1792, observó que todos los objetos en sus hornos, sin importar su naturaleza química, tamaño o forma, se vuelven rojos a la misma temperatura.

En 1893, Wilhelm Wien propuso una fórmula general para la ley de la distribución de cuerpo negro, que explicaba el comportamiento experimental correcto de  $\lambda_{\text{máx}}$  con la temperatura. Esta ley se denomina ley de desplazamiento de Wien:

$$\lambda_{\text{máx}} T = 2.898 \times 10^{-3} \text{ (m K)}$$

La Figura 2 muestra la concordancia y la discrepancia que existe entre la ley de Wien y los datos experimentales para un cuerpo negro a 1500 (K).

En el año de 1900, Max Planck propuso la famosa fórmula de radiación de cuerpo negro, que anunció el surgimiento de la teoría cuántica. Ésta surgió a raíz de la observación que hizo Planck de la fórmula de Wien, en el sentido de que esta última coincidía bastante bien con los datos experimentales a altas frecuencias (longitudes de onda pequeñas), pero que discrepaba a bajas frecuencias, de tal manera que él estableció una fórmula general que predecía el comportamiento correcto en toda la gama de frecuencias:

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \left( \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1} \right)$$

expresión en la que  $u(\nu, T)$  representa la densidad de energía espectral por unidad de frecuencia ( $\text{J/m}^3 \cdot \text{s}$ );  $h$ , es la constante de Planck ( $6.62 \times 10^{-34}$  (J.s));  $\nu$ , es la frecuencia de la radiación electromagnética ( $\text{s}^{-1}$ );  $c$ , es la velocidad de la luz en el vacío ( $3 \times 10^8$  (m/s));  $k$ , es la constante de Boltzmann ( $1.3805 \times 10^{-23}$  (J/K)), y  $T$  es la temperatura, en (K), del cuerpo negro.

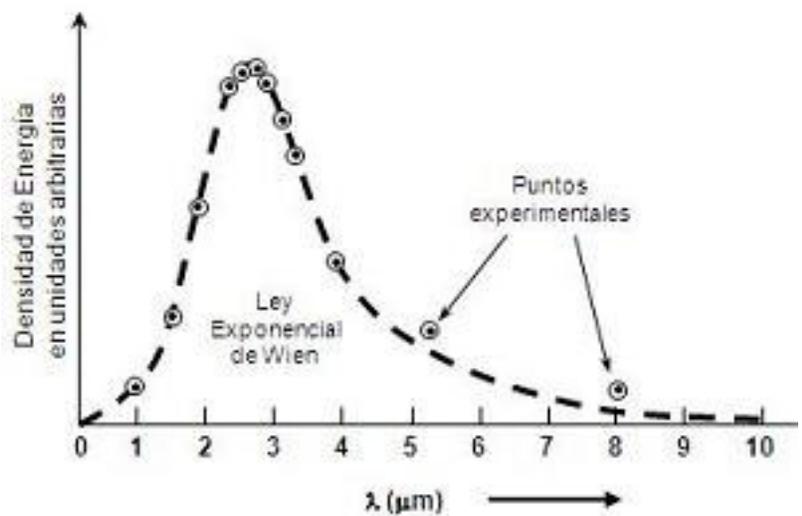


Figura 2. Densidad de energía de un cuerpo negro (a 1500 (K)) en función de la longitud de onda. Datos experimentales contra los predichos por la ley de Wien

Planck estaba convencido de que la radiación de cuerpo negro era producida por cargas eléctricas submicroscópicas en vibración, que denominó resonadores. Supuso que la pared de una cavidad luminosa estaba constituida literalmente por millones de estos resonadores (cuya naturaleza exacta se desconocía entonces) todos vibrando con frecuencias

diferentes. Según Maxwell, cada oscilador debía emitir radiación con una frecuencia correspondiente a su frecuencia de vibración, y podía tener cualquier valor de energía. Sin embargo, a diferencia de Maxwell, Planck supuso que la energía total de un resonador con frecuencia  $\nu$  sólo podía adquirir valores múltiplos de  $h\nu$ ; es decir,

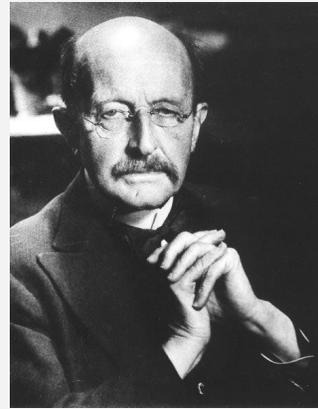
$$E_{\text{resonador}} = nh\nu, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Es decir, un resonador no puede perder (o ganar) cualquier cantidad de su energía total, sino sólo una cantidad finita,  $h\nu$ , denominada cuanto de energía.

En astronomía, las estrellas se modelan frecuentemente como cuerpos negros, aunque esta no es una buena aproximación para el estudio de sus fotosferas. La radiación cósmica de fondo proveniente del Big Bang se comporta como un cuerpo negro casi ideal. La radiación de Hawking es la radiación de cuerpo negro emitida por agujeros negros.

Actualmente, en el laboratorio de Física Experimental y Óptica, de la División de Ciencias Básicas, se están desarrollando una serie de prácticas de Física Contemporánea (entre ellas la de la radiación de cuerpo negro), como parte de un proyecto PAPIME (Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y el Mejoramiento de la Enseñanza), con el objetivo de

apoyar la formación de aquellos alumnos que cursan una carrera de ingeniería y que requieren de un conocimiento más profundo en esta disciplina. A través de este medio de difusión, se hace una atenta invitación para que todos aquellos alumnos interesados en colaborar en actividades de servicio social o tesis, acudan al laboratorio ya citado.



**Max Karl Ernst Ludwig Planck.** Físico Alemán, nació el 23 de abril de 1858 en Kiel, Alemania.

Es considerado el creador de la teoría cuántica, de quien

Albert Einstein dijo: era un hombre a quien le fue dado aportar al mundo una gran idea creadora.

Cuando ingresó en 1874 a la universidad de Munich, y estudió un año en la Universidad de Berlín, dejó su pasión por los románticos alemanes como Brahms, Schubert y Schumann, para incursionar en el laberinto que le abrieron sus profesores Hermann von Helmholtz y Gustav Robert Kirchhoff, quienes realizaron investigaciones que utilizó Planck, en 1900, para proponer su teoría de los cuantos, que dividió la física en dos vertientes: la clásica, desarrollada en los siglos XVII, XVIII y XIX, y la moderna.

En 1880, ocupa su primer cargo académico en la universidad de Kiel y, cinco años más tarde, es nombrado profesor titular de una de las cátedras de física, y desde 1889 hasta 1928 ocupó el mismo cargo en la universidad de Berlín. En 1900, Planck formuló que la energía se irradia en unidades pequeñas separadas denominadas cuantos. La ley de Planck establece que la energía de cada cuanto es igual a la frecuencia de la radiación multiplicada

por la constante que lleva su nombre. Los descubrimientos de Planck, que fueron verificados posteriormente por otros científicos, promovieron el nacimiento de un campo totalmente nuevo de la física, conocido como mecánica cuántica y proporcionaron los cimientos para la investigación en campos como el de la energía atómica.

En su carrera científica, Planck recibió muchos premios, especialmente, el Premio Nobel de Física, en 1918. En 1930 Planck fue elegido presidente de la Sociedad Kaiser Guillermo para el Progreso de la Ciencia, la principal asociación de científicos alemanes, que después se llamó Sociedad Max Planck. La oposición de Max Planck al régimen nazi, lo enfrentó con Hitler. No obstante, en varias ocasiones intercedió por sus colegas judíos ante dicho régimen. Murió el 4 de octubre de 1947, en Göttingen, Alemania.

### **Agradecimientos:**

Se agradece a la Facultad de Ingeniería y a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) su apoyo en el desarrollo del proyecto PAPIME PE101206, que lleva por título: "Uso de nuevas tecnologías en la implementación de prácticas para un laboratorio de Física Moderna en la Facultad de Ingeniería", que actualmente se encuentra en su tercer año de desarrollo. En este proyecto participa personal académico de la Facultad de Ingeniería y de la Facultad de Ciencias. Se agradece también la colaboración de la srta. Ayesha Sagrario Román García,

estudiante de la Facultad de Ingeniería, por la captura en formato digital de las figuras presentes en este artículo.

### **Referencias**

- 1.- Serway, Moses & Moyer. *Física Moderna*, Tercera Edición, Thomson, 2006.
- 2.- Melissinos & Napolitano, *Experiments in Modern Physics*, 2nd. Edition, Academic Press, 2003.
- 3.- A. Beiser, *Conceptos de Física Moderna*, 2ª. Edición, McGraw Hill, 1977.
- 4.- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/negro/radiacion/radiacion.htm>
- 5.- [http://galileo.phys.virginia.edu/classes/252/black\\_body\\_radiation.html](http://galileo.phys.virginia.edu/classes/252/black_body_radiation.html)

### **Dr. Rogelio Soto Ayala**

*rsoto54@hotmail.com*

### **Físico Salvador E. Villalobos Pérez**

*villasalen@yahoo.com.mx*

Profesores de Carrera en la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

### **Físico Edgar Raymundo López Téllez**

*fiselt@servidor.unam.mx*

Profesor de Asignatura en la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

### **Físico René Ortega Alvarado**

*roa@fciencias.unam.mx*

Técnico Académico en la Facultad de Ciencias de la UNAM.

---

## **Cristales Fotónicos**

Con el continuo incremento de la información que requiere ser distribuida en todo el mundo también incrementa la necesidad de

hacer ese proceso más rápido y eficiente. Lo anterior ha llevado al ser humano a buscar nuevos modos de enviar y recibir la

información, se ha hecho necesario desarrollar nuevas estructuras para transportar información. En la actualidad lo más utilizado para el transporte de la información son los electrones, que viajan a través de un conductor. Este modo de comunicarse es rápido, tiene un grado de eficiencia aceptable y en general presenta pérdidas que se pueden solventar. Pero dentro de todo esto hay desventajas, aunque la tecnología basada en el flujo de electrones ha alcanzado un alto nivel de miniaturización y eficiencia, en algún momento se llegará al límite en el cual ya no se pueda hacer más pequeño un circuito, porque no se podrá compactar más el material con el que se trabaje para hacer los conductores o porque simplemente no se pueda disipar el calor que se genere por el flujo de corriente.

Esto significa que cuando nos aproximemos a ese límite, ¿será realmente lo más rápido y eficiente que se podrán desarrollar las comunicaciones? La respuesta es no. Si bien se ha mencionado que los electrones son buenos portadores de información, se ha pensado que la luz sería considerablemente mejor portadora de información, ya que viaja a mayor velocidad y por sus características, en un buen conductor, no presentaría pérdidas, o serían despreciables.

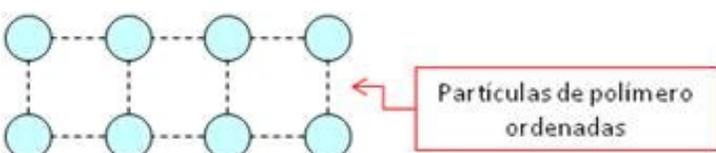
Así pues, nace la idea de hacer nanotubos en los que viajen las ondas electromagnéticas, llamadas también fotones; es decir, la luz. Ahora bien ¿cómo deben ser esos nanotubos? ¿qué características deben presentar? Lo que se ha concluido es que estos nanotubos deben ser materiales nanoestructurados, con un orden en su estructura que permita conducir los fotones, como los conductores con los electrones. El orden sería periódico para conducir los fotones por todo el material, entonces estaríamos hablando de un cristal, y como lo que viajará dentro de estos materiales serán fotones, se ha denominado a estos materiales como cristales fotónicos. En resumen hasta el momento, se está trabajando para la migración en el modo de comunicación, de la comunicación eléctrica (electrones como elemento básico) a la comunicación óptica (fotones como elemento básico).

Un cristal fotónico es un material que presenta propiedades exclusivas, y que ha sido elaborado cuidadosamente con el fin de tener una alto índice de difracción. Visto como materia prima de un conductor, tendría la característica de conducir un haz de fotones sin que éste escapara de él, lo significaría que no habría pérdida de fotones.

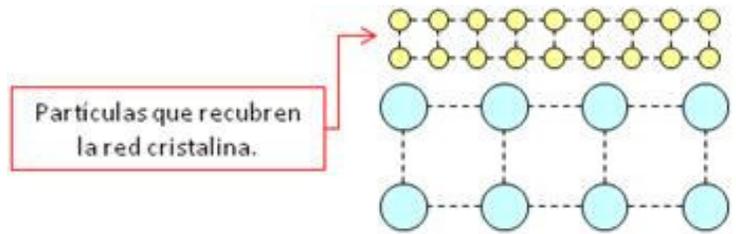
Análogamente el cristal fotónico haría el papel del cobre en los cables eléctricos, y los fotones tomarían el papel de los electrones. Profundizando un poco, se ha determinado que en la estructura de estos cristales deben existir huecos entre los átomos de los elementos de los cuales está formado el cristal, esto crea una estructura que bloquea ciertos fotones, ya sea para que no se filtren en el conductor, y principalmente, para que los fotones que viajan dentro del conductor no escapen. En otras palabras, los huecos y su posición en el cristal son utilizados para permitir o no, que ciertos fotones se propaguen por el cristal.

Analíticamente los huecos en el cristal fotónico funcionan de forma similar a los espacios entre las moléculas de los cristales naturales, que permiten el paso sólo de algunas ondas. La ventaja es que en los cristales fotónicos ese espacio puede ser manipulado para permitir la propagación de cualquier fotón. Para obtener un cristal fotónico, se requieren los pasos siguientes:

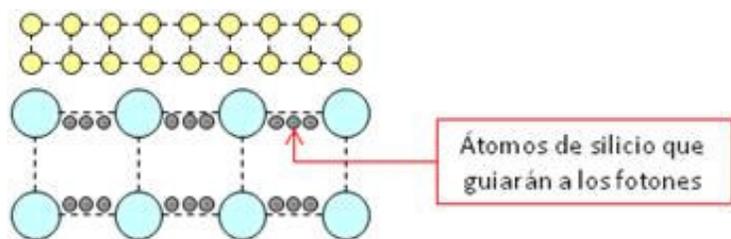
1. primero se obtiene la base los cristales a partir de una dispersión acuosa que contiene partículas de polímero. Cuando se evapora la fase acuosa, las partículas del polímero forman una capa, que, dependiendo de la estructura química de las partículas, pueden organizarse por sí misma de forma regular, formando cristales.



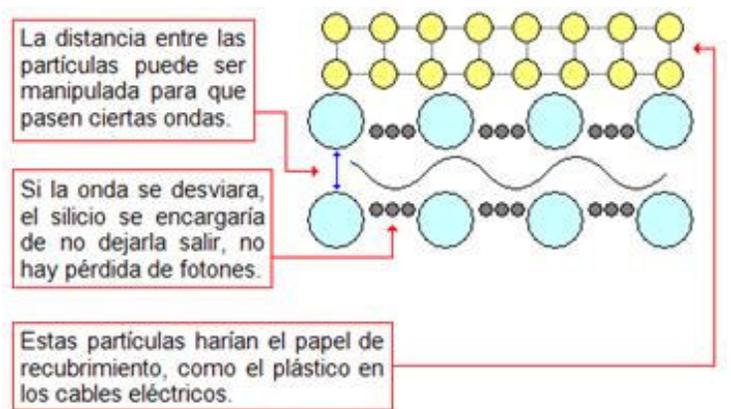
2. Una vez creadas estas estructuras cristalinas, se aplica sobre ellas otra estructura más pequeña.



3. A la estructura que resulta se le agregan átomos de silicio entre las partículas esféricas del polímero. Esto es porque el silicio tiene un alto índice de refracción y es el que conducirá a los fotones.



De tal forma, que una vez formado el cristal fotónico, una onda se conduciría así:



Sabiendo ahora, que los componentes fotónicos serían considerablemente de menor tamaño que los componentes electrónicos, se ha pensado en desarrollar los circuitos de la nueva era, los circuitos fotónicos, esto reducirá notablemente el tamaño de los aparatos, ahora fotónicos, y al mismo tiempo serán altamente eficientes comparados con los aparatos electrónicos.

Así pues las mayores aplicaciones de estos cristales, en primera instancia serían en el campo de las telecomunicaciones y de la computación. Con respecto a las

telecomunicaciones, los costos bajarían (o deberían bajar) pues la pérdida de información es “nula” y con los cristales fotónicos no sólo se puede enviar una señal a la vez, sino que se pueden transmitir señales simultáneas; en conclusión para la aplicación en las telecomunicaciones aumentaría la cantidad de información que se puede enviar mientras se utiliza menos energía para lograrlo.

Hablando de la aplicación en la computación, sencillamente se espera que en unos cuantos años se hable en los mercados de las computadoras fotónicas, aquellas que estén compuestas mayormente por componentes elaborados de cristales fotónicos, la velocidad de los procesos se elevaría generosamente y generarían mucho menos calor que los actuales ordenadores.

También se ha supuesto que la continuidad máxima de los fotones en un cristal fotónico sirve para crear relojes altamente exactos, al grado de que se atrasen o adelanten un segundo ¡cada un millón de años!

En conjunto, la tecnología “de punta” actual y las más avanzadas

ciencias de la ingeniería, que representan costos millonarios, esperan desarrollar la estructura que sea la materia prima para la próxima generación de computadoras y para el despegue de las telecomunicaciones como el modo de comunicación por excelencia; sin embargo, resulta curioso que en la naturaleza ya existan estas estructuras, que se encuentren en las “simples” escamas de un escarabajo brasileño (el *Lamprocyphus augustus*) y que formarlas no haya costado ni un centavo.

## Referencias

- 1.- <http://ciencias.jornada.com.mx/ciencias/investigacion/ciencias-fisico-matematicas/investigacion/circuitos-fotonicos-el-potencial-de-una-nueva-tecnologia>
- 2.- <http://www.lecturasparacompartir.com/ciencia/cristalesfotonicos.htm>
- 3.- <http://www.imm.cnm.csic.es/cristalfotonico/cristalesfotonicos1.htm>
- 4.- [http://www.tendencias21.net/Cristales-fotonicos-transmitiran-la-informacion-por-ondas-de-luz\\_a1925.htm](http://www.tendencias21.net/Cristales-fotonicos-transmitiran-la-informacion-por-ondas-de-luz_a1925.htm)
- 5.- [http://www.sabersinfin.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=923&Itemid=89](http://www.sabersinfin.com/index.php?option=com_content&task=view&id=923&Itemid=89)
- 6.- <http://www.solociencia.com/quimica/08070702.htm>
- 7.- <http://www.tupublicas.com/docs/16-19-04-03-2004-expocien.pdf>

**Marco Antonio Nieto Rueda**

*hnieto@hotmail.com*

**Alumno del Segundo Semestre de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.**

---

Versión digital: <http://dcb.fi-c.unam.mx/Publicaciones/Naturalis/>

Dudas o comentarios: [velasquez777@yahoo.com.mx](mailto:velasquez777@yahoo.com.mx)