

EDUCACIÓN en FÍSICA

ISSN: 0797-9045

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay



Tacuarembó - Uruguay
Encuentro Nacional de
Profesores de Física
"Prof. Zoraida Viera"

Asociación de
Profesores
de Física



del Uruguay

EDUCACIÓN EN FÍSICA

Volumen 6 N° 7

Setiembre 2003

Depósito Legal:

299222/03

Redactor Responsable:

Sandry Ramírez

Consultores de Redacción:

Carlos Zamalvide

Mario Guerra

Claudia Caggiano

Gustavo Carbonell

Wellington Mazzotti

Colaboraron en este número:

Adriana Echarte

Adriana Machado

Alejandra Delgado

Ana Piccininno

Educación en Física es una revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay, que se distribuye gratuitamente entre sus socios. Precio: U\$S 5

Comisión Directiva de A.P.F.U

Pablo García

Alejandro Villamil

Claudia Varaksa

Alejandra Delgado

Fernando Brito.

Dirección de la Revista

Gaboto 1435 / Of. 002

Montevideo cp 11200

Telefax: 598 2 400 1258

E-mail: rev_apfu@i.com.uy

apfu@adinet.com.uy

Publica: Ediciones IDEAS

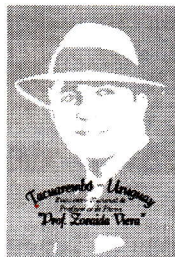
Mercedes 1786

11200 Montevideo-Uruguay

Telefax: 408 6985

E-mail: edideas@adinet.com.uy

MEC:Ed. amparada por Decreto 218/996



Portada: composición con imágenes del "mago" y paisajes de Tacuarembó

EDITORIAL

Estimados colegas, lectores y amigos, difícil ha sido el tiempo entre la presente edición y la anterior, mucha la desazón y la desesperanza, muchos eventos han transcurrido en estos últimos tiempos, pero henos aquí, dispuestos pese a todo a salir adelante y volver con nuestra publicación tratando de ganarle a todo «bajón».

No fue poco lo que pasó en este tiempo, muchos compañeros de camino han partido y nos han dejado el premio de haber compartido mucho con ellos y mucho para reflexionar. El camino ya no es el mismo y no será lo mismo sin ellos. Desde los más hondo de nuestra existencia: ¡Hasta siempre compañeros!

Caminamos ahora hacia nuestro XIII Encuentro Nacional de Profesores de Física, declarado de interés por muchas organizaciones de la cultura nacional, y vamos acompañados por la fuerza vital de quienes siempre estarán allí.

Hemos ido superando muchas dificultades de diversa procedencia para llegar hasta la presente, pero como siempre queda claro, que la constancia y empecinamiento de quienes aman la profesión será siempre el motor principal, promotores de la permanencia de esta publicación que se nos hace tan necesaria. A todos ellos, los anónimos y los nombrados, gracias! y por favor sigan así!

La redacción ha intentado ceder el lugar a otros, pero hasta ahora no lo consiguió y por lo tanto agradece sinceramente la confianza de la Comisión Directiva y de todos los compañeros que siguen apoyando esta labor. Afortunadamente nos gusta mucho lo que hacemos y prometemos, hasta que la energía nos alcance ponerle la «garra» para mantener junto a todos nuestra querida publicación.

Fuerza compañeros, confianza en un futuro mejor y en ese camino que la Física los acompañe.

La Redacción

CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN

Esta aplazada y esperada edición, luego de un largo trajinar, cumple con una selección de muy variada temática, que abarca desde una presentación hecha en nuestro anterior Congreso por un colega que extrañábamos en estos ambientes, hasta un trabajo de profundo contenido teórico-práctico proveniente de una pasantía en Facultad de Ciencias.

Capítulo aparte merece el resultado de un taller del mismo Congreso, que se convirtió en decisión de asamblea de nuestra APFU y fuera enriquecido con aportes vertidos en aquella oportunidad y en posteriores. Trabajo que sirve de base de pensamiento, reflexión y argumentación frente a aquellos que, en el desconocimiento, la omisión o la falta de bases reales de funcionamiento, creen que no estamos preocupados, que nos «dejamos estar» esperando que todo evolucione favorablemente sin aportar nuestra experiencia vívida para una mejor enseñanza de la Física.

Aunque estamos acostumbrados, contamos también con un desarrollo del Prof. M. Guerra, asiduo colaborador de nuestra publicación, quien demuestra más allá de los contenidos, una rica y vasta experiencia junto a un conocimiento extenso de los «entremeces» históricos que sirven de marco narrativo a la evolución de las ciencias, sacude nuestra red neuronal y nuestra base de conocimientos generales.

A animarse y enviar trabajos los invito. Hasta la próxima.

CÓMO ENVIAR SUS TRABAJOS

Pueden ser enviados para su publicación, contribuciones de diversos tipos: trabajos prácticos, teóricos, divulgación, tesis de doctorado, notas, comentarios de libros, sugerencias “web”, software, consejos prácticos y todo artículo, original o no, que nuestros lectores crean conveniente.

- 1.- Los trabajos deben enviarse por duplicado, archivos de computadora e impresos. En ambas debe figurar el nombre de él o los autores, dirección, lugar de trabajo, un breve currículum y de ser posible, un resumen temático.
- 2.- Las citas bibliográficas se relacionarán al final del trabajo por orden alfabético, indicando:
 - a) Para artículos de revista: apellido del autor(es), año, título del artículo encomillado, título completo de la revista, volumen, número y páginas.
 - b) Para libros: apellido del autor(es), año, título del libro subrayado, editorial, lugar, número de páginas y número de edición, en caso de que el libro sea traducción, indicar entre paréntesis autor de la traducción, nombre original de la obra subrayado, edi-

torial y año; dentro del texto las referencias se indicarán dando apellido(s) y año entre paréntesis.

- 3.- Los archivos pueden ser enviados por correo electrónico a la dirección de la revista o a la de la Asociación; enviando el texto con los objetos incrustados y los objetos por separado, mapa de bits (8 bits) o 256 tonos de gris, en lo posible se respetarán los formatos originales, pudiendo variar a criterio editorial y en función de necesidades de compaginación, los tamaños de las ilustraciones.
 - 4.- Para simplificar el proceso de armado, sería conveniente que los trabajos llegaran por la vía mencionada en 3.-, enviados por correo común o alcanzados a la Revista acompañados del archivo informático correspondiente, debidamente etiquetado.
- Esperamos sus trabajos, consejos, críticas y sugerencias en:

La dirección de A.P.F.U.
apfu@adinet.com.uy

La dirección de la revista
rev_apfu@i.com.uy

El rol del Laboratorio en la Enseñanza de la Física

**Documento de trabajo #2 – XII Encuentro Nacional de Profesores de Física Asociación de Profesores de Física del Uruguay
Carmelo 20 de setiembre de 2002**

En este tiempo de transformaciones, dentro de las condiciones actuales de nuestra educación, vislumbramos y creemos que un cambio en el enfoque de la enseñanza de la Física es necesario. Este pasa básicamente por la necesidad de dignificar, valorar y explotar toda la riqueza en el aprendizaje con cambios conceptuales significativos que promuevan avances reales en las estructuras cognitivas del alumno por medio de los trabajos en el laboratorio.

Es allí donde se produce la interacción de lo conceptual y su verificación práctica, con lo cual se genera la confianza en los resultados de la aplicación de un método que derivará en la autoconfianza. Esta autoconfianza genera la capacidad de aplicación de los modelos y eventualmente el desecharlo para proponer otro cuando no satisfaga los conceptos que explica.

Es fundamental la comunicación creativa del trabajo experimental, tanto verbal como escrita, pues implica alcanzar un grado superior de comprensión de los fenómenos estudiados.

El trabajo en el laboratorio genera la flexibilidad y la responsabilidad necesaria para el desarrollo de nuestros jóvenes en esta sociedad cambiante y competitiva, tanto profesionalmente como humanamente.

Como afirmamos en el documento de trabajo #1 (Paso Severino):

«La enseñanza de la Física es formadora y estructura el pensamiento, al aplicar un

programa de investigación, desarrolla el espíritu crítico y el pensamiento de tal forma que los estudiantes adquieren los elementos fundamentales de razonamiento, para interpretar el lenguaje de los nuevos conocimientos y en este sentido alfabetiza.»

«Física es una de las asignaturas que permite la elaboración de un modelo de interpretación y predicción, a partir de base racional en su relación concreta con la realidad. La construcción de modelos físicos permite la presunción de la existencia de otros modelos en otras ramas del conocimiento, con otros parámetros.»

«... Física es la asignatura ideal para planear las características de una ciencia natural, en lo referente a la relación entre lo experimental y lo conceptual.»¹

Todo problema implica la elaboración de un modelo explicativo. La vida de todo ser humano es un constante enfrentarse a situaciones problemáticas e intentar resolverlas. Para ello modela la situación, es decir, la interpreta y trata de predecir su evolución de la mejor manera posible. Algunos modelos no pueden ser contrastados. En Física los modelos son de tal sencillez que pueden ser rápidamente puestos a prueba. «Se trata, en todos los casos, de la resolución de un problema sobre cuya solución es la Naturaleza misma la que hace de juez inapelable.» (Loedel)²

La experimentación en el laboratorio es la instancia que obliga al estudiante a enfrentar situaciones que requieren la elaboración de modelos particulares del experimento que deben de estar enmarcados en un modelo físico más general.

¹ Documento de trabajo #1 – Encuentro Paso Severino 1,2,3 de marzo de 2002 – Primeras Jornadas «EL ROL DE LA FÍSICA EN LA ENSEÑANZA MEDIA»

² Loedel, Enrique. *Enseñanza de la Física*. Kapeluz, 1949

Cuando uno elabora un modelo pone en juego su visión del mundo. Se busca una coherencia racional entre el modelo y esa visión. Esto implica describir los rangos de validez de ese modelo, el que también puede predecir el comportamiento de los fenómenos relacionados al problema.

«En la enseñanza no basta instruir; lo fundamental es educar. Y educar, en este caso, es hacer que la personalidad del alumno no se sienta absorbida por la del maestro; que el motivo de la aceptación de las afirmaciones no sea la autoridad de éste ni la de los textos escritos; que en cada caso adquiera conciencia de que por sí mismo hubiera podido llegar a tales o cuales resultados; que se sienta actor y autor frente a los hechos, percibiendo con claridad cuál ha sido el camino seguido por sus predecesores; que conserve la independencia de su mente y hasta una honrada rebeldía intelectual, que hagan que solo se someta a los hechos y a su propio juicio. Que aprenda a utilizar sus manos y su mente; que sepa del fracaso aleccionador, y que se sienta en sí mismo la alegría que proporciona la aprehensión del fruto tras un prolongado esfuerzo.» (Loedel)

Es importante la siguiente aclaración: el desarrollo de las habilidades como observación, manipulación, clasificación, registro de datos, trabajo colectivo con criterio individual, desarrollo del espíritu inquisitivo, a nivel de educación en los primeros años de educación básica puede alcanzarse con la enseñanza de cualquier ciencia experimental.

En los años intermedios y en los últimos años de la enseñanza media se continuará estas competencias acordes al nivel del desarrollo del educando. La competencia fundamental a desarrollar en esta etapa es la de elaboración, contrastación y aplicación de modelos que permitan interpretar la realidad.

Los modelos de la física son suficientemente sencillos como para que en el espa-

cio del aula puedan ser elaborados, contrastados y aplicados en forma completa

Todo trabajo experimental requiere de una instancia de comunicación escrita y verbal. El informe debe ser creativo, que refleje claramente el proceso seguido en la elaboración y corroboración de los modelos.

El lenguaje debe ser de una sencillez, precisión y claridad que implique el manejo de los diferentes códigos del lenguaje científico.

Lograr una comunicación final adecuada de los resultados demuestra la adquisición del grado de madurez esperado en el proceso enseñanza-aprendizaje y es un paso a estructuras cognitivas más amplias

Presentamos solo a modo de ejemplo un experimento ya realizado durante algunos años con estudiantes. Se debe entender que otras formas distintas de trabajo pueden conducir a los mismos logros.

Se presenta el problema de conocer la trayectoria de un proyectil de baja velocidad en el aire.

Se elabora un modelo teórico general que permita explicar lo que se observa.

Se proyecta un dispositivo que permita contrastar, mediante la experimentación, ese modelo en un caso particular. Es deseable que el modelo particular refleje, lo más directamente posible el modelo general.

Se monta el dispositivo, se toman los datos, se realiza la contrastación y se concluye sobre la validez del modelo.

Queremos resaltar la importancia de que el estudiante sea conciente de que está modelando la realidad.

En una segunda etapa se explora el poder predictivo del modelo.

Se le propone al estudiante que determine la ubicación de un blanco para que sea alcanzado por el proyectil, conocidas las condiciones iniciales.

Se realiza la prueba y se observa en los estudiantes asombro, motivación e interés

al verificar que se cumple la predicción. Estas reacciones de los estudiantes las interpretamos como un aumento en la confianza de la aplicación y funcionamiento de los modelos para interpretar la realidad.

Condiciones para lograrlo

El laboratorio

Es el lugar natural para realizar las actividades experimentales. Además es el lugar de referencia para que los estudiantes organicen sus cursos; allí están las guías experimentales, la biblioteca, bancos de problemas, recursos informáticos y todo el material para que pueda rehacer sus experimentos contando al menos con un ayudante preparador por turno para asesorarlos y apoyarlos en las dificultades que encuentren. Son muchos los estudiantes que toman el laboratorio como lugar de estudio. Muchas veces es allí que los alumnos llegan con inquietudes distintas, «cosas que quieren probar», que no necesariamente son parte de los cursos curriculares, por ejemplo, cuestiones de relatividad, estudio de sonido de instrumentos musicales.

No son pocas las vocaciones docentes y de investigación que han encontrado en el laboratorio un ámbito que los incentiva y motiva.

Para los profesores el laboratorio es el lugar de «sala permanente» donde se genera intercambio de información, coordinación de cursos, trabajos escritos y exámenes, discusión de temas didácticos y de la disciplina.

Equipo humano

El ayudante preparador es el docente encargado de asegurar el funcionamiento del laboratorio. Es el que se encarga de tener el equipo en funcionamiento, preparar los experimentos a realizarse, atender la biblioteca y a los alumnos. Es la persona referente del laboratorio para profesores y estudiantes.

Debe recibir una formación permanente para mantener el material así como apoyar a los estudiantes y al cuerpo docente en tareas innovadoras.

Es preocupante que en algunos institutos se trate de sustituir al preparador por horas de apoyo docente. Este no es el mecanismo adecuado para el funcionamiento del laboratorio ya que al no tener una permanencia y continuidad del profesor en este espacio no se asegura el buen desarrollo de las funciones.

No obstante creemos que es fundamental que haya horas de apoyo de los docentes para las necesidades curriculares de los alumnos y para la elaboración de proyectos.

El coordinador es el nexo con la dirección y la inspección. Coordina con la sala integrada por los profesores y preparadores del instituto los cursos teóricos y prácticos. Actúa como orientador para los nuevos docentes. Coordina con el instituto y la inspección las dificultades de funcionamiento (horas vacantes, mesas de examen, etc.).

El coordinador debe de ser un referente y por lo tanto ser propuesto por la sala regional docente entre uno de sus miembros y por un tiempo limitado.

Curso experimental

Para lograr las competencias de los primeros años es necesario el trabajo experimental en subgrupos lo que se logra en cualquier ciencia experimental.

Las competencias fundamentales para lograr en los cursos de Física en las siguientes etapas exigen un trabajo experimental a realizarse en grupos reducidos (de no más de 8 alumnos) a cargo de un docente con clases de duración no menor de un módulo. Solamente de esta manera los estudiantes podrán manipular el material y discutir el modelo, las estrategias, el trabajo a realizar y las conclusiones respetando las ideas de cada uno y con una buena interacción con el docente.

La modalidad de trabajo de los subgrupos deberá estar coordinada en salas.

**Mociones aprobadas en la Asamblea
Anual del 16/9/2002 Carmelo-Colonia**

1. Realizar un comunicado de prensa por parte de la A.P.F.U, en donde se deje claramente manifestado que la misma no participó en la elaboración de la propuesta de la TEMS para la reforma de la EMS. Comunicarnos previamente con otras asociaciones para en el caso de que estén en la misma situación, realizar el comunicado en conjunto. Diego Viera.

Resultado. AFIRMATIVA (mayoría.)

2. Dada la necesidad de contar con propuestas concretas, respecto a la Enseñanza de la Física, uno de nuestros principales fines, se propone la creación de un grupo de trabajo o comisión que elabore un conjunto de documentos que defina el perfil y el propósito de la Enseñanza de la Física; y su posterior difusión. A. Parrella, P. Garateguy, L. Terra.

Resultado AFIRMATIVA.

3. Pasar a cuarto Intermedio hasta el jueves 19/9 a las 22 h con el objetivo de considerar el documento de trabajo que se elaborará en el taller N 11" El rol del

laboratorio en la enseñanza de la física»
Gustavo González

Resultado: AFIRMATIVA

4. Propongo se reactive la pág. Web de la A.P.F.U con el agregado de un foro abierto (que podría complementarse con un canal de chat) destacando una sección donde los profesores de Física (no sólo uruguayos) puedan aportar ideas acerca de los temas discutidos hoy y sobre todo lo que tenga que ver con la enseñanza de la Física. Sandry Ramirez

Resultado :Unanimidad.

5. Lugar del próximo encuentro Nacional. Tacuarembó

Resultado Afirmativa.

6. Nombrar Com electoral A. Piccinino, Marta Gamio, Fernando Brito.

Resultado Afirmativo

7. La asamblea de la A.P.F.U hace suyo el documento de trabajo « el rol del laboratorio en la Enseñanza de la Física elaborado en el VI EIEF y resuelve dar la mayor difusión al mismo.

Unanimidad

LEONARDO DA VINCI (1452-1519)

«Ninguna investigación humana puede ser denominada ciencia si no pasa a través de pruebas matemáticas.»

«Huye de esos estudios cuyo resultado muere con el que los hace.»

«No existen conocimientos más elevados o más bajos, sino un conocimiento único que emana de la experimentación.»

«Muchos pensarán que tienen motivo para reprocharme, diciendo que mis pruebas contradicen la autoridad de ciertos hombres tenidos en gran estima por sus inexperimentadas teorías, sin considerar que mis obras son el resultado de la experiencia simple y llana, que es la verdadera maestra.»

«No es posible describir el proceso del movimiento del agua a no ser que se defina primero qué es la gravitación y cómo se origina y cesa.»

Cuaderno de Notas. Leonardo da Vinci

W E B

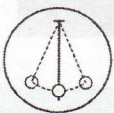
Primera Recomendación

En «pañales» aún pero mejorando día a día a partir de su nueva aparición en una mejor locación: <http://www.fisica.edu.uy/apfu>



Asociación de Profesores
de Física del Uruguay

[¿Quiénes somos?](#)[Socios](#)[Comunicados](#)[Encuentro](#)[Documentos](#)[Revista](#)[Links](#)[Contactos](#)



Asociación de
Profesores
de Física

del Uruguay

¿Quiénes somos?

La A.P.F.U. (Asociación de Profesores de Física del Uruguay) se fundó el 21 de setiembre de 1989. Nuestra asociación carece de fines de lucro, ideología filosófica, política o religiosa alguna. Reconocemos como única finalidad el mejoramiento de la enseñanza de la Física; procurar que dicha enseñanza sea cada vez más significativa y eficiente en todos los niveles educativos y promover el estudio y la investigación en Física y contribuir al perfeccionamiento docente.

La asociación está dirigida por una comisión de cinco miembros, electos cada dos años por los socios.

Agradecemos al Instituto de Física de la Facultad de Ciencias por alojar nuestro sitio.

Última actualización: 25/08/2003

Segunda Recomendación

Por si no leyó el trabajo de Carmelo (pág. 3) le decimos «Ensino de Física sem laboratório é como uma laranja sem suco»

<http://www.materlaprima.pro.br/corpo.html>

Física

- ▶ Cinemática
- ▶ Gravitação
- ▶ Termologia
- ▶ Calorimetria
- ▶ Gases
- ▶ Eletricidade
- ▶ Ondas

Educação

Mecânica

- ▶ Hidrostática
- ▶ Termodinâmica
- ▶ Luz e Cores
- ▶ Óptica Geométrica
- ▶ Eletromagnetismo
- ▶ Física Moderna



*Imagination is
more important
than knowledge.*
Albert Einstein

*"Ensino
de Física sem
laboratório é
como uma laranja
sem suco."*
*Comentário de uma aluna
durante uma aula de laboratório.*

Para alunos

- ▶ Livros de Física do GREF
- ▶ Livros do Telecurso 2000
- ▶ Livro: Física na Escola Secundária
- ▶ Convite à Física
- ▶ Biografias : Newton, Galileu, Aristóteles ...
- ▶ Obra completa de Galileu Galilei
- ▶ Prêmio Nobel de Física
- ▶ Simuladores Visual Physics
- ▶ Experimentos legais para você fazer
- ▶ Feira de Ciências
- ▶ Experimentos com material do dia-a-dia
- ▶ Laboratório Didático Virtual
- ▶ Faça uma luneta de baixo custo
- ▶ Projeto Interage - vários softwares
- ▶ Aprenda@+ - trabalhos, aulas e pesquisas

Tercera Recomendación

Interesante sitio de Física Cuántica de Eusebio Paisano Moya

<http://home.worldonline.es/calambre/>



Cuarta Recomendación

http://www.tinet.org/~sje/Index_sp.htm

Esta página está dedicada a proporcionar información sobre Aplicaciones ElectroMagnéticas, desde la generación de electricidad hasta los efectos de los campos electromagnéticos sobre nuestra salud.

Aplicaciones ElectroMagnéticas.

Tecnología para un mundo mejor.

http://www.tinet.org/~sje/index_en.htm English
http://www.tinet.org/~sje/index_sp.htm Español

Quinta Recomendación

Yakov I. Perelman



Sus obras más conocidas son: «Física Recreativa», «Aritmética Recreativa», «Matemáticas Recreativas», «Geometría Recreativa», «Astronomía Recreativa», «Mecánica Recreativa», «Física a cada paso», «Trucos y pasatiempos» y otras. Ahora cada lector culto conoce estos libros. También escribió varios libros dedicados a los problemas de los viajes interplanetarios como «A las estrellas en cohete», «Viajes interplanetarios», «Lejanías del Universo» y otros. Yakov Isidorovich Perelman murió el 16 de Marzo de 1942 en sitio de Leningrado por las tropas alemanas.

http://www.geocities.com/yakov_perelman/

Sexta Recomendación

<http://gallilei.lespana.es/gallilei/fls/fls-recreativa0.htm>



OTRAS

Aquí se da cabida a otras posibles visitas que nos han sugerido para investigar y criticar.

¿Ud., qué opina? <http://usuarios.lycos.es/antigravedad/home.htm>

Universo Inteligente <http://perso.wanadoo.es/gallileus2001/>

¡Ciencia Interactiva! <http://www.lowy-robles.com/>

La Física tiene la respuesta(cambió) www.ugr.es/~agros/ctv/ugr/home.htm

¿Fuerza Cinética? ¿Mecánica Clásica? <http://www.lanzadera.com/torassa>

EL MATE:

rasgo cultural inconfundible

Mucho se habla acerca del **mate uruguayo** como elemento imprescindible en toda reunión de Profesores o gente consustanciada con la Física y aunque sabemos que no es exclusividad, sí podemos afirmar que en momentos de elaboración, cuando se discuten temas de nuestra materia o de la enseñanza de la misma, siempre hay un **mate** y que su presencia colabora en la gestación de muchas de las cosas que en esas reuniones se producen.

Lo que sigue pretende invocar un estándar en su preparación que, creemos, es compartido por la mayoría de los "profes", a la vez que pretendemos sirva de *tutorial* para aquellos/as que *envidian sanamente* a aquellos/as a quienes no se les "lava" el mate ni se les llena de "infelices ilusiones" de completar el termito cuando todavía sale con espuma.

¿Qué se necesita?

- Yerba (popularmente es lo primero)
- Mate (de mate, no de madera ni de vidrio ni mucho menos ¡forrado en aluminio!)
- Bombilla (también algún elemento de limpieza para la misma)
- Caldera (es muy recomendable pues un

buen mate se toma con agua calentada a fuego)

- Agua (sin gas)
- Fuente para elevar la temperatura del agua (ni se le ocurra "sun" o "micoondas")
- Termo (muy recomendable, no conviene tomar agua recurrentemente hervida usando solo la caldera)

Primer paso

Calentar el agua: generalmente se debe calentar hasta justo que empieza a hervir pues si el agua hierve "mucho" entonces se "desoxigena" y el mate queda un tanto "metálico"; también el tomarlo con agua muy caliente aumenta las posibilidades de contraer afecciones en la lengua, boca y esófago.

Mate y Yerba.

En el paso del llenado del mate es imprescindible no poner yerba de más. Más o menos se llena hasta las 3/4 partes. (En realidad cuanto yerba ponemos depende de la forma del mate y



sobretudo del tipo de yerba, hay algunas que “hinchán” más que otras) Luego de echarle la yerba se tapa la boca del mate con la palma de una mano y se inclina para que la yerba quede también inclinada, se vuelve a colocar el mate sobre la mesa con cuidado para que la yerba se mantenga en posición. Este paso es muy importante de verdad, ya que va a permitir que la yerba se “hinche” de forma correcta

“Agüita” p’al mate

Llenamos el termo, lo tapamos y con el agua que resta en la caldera comenzamos a preparar el agua para hinchar la yerba.

Tomamos una taza o vaso resistente y le echamos el agua caliente de la caldera más o menos hasta la mitad. Luego la dejamos reposar un rato para bajarle un poquito la temperatura al agua y no quemar la yerba al hincharla.

“Hincharlo”

El “hinchado” de la yerba es la parte fundamental para lograr un mate espumoso y rico.

Se coloca esa agua preparada en la parte profunda del mate, mojando solo la mitad de la yerba que contiene y esperamos unos minutos hasta que esta esté hinchada.

Variante de viaje o de ausencia de calorímetro: colocamos la bombilla y dejamos resbalar el agua por la misma para que mientras viaja hacia la parte profunda se enfríe un poco. (sólo en caso de necesidad).

El resultado final debe ser: un pequeño “piso” de yerba mojada y una parte alta de yerba seca arregladas convenientemente.

Antes de empezar a cebar se arregla la yerba, se empuja un poco para formar una pared o escalón entre la parte donde vamos a echar el agua y la yerba restante. Queda el mate dividido en dos y es lo que trataremos siempre de mantener, la mitad donde se echa el agua y la otra mitad donde queda yerba a la espera de las “vueltas”.

Cebando

Se echa el agua en el lado de la bombilla que está a nuestra derecha (hacia el antihorario del mate) y se ofrece con la mano izquierda (“atenti” zurdos).

Método “champagnoise”: después de que el mate fue bien sorbido (con un buen sonido final), se recibe el mate, se levanta la bombilla, se corre en sentido antihorario la yerba que estaba inicialmente alrededor de la bombilla, se la vuelve a insertar 1º más adelante en sentido horario y se vuelve a colocar agua sobre la yerba que movimos.

“Vuelteando”

Las vueltas deben “darse” siempre en sentido horario (el sur también existe) y aceptan dos topologías básicas: bus y star tired ; aunque es más conocida la del estilo parecido al Token Ring. La primera es la más “social”, hay un orden y a cada participante de la “rueda” le toca por su orden; la otra consiste en uno para el primero/a otro para el cebador, otro para el segundo otro para el cebador ...; la última: “che! ¿a quién le toca?”.

Se terminó el agua

¡Que lástima! Todavía le queda vida y espuma para compartir, prepárese otro termito que si se lava lo ensillamos (sacrílego) y seguimos andando.

Por críticas o ampliaciones venga por la redacción que lo invitamos con un mate.



Curiosos Casos, Cosas Curiosas

La Garra del León

El 29 de enero de 1667 Newton recibía una carta procedente de Basilea que contenía dos problemas. Aunque también había sido enviada, además de a Newton, a otros matemáticos del continente, uno de sus principales objetivos era medir la destreza del genio inglés en el uso del recientemente desarrollado cálculo diferencial.

El remitente de la misiva era Johann Bernoulli (1667-1748) aunque Gottfried Leibniz (1646-1716), que mantenía con Newton varias disputas, también había influido en su envío. Además de Leibniz y Newton, Johann Bernoulli y su hermano Jacob participaron en gran medida en el desarrollo del cálculo diferencial. La conocida regla de L'Hôpital es en realidad obra de Johann.

La carta llegó a manos de Newton a las 6 de la tarde y a las 4 de la mañana ya había resuelto ambos problemas. A la mañana siguiente Newton envió las soluciones al presidente de la Royal Society. Las soluciones fueron publicadas en forma anónima en el número de febrero de 1697 de *Philosophical Transactions*. Newton resolvió en unas horas lo que a muchos matemáticos de la época le hubiese costado toda una vida. Varignon, L'Hôpital o David Gregory que también habían recibido los problemas no fueron capaces de resolverlos.

Pese al anonimato con que se publicaron las soluciones, por la elegancia de las mismas, Bernoulli reconoció de inmediato a su autor y al leer el artículo en *Philosophical Transactions* exclamó: «*Ex unge leonis*» («de las garras del león»).

Fuente: *La Ciencia es Divertida*

Cuestión de Gravedad

Mucha gente piensa que un pequeño imán no está realizando una tarea formidable cuando levanta un clavo encima de una

mesa. **Nima Arkani-Hamed**, sin embargo, piensa lo contrario. El señala que el clavo tiene a su favor todo el poder de la fuerza de gravedad de la tierra, pero ni así puede resistir al imán. ¿Por qué es tan débil la fuerza de gravedad?

Arkani-Hamed y otros colegas proporcionan una explicación para esta cuestión que ha intrigado a los físicos durante décadas. La razón por la cual la gravedad es una fuerza débil en el universo es que en realidad no pasa mucho tiempo aquí. (¿?).

Tradicionalmente, las cuatro fuerzas fundamentales que mantiene unido al universo son: la gravedad, la fuerza nuclear potente, la fuerza nuclear débil y el electromagnetismo; siendo estas últimas tres más poderosas que la primera, aunque no siempre fue así.

Para la mayoría de los físicos cuando se creó el universo, durante el *Big Bang*, las cuatro fuerzas eran simétricas y de fuerza equivalente, así como también eran simétricas en el universo joven las partículas subatómicas. Esta elegante simetría desapareció y la fuerza de gravedad cayó a una pálida sombra de lo que supo ser. **Arkani-Hamed** y sus colegas proponen que esto es sólo una ilusión.

La fuerza de gravedad sigue siendo tan fuerte como antes, pero no ejerce toda su potencia en el universo perceptible. A diferencia de las demás fuerzas actuantes, la gravedad opera frecuentemente en dos o tres dimensiones adicionales a las cuatro ya conocidas. Cuanto más tiempo pasa en estas dimensiones «extra» más débiles son sus efectos en las dimensiones habilitadas por los seres humanos.

Esto parece alocado pero, una de las mejores explicaciones de por qué el universo es como es parte de la base de que en él existen de hecho, diez dimensiones. Es la llamada «teoría de las cuerdas», según la cual las fuerzas y partículas que actualmen-

te conforman el universo son en realidad vibraciones de pequeñas cuerdas compuestas de estas diez dimensiones (seis de las cuales están limitadas a dichas cuerdas y por tanto no resultan perceptibles en el mundo a escala humana). Algunas de esas cuerdas son «*abiertas*», tienen extremos y sus vibraciones corresponden a las fuerzas nucleares potentes, débiles y electromagnéticas y a las partículas que interactúan en dichas fuerzas. Otras cuerdas son «*cerradas*» como aros y sus vibraciones corresponden a la fuerza de gravedad.

Otra consecuencia de esta teoría es que, mediante la adición de una undécima dimensión el universo puede dividirse en las llamadas membranas, que son regiones con menor número de dimensiones que el espacio que las rodea. Electromagnetismo, fuerzas nucleares débiles y potentes están confinadas en sus membranas y por eso también están limitadas a este universo, lo cual ocurre porque los extremos de las cuerdas que las componen tienden a «*pegarse*» a la membrana en cuestión. Pero las cuerdas de la fuerza de gravedad no tienen ex-

tremos que se «*peguen*» y por eso pueden moverse libremente en varias otras dimensiones, donde no afectan a la materia pegada a las membranas del universo observable. Por eso parece una fuerza tan débil.

Lo malo que esta teoría sugiere que las dimensiones por las que se mueve la gravedad pueden ser infinitamente grandes, lo que significa que por lo menos una parte de la energía gravitatoria que penetra en esas dimensiones nunca volverá. El universo puede ir perdiéndose lentamente al ir desapareciendo una de sus fuerzas más importantes.

Se están realizando experimentos diversos en el Laboratorio nacional Fermi de Chicago y el CERN en Ginebra tratando de descubrir la pérdida de energía en las dimensiones adicionales y a medir la fuerza de gravedad a menos de un milímetro. Si las teorías de **Arkani-Hamed** y sus colegas revelan ser ciertas, entonces es posible que el universo no sea eterno.

(Extractado de **The Economist**, enero de 2000)

SEGREDO DA ANTIGRAVIDADE

- I. Aproximar todos os problemas para casos Ideais.
- II. Dispensar todas as funções que divergem como sendo « sórdidas » e « não científicas ».
- III. Invocar o princípio de Incerteza sempre que confronta matemáticos confusos, químicos, engenheiros, psicólogos, dramaturgos.
- IV. Uso extenso de « Matemática » empírica onde matemáticas convencionais não trabalharão.
- V. Escolher condições iniciais convenientes, usando o princípio da trivialidade geral.
- VI. Usar argumentos de plausíveis em lugar de provas, e apresentar os argumentos como prova.
- VII. Assumir fé em qualquer princípio que parece certo mas não pode ser provado.

Modelos y oscilaciones en edificaciones

Prof. Ing. Pablo Otero

Nota de Redacción: la presente son las diapositivas correspondientes a la presentación realizada por el Prof. Ing. Pablo Otero en el último congreso de nuestra Asociación realizado en la ciudad de Carmelo Colonia. La inclusión de esta y otras presentaciones obedece al pedido de aquellos concurrentes al evento y de quienes por no haber podido concurrir así lo han solicitado.

Diapositiva 1

Modelos y oscilaciones en edificaciones

- Resolución de modelos estructurales sencillos mediante equilibrio de fuerzas. Predimensionado
- Análisis de las oscilaciones libres en las estructuras. Fuerzas dinámicas. Criterios de confortabilidad

Diapositiva 2

Estructuras de barras



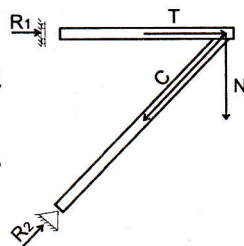
Estas estructuras se componen de barras, las cuales soportan solamente esfuerzos normales.

Las fuerzas se aplican en las uniones de barras. La sencillez de estas estructuras radica en que se resuelven por medio de equilibrios de fuerzas, con el auxilio de diagramas de cuerpo libre.

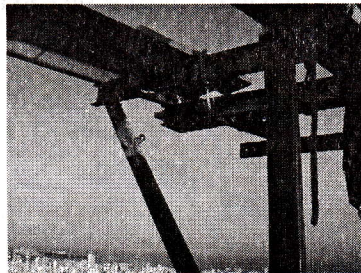
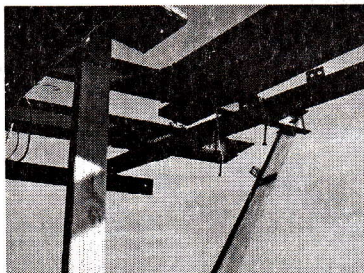
Diapositiva 3

Como ejemplo sea el soporte de un guinche, constituido por 2 barras

La fuerza exterior es N , entonces por descomposición de fuerzas, se puede hallar las fuerzas T y C que «solicitan» las barras.



Diapositiva 4, 5 y 6



Diapositiva 7

Predimensionado

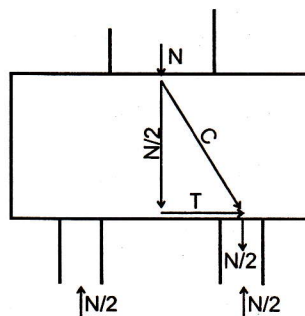
Si F es la fuerza sobre la barra, y Ω el área de la sección, la tensión a la que está sometida es $\sigma = F / \Omega$ donde σ debe ser menor que la tensión admisible por el material elegido.

Entonces se trata de verificar la sección de área conocida, ó determinar la mínima sección que resiste el esfuerzo.

Diapositiva 8

Otros modelos resueltos por descomposición de fuerzas

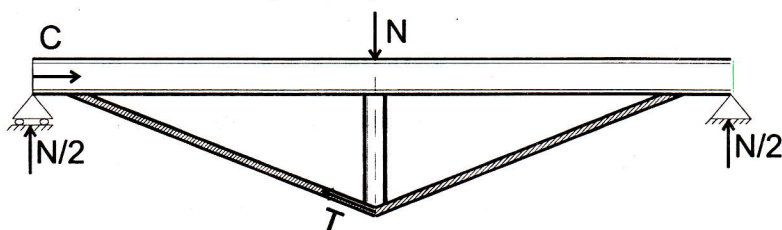
Cabezal de fundación: Sobre éstos descansan los pilares. Es habitual que para cargas altas un solo pilote no sea suficiente, en ese caso el cabezal debe distribuir la carga. La compresión C la lleva el hormigón, en tanto la tracción T , armadura de acero.



Diapositiva 9

Viga atensorada

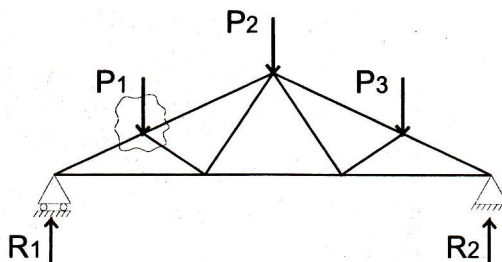
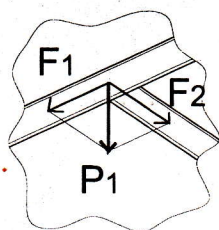
Muy común en pequeños galpones. La fuerza C es tomada por un perfil metálico, mientras que la tracción es soportada por armadura de acero. Obsérvese que si se invierte la acción exterior N , la armadura puede «pandear»



Diapositiva 10

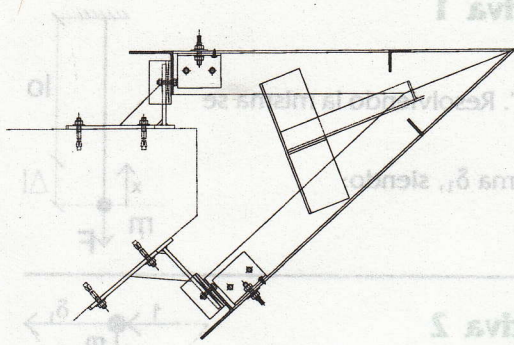
Cercha

Común en grandes galpones. Conocidas las acciones exteriores y mediante D.C.L. se determinan las fuerzas en cada barra.



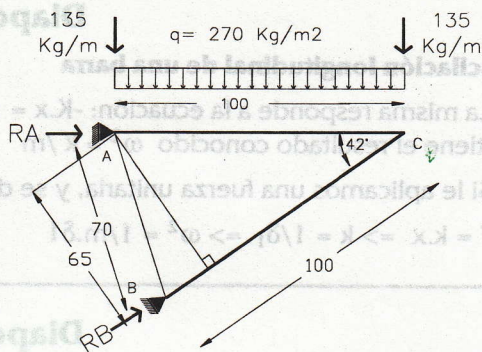
Diapositiva 11

Verificación de ángulo de granito



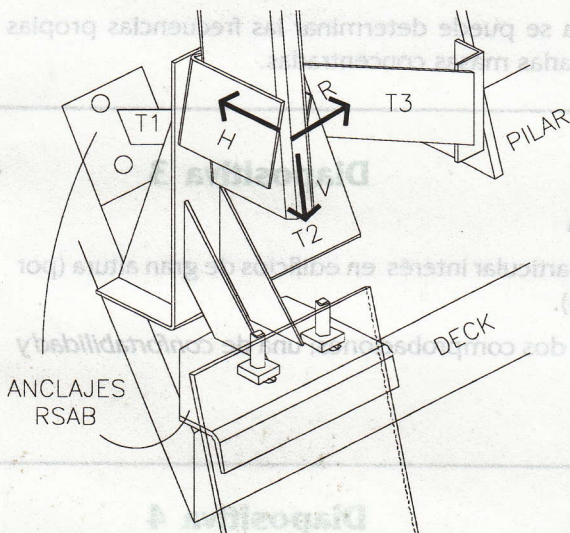
Diapositiva 12

Modelo estructural



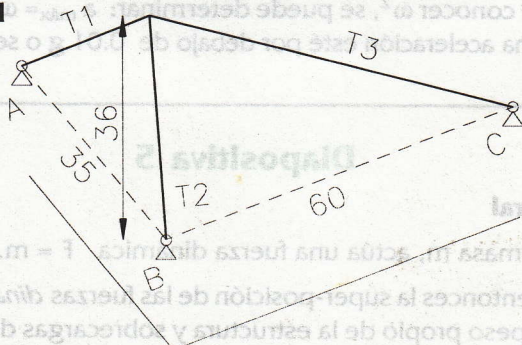
Diapositiva 13

Anclaje buña



Diapositiva 14

Modelo estructural



T2 T3 ≡ PLANO VERTICAL

Oscilaciones

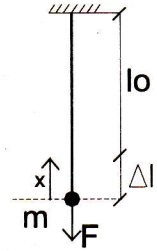
Diapositiva 1

Oscilación longitudinal de una barra

La misma responde a la ecuación: $-K \cdot x = m \cdot x''$. Resolviendo la misma se obtiene el resultado conocido $\omega^2 = k / m$

Si le aplicamos una fuerza unitaria, y se deforma δ_1 , siendo:

$$F = k \cdot x \Rightarrow k = 1/\delta_1 \Rightarrow \omega^2 = 1/m \cdot \delta_1$$



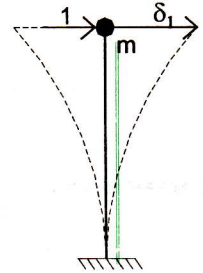
Diapositiva 2

Mensula Vertical

Tanque de agua ó torre con mirador,

$$\delta_1 = L^3/3 \cdot E \cdot I \Rightarrow \omega^2 = 3 \cdot E \cdot I / m \cdot L^3$$

En forma análoga se puede determinar las frecuencias propias para una ménsula con varias masas concentradas.

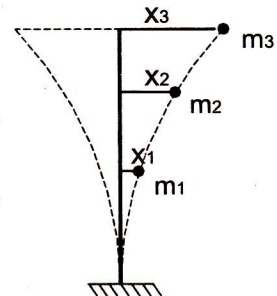


Diapositiva 3

Edificios de Altura

Este caso es de particular interés en edificios de gran altura (por ejemplo torre Antel).

Se deben realizar dos comprobaciones; una de *confortabilidad* y otra *estructural*.



Diapositiva 4

Confort de los ocupantes

El indicador más representativo de la confortabilidad, es la aceleración de la oscilación y no su deformación. Al conocer ω^2 , se puede determinar: $a_{\text{máx}} = \omega^2 \cdot x_{\text{máx}}$. Estudios cualitativos sugieren que dicha aceleración esté por debajo de $0.01 \cdot g$ o sea $\approx 0.1 \text{ m/s}^2$

Diapositiva 5

Verificación estructural

Sobre cada piso de masa m , actúa una fuerza dinámica $F = m \cdot a_{\text{máx}}$

Se debe considerar entonces la super-posición de las fuerzas *dinámicas* más las *estáticas* (*verticales* debidas al peso propio de la estructura y sobrecargas de uso y las *horizontales* debidas al viento y ó sismo).

Diapositiva 6

Oscilaciones forzadas

Si sobre la estructura actúa una fuerza perturbadora de período W , la ec. dif. es:

$$-K \cdot x + P_0 \cdot \sin \Omega \cdot t = m \cdot x''$$

La solución homogénea se mantiene ($\omega^2 = 1/m \cdot \delta_1$) y se requiere la solución particular, de la forma $\delta \cdot \sin \omega \cdot t$; resta determinar δ . Sustituyendo se llega a

$$\delta = P_0 / m \cdot (\omega^2 - \Omega^2) = P_0 \cdot \delta_1 \cdot \beta \quad \beta = 1 / (1 - \Omega^2 / \omega^2)$$

Diapositiva 7

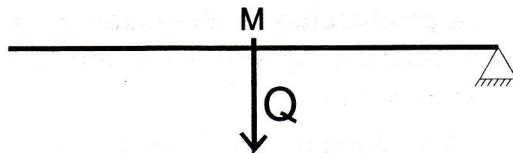
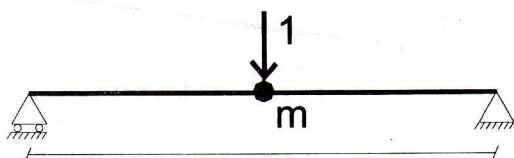
Resonancia

Cuando ambas frecuencias son próximas, la amplitud de la oscilación se incrementa notoriamente. Se trata de alejar ambas frecuencias, o amortiguar la estructura, lo que hace decrecer a β . La aceleración se incrementa según: $a_{\max} = \omega^2 \cdot P_0 \cdot \delta_1 \cdot \beta$

Y en forma análoga lo hacen las fuerzas sobre la estructura.

Diapositiva 8

Ejemplo



EDICIONES



*Un proyecto
editorial
al servicio
de estudiantes
y autores uruguayos.*

**HISTORIA - MATEMÁTICA
LITERATURA - FILOSOFÍA
CIENCIAS SOCIALES - ECOLOGÍA
ADMINISTRACIÓN - DERECHO
FÍSICA - QUÍMICA**

**Descuentos especiales para
estudiantes y docentes**

Mercedes 1786 - 11200 Montevideo
Telefax: 408 6985 - E-mail: edideas@adinet.com.uy

**Solicite
Catálogo**

Estimados Compañeros:

Asumimos el compromiso de integrar la directiva en el convencimiento de la importancia de la Asociación para la Enseñanza de la Física.

Procuraremos continuar el trabajo de las directivas anteriores manteniendo los logros alcanzados en especial:

La publicación periódica de nuestra revista, en este punto agradecemos al profesor Sandry Ramírez su voluntad de continuar como redactor responsable de la misma.

La realización de un encuentro anual, en este momento nos encontramos abocados a la organización del encuentro de Tacuarembó que ya cuenta con la participación de 160 compañeros.

La producción de documentos donde la Asociación exprese su opinión acerca de la enseñanza de la física iniciada en Paso Severino.

Actualmente la asociación cuenta con 804 socios de los cuales 40 han ingresado en los últimos dos meses. Nos proponemos para este año la actualización del padrón social así como la optimización del sistema de cobranza de la cuota social.

Se ha conseguido la creación de una nueva página web de la asociación en este punto queremos agradecer especialmente al instituto de Física de la Facultad de Ciencias por cedernos el espacio para la página y a nuestro compañero Sebastián Rodríguez por encargarse de construirla y mantenerla.

La dirección de la página es www.fisica.edu.uy/apfu y ya esta habilitada.

Porque la Asociación depende de todos contamos con el apoyo de cada uno de ustedes.



Comisión directiva de A.P.F.U:

Pablo García, Alejandro Villamil, Claudia Varaksa, Alejandra Delgado, Fernando Brito.

Este año hemos perdido compañeros que han sido motores de nuestra Asociación, pensando en ellos, transcribimos estas líneas de E. Galeano

Un hombre del pueblo de Neguá, en la costa de Colombia, pudo subir al alto cielo.

A la vuelta, contó. Dijo que había contemplado, desde allá arriba, la vida humana. Y dijo que somos un mar de fueguitos.

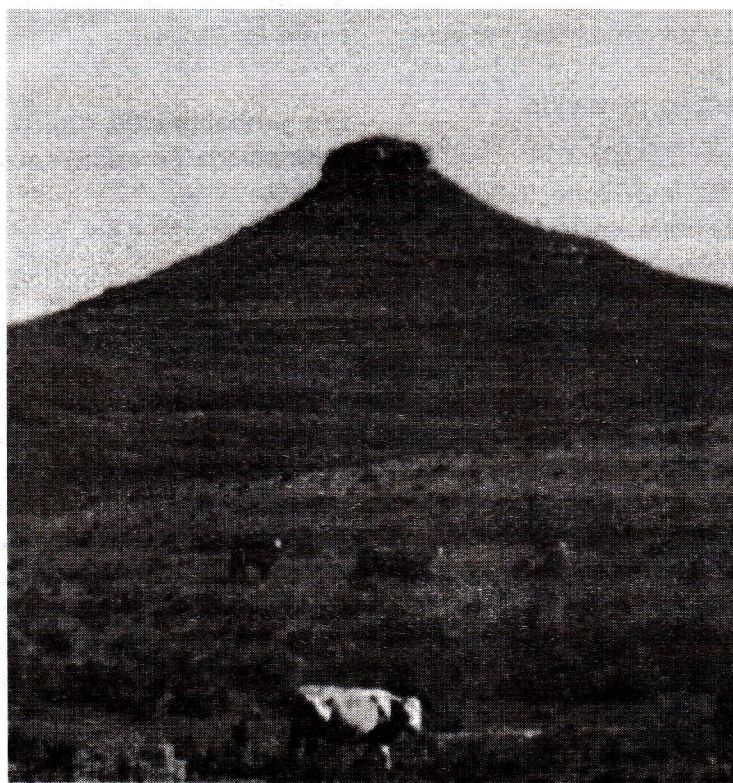
El mundo es eso -reveló-. Un montón de gente, un mar de fueguitos.

Cada persona brilla con luz propia entre todas las demás.

No hay dos fuegos iguales. Hay fuegos grandes y fuegos chicos y fuegos de todos los colores. Hay gente de fuego sereno, que ni se entera del viento, y gente de fuego loco, que llena el aire de chispas. Algunos fuegos, fuegos bobos, no alumbran ni queman; pero otros arden la vida con tantas ganas que no se puede mirarlos sin parpadear, y quien se acerca, se enciende.»

Porque recordar es volver a pasar por el corazón.

En memoria de Zairaida Viera , Lucia Terra y Tomas Ashfield



FÍSICA DEL HUMOR

Hay 10 tipos de personas: los que saben binario y los que no.

...

Convite para um congresso - Reação dos físicos

Marie e Pierre Curie estavam radiantes de felicidade.

Einstein estava relativamente curioso.

Ampere estava preocupado com as pesquisas correntes.

Ohm resistiu.

Boyle alegou estar sob pressão.

Thomas Edison achou a idéia brilhante.

Heisenberg estava incerto quanto a sua presença.

Hertz prometeu que futuramente aumentará sua frequência.

Henry estava induzido em não comparacer.

Darwin alegou que é necessária mais evolução.

Schroedinger precisou levar seu gato ao veterinário.

Descartes estava pensando.

Newton sofreu um acidente de carro

Ya en la fiesta, felizmente, Teobaldo, que estava na porta, era um estudante de graduação, e pode observar algumas coisas:

Todos gravitaram ao redor de **Newton**, mas ele só ficou se movimentando por ali a uma velocidade constante e não mostrou reação.

Einstein achou que aquele era um momento relativamente bom.

Coulomb ficou com uma grande carga da coisa toda.

Cauchy, sendo o único matemático ali, ainda tentava se integrar bem com todo mundo.

Pascal estava sob muita pressão para se divertir.

Ohm passou a maior parte do tempo resistindo às opiniões de

Ampère sobre os eventos correntes.

Volt pensou que a vida social tinha muito potencial.

Heisenberg podia estar ali ou não.

Todo mundo ficou atraído pela personalidade magnética de **Tesla**.

Bohr comeu demais e ficou com uma dor atômica.

Watt se tornou um potente orador.

Hertz voltou à mesa de buffet várias vezes por minuto.

Faraday tinha uma bela capacidade para comida.

Oppenheimer tomou bomba.

...

P: Quantos mecânicos quânticos são necessários pra se trocar uma lâmpada?

R: Eles não conseguem! Não têm como localizá-la!

...

Um probabilidade é uma tentativa desesperada de que o caos se torne estável.

...

Escrito em algum lugar: **Heisenberg pode ter estado aqui.**

...

Le preguntan a un Físico:

- Tú que harías si vieras una casa ardiendo y justo enfrente una manguera sin conectar a una boca de riegos?
- La conectaría, obviamente.

- ¿Y si la casa no estuviese ardiendo, pero la manguera estuviese conectada?

- Quemaría la casa, desconectaría la manguera y luego usaría el método anterior.

Energía Radiante y Antenas

Prof. Mario Guerra - Consultor de UNESCO

*La Teoría Electromagnética, contiene infinidad de temas de relevante importancia teórica y técnica. Por este motivo, es importante **seleccionar** aquellos temas del cuerpo general de la teoría, que pueden resultar accesibles e interesantes en un curso de Física con carácter de introducción. Aunque se analicen esos temas en forma parcial, por las dificultades conceptuales ó analíticas que ellos encierren. Uno de estos temas, es lo referente a la aplicación de la Teoría de Campos son las "antenas". Es probable, que los Docentes encuentren aquí, algunas ideas útiles que rescatar, para ampliar su propuesta en el aula.*

1. Energía Radiante- Aspectos generales- Limitaciones

La energía radiante es físicamente similar a la "luz". Podemos considerarla desde un punto de vista ondulatorio, y alternatively como un *flujo de fotones*, que *constituyen los "elementos corpusculares de su estructura"*. El planteo tradicional de la radiación aplicada a los problemas técnicos, se realiza con la base de las ecuaciones de propagación afines a las ondas. Sin embargo, un tratamiento "híbrido", que resalte la estructura fotónica de la radiación, puede resultar más clara y permite avanzar en conceptos elementales, pero esenciales, que normalmente implican una dificultad mayor.

La diferencia entre los "fotones de luz" y los "fotones de la radiación", consiste solamente en que los primeros transportan *más energía al disponer de mayor frecuencia*.

La cuantificación, es un aspecto general de la naturaleza. La gravitación consta de "gravitones"; la energía acústica de "fonones". **Cuando las interacciones son electromagnéticas**, la energía asociada se distribuye en "fotones".

Hay tres aspectos importantes a señalar en primer lugar:

- la energía radiante viaja con la velocidad de la luz *en el vacío*, (aunque en la materia es menor) $c = 299.7924562 \text{ km/s} \approx 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$, que es una buena aproximación para la mayoría de las situaciones. Como consecuencia, la radiación **no se**

puede examinar con el modelo de Newton, por tratarse de estructuras y fenómenos de naturaleza cuántico-relativistas;

- en la materia, la radiación interactúa con átomos y moléculas. En estas interacciones, la radiación cede parte de su energía. Un medio se dice *transparente*, cuando la energía radiante se **absorbe por átomos y moléculas, parcialmente**; cuando la absorción se cumple en su totalidad, se dice *opaco*.
- toda la materia (los fotones no son excepción), presenta aspectos de partícula y de onda. Estos aspectos, se revelan en forma diferente, según el fenómeno que consideremos, y *no son aspectos agregados, sino una "cosa indivisible" que en ciertas condiciones se "muestra como onda" y en otras condiciones, se "muestra preponderantemente como partícula"*. Este es el contenido de la "dualidad onda-partícula" descubierta por de Broglie. Los cuerpos de "grandes dimensiones ó simplemente a nuestra escala", tienen aspectos ondulatorios *poco perceptibles* a nuestra escala.

Es usual hablar de "radio-ondas", haciendo pesar más *el aspecto ondulatorio*, aunque deberíamos referirnos más precisamente a "radio-fotones", ya que de esta manera consideramos *todos los aspectos físicos*, al tener en cuenta la dualidad onda-partícula.

El análisis de la radiación como "**radiación de fotones**" es un enfoque del siglo XX, aunque la "teoría clásica" de la radia-

ción, derivada de las ecuaciones generales de Maxwell, ha sido construida a partir del concepto de “onda”. La teoría de Maxwell, es de naturaleza “fundamental”, puesto que en apariencia describe con excelente precisión, los fenómenos conocidos. Sin embargo, esta teoría es *aproximada, y basada en conceptos no completamente exactos*. Por lo pronto, *las aplicaciones* de las “ondas electromagnéticas”, no exceden a las frecuencias de los 500 Ghz (5×10^{11} hz). Pero además, **hay razones teóricas que fijan un límite superior de frecuencias a la validez del modelo de Maxwell: 10^{19} hz**. Generalmente, esta frontera se conoce como “límite superior de la teoría de la radiación de los campos”. Por encima de esa frecuencia, el modelo debe plantearse como “electrodinámica cuántica”, que se construye en una forma diferente. Sin embargo, la teoría de Maxwell, *es la que habitualmente utilizan los ingenieros en la mayoría de las situaciones que se le plantean*.

2. La teoría clásica de Maxwell- Necesidad de un enfoque alternativo

La idea de “fuerza a distancia” fue siempre algo de naturaleza insatisfactoria para Maxwell. Prefería pensar las interacciones en términos de “tensiones” y “contracciones” de un medio elástico (llamado “éter electromagnético”) que llenaba la totalidad del universo. Con esta idea, Maxwell desarrolla un modelo mecanicista de la interacción electromagnética. En particular de los efectos observados por Faraday. Uno de los problemas del modelo así planteado, es la necesidad de introducir, además de los campos **E** (volt /m) y **H** (ampère vueltas /m), dos campos complementarios: **B**, vinculado al “flujo” y **D**, llamado “desplazamiento eléctrico”. *Ninguno de estos dos campos tiene “existencia física real”*.

Aunque la teoría es considerablemente precisa, **hoy sabemos que falla cuando los**

aspectos cuánticos son relevantes o significativos.

Maxwell presenta sus ecuaciones como relaciones entre los campos y al campo electromagnético tal como lo producen las cargas y las corriente, aunque también considera la forma en que este campo “se propaga por el espacio y el tiempo”.

El *campo electromagnético* se encuentra representado por “la componente eléctrica **E**” y por “la componente magnética ó flujo **B**”.

Las ecuaciones en un medio homogéneo e isótropo son:

$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$ [Ley de Gauss para el campo **D**]

$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0$ [Ley de Gauss para el campo magnético **H**]

$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$ [Ley de Ampère para corrientes de cargas y corrientes de desplazamiento]

$\nabla \times \mathbf{E} = - \mu \cdot \partial \mathbf{H} / \partial t$ [Ley de Faraday]

Estas ecuaciones se completan, con relaciones constitutivas: **B** = $\mu \cdot \mathbf{H}$; **D** = $\epsilon \cdot \mathbf{E}$

Las ecuaciones se presentan con un aspecto *asimétrico*:

- mientras la ecuación de la ley de Gauss para las cargas, dispone de un segundo miembro en general no nulo, la correspondiente ley para el campo magnético tiene segundo miembro *siempre nulo*. Esto lo interpretamos así: **no existen “cargas magnéticas” distribuidas o no es posible separar la “carga norte de la carga sur”**.
- Las ecuaciones “rotacionales”, son similares, *salvo por la presencia del vector densidad de corriente **J***, que **no** tiene “contrapartida magnética”. Al no existir, “cargas magnéticas aisladas”, no existen “corrientes magnéticas formadas por cargas magnéticas de una sola clase”.

Entre 1881 y 1887, Michelson y Morley, demostraron que la hipótesis de Maxwell, sobre la existencia del “éter electromagnético”

co", era imposible de sostener dado que no era posible revelar su existencia. Se trataba de una "hipótesis superflua" introducida por Maxwell. Esto **ataca la base de la teoría** que en su deducción, Maxwell suponía tácitamente su existencia. Es necesario recordar aquí, que la teoría de Maxwell se *elaboró como un modelo mecánico*. No obstante, aunque las ideas que constituyen la base del modelo de Maxwell, son erróneas, **se ajustan correctamente a las observaciones**.

No obstante, no es este aspecto sobre los fundamentos de la teoría el punto más observable, sino el formato matemático de las mismas que las vuelve de difícil manipulación. En general, son sencillamente inadecuadas para dar soluciones sencillas en diversas situaciones reales de interés práctico, a menos que se realicen hipótesis muy severas que limitan al problema que se analiza.

La alternativa que se nos presenta a este problema, es enfocar las situaciones a partir de la Física Cuántica. En general, este planteo es inviable. La regla entonces es: *utilizamos las ecuaciones de Maxwell, siempre que podemos y la Física Cuántica, cuando no tenemos otra variante ó cuando **debemos hacerlo por la naturaleza del problema que no ofrece otro camino***.

En parte, los recursos del Cálculo Numérico, el apoyo proveniente del área de la Computación, han resuelto gran parte de los problemas de cálculo que las ecuaciones de Maxwell ofrecen como insalvables. *Esta es la forma en que actualmente, quienes aplican las ecuaciones de Maxwell a los problemas de radiación electromagnética resuelven aproximadamente sus problemas*.

3. Solución de las ecuaciones de Maxwell: las ondas progresivas

Sabemos que **existen** soluciones de las ecuaciones de Maxwell de ondas progresivas electromagnéticas, que transportan campos ortogonales **E y H contenidos en un**

plano. No son las únicas, puesto que se pueden encontrar soluciones "esféricas", "cilíndricas", ... etc. Estas ondas avanzan con velocidad "c". Esto conduce a la relación fundamental: $f \cdot \lambda = c$.

Esta conclusión, condujo a Maxwell a la idea de que la **luz** misma era una onda electromagnética, lo que estaba de acuerdo con medidas realizadas anteriormente por los llamados "espectroscopistas" acerca de las longitudes de onda de diferentes radiaciones monocromáticas.

Los campos **E** y **H**, son dos campos en fase(esto significa que alcanzan sus valores máximos y mínimos en el mismo instante y lo mismo ocurre cuando se anulan), perpendiculares y oscilantes en el tiempo.

Si ponemos: $E = |E|$ y $H = |H|$, podemos introducir una constante "natural" del problema: $Z_{\text{espacio}} \equiv E / H$, que se mide en " Ω " y que se designa como "**Impedancia del espacio libre**". El cálculo muestra que esta impedancia es $120\pi \approx 377 \Omega$.

Asimismo, la densidad superficial de potencia transportada por la onda electromagnética es el "vector de Poynting": $P = E \cdot H$ (w/m²). Este vector se halla ubicado perpendicular al plano de los campos viajeros.

Introduciendo la impedancia anterior: $P = |P| = E^2 / 120\pi$

Como en general, el campo eléctrico, es de medida relativamente sencilla en muchos casos, la relación anterior es muy útil.

La teoría anuncia la existencia de "otras" ondas electromagnéticas de menor frecuencia que la luz (mayores longitudes de onda). Aquí aparece el experimento de Hertz que confirma la predicción. Utilizó un circuito resonante, activado por una chispa, generándose una onda de frecuencia conocida que operaba como "antena". De este modo se activaba a otro circuito resonante, donde se establecía a su vez, una chispa. Las ondas generadas por Hertz en su experimento eran de longitud de onda de algunos centímetros (región de las llamadas *microondas*).

4. La interpretación cuántica

El “éter electromagnético” de Maxwell y Hertz no es necesario considerarlo, según establecen los experimentos de Michelson-Morley. Para un modelo basado en emisión de fotones, la existencia de un medio como el éter, **es irrelevante, así como el concepto de “acción a distancia”**.

Para caracterizar una **partícula**, es necesario conocer la **energía y el momentum**; para una **onda** las magnitudes características son la **longitud de onda** y la **frecuencia**. Las relaciones de la dualidad, relacionan estas cuatro magnitudes:

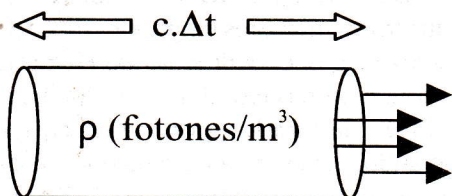
$$E = h \cdot f \quad p = h/\lambda$$

El valor pequeño a nuestra escala de la constante de Planck, explica el “éxito” de las teorías macroscópicas. Cualquier situación real, **exige un flujo de fotones muy grande**, por lo que es necesario considerar **valores promediados**.

En Física Cuántica, el “principio de correspondencia” establece que las conclusiones clásicas deben ser mantenidas con validez en el modelo cuántico.

¿Cuál es el **significado** de las ondas electromagnéticas en un modelo cuántico? Consideremos un flujo de fotones. En un intervalo de tiempo Δt , estos fotones viajan un segmento “ $c \cdot \Delta t$ ”. Si consideramos un **cilindro** de base “ A ” y arista “ $c \cdot \Delta t$ ”, y llamamos “ n ” al **número de fotones que emergen por segundo que atraviesa la base**, tenemos:

$$n \cdot \Delta t = \text{fotones que atraviesan a la base}$$



Si “ p ” es la densidad **volumétrica** de fotones, la totalidad de los que pueden atravesar la base es también: $p \cdot A \cdot c \cdot \Delta t$. Entonces: $n \cdot \Delta t = p \cdot c \cdot \Delta t$, de manera que se tiene **$n = A \cdot c \cdot p$**

Cada fotón, transporta una energía “ $h \cdot f$ ”, de manera que la energía por segundo (potencia) que pasa por el área “ A ” es:

$$|P| = n \cdot h \cdot f = |A \cdot c \cdot h \cdot p| = E^2 / 120\pi$$

Esta relación demuestra que la densidad volumétrica de fotones es proporcional al cuadrado de campo eléctrico que transporta la radiación. Por otro lado, **la probabilidad “ p_r ” de encontrar un fotón en cierto volumen es proporcional a la densidad de fotones**. De manera que la probabilidad resulta proporcional a “ E^2 ”: $p_r \propto E^2$

Esta relación, nos describe un hecho físico: la onda electromagnética en el sentido de Maxwell, nos mide a partir de E^2 , **la probabilidad de encontrar allí un fotón de la radiación**. El vector de Poynting, (que generalmente lo interpretamos como una medida del “flujo de energía por metro cuadrado”) nos dice que se trata de una magnitud que **también mide la probabilidad de encontrar en ese punto un fotón de la radiación**.

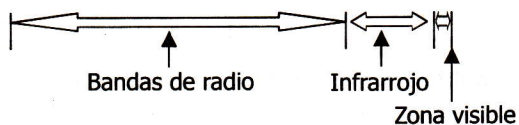
Si los fotones que forman al flujo, tienen la misma frecuencia, diremos que se trata de radiación monocromática. Si los fotones provienen de una misma fuente emisora y sus funciones de onda se encuentran todas en fase, diremos que se trata de “emisión coherente”. Las radio-antenas, producen radiación sensiblemente coherente, en forma similar a lo que ocurre con un “laser”; los cuerpos “calientes”, en general, emiten en **diversas** frecuencias, de manera que se trata de “emisión no coherente”. Las antenas que se comportan de esta forma, “emiten con ruidos”. Pero este hecho, **no siempre es “malo”**. En radioastronomía, la existencia de “ruidos” es importante, porque denuncian la existencia de cuerpos lejanos y calientes.

En el caso de radiación coherente, el número de fotones presentes es muy grande, pero las funciones de onda asociadas a cada fotón se encuentran en fase, con la misma frecuencia, de manera que pueden ser tratados como **una única onda electromagnética**. Esta es una razón que explica el éxito de la teoría matemática de Maxwell en la práctica.

5. El espectro electromagnético

Esquemáticamente, la situación es así:

$\log_{10} E \text{ (J)}$	-33	-30	-27	-24	-21	-18	-15
$\log_{10} f \text{ (Hz)}$	0	3	6	9	12	15	18
$\log_{10} \lambda \text{ (m)}$	8	5	2	-1	-4	-7	-10



La región de frecuencias de 30 GHz a 300 GHz, se denomina EHF; la región de 3 a 30 GHz, se denomina SHF. Las dos forman la "región de las microondas". Anti-

guamente a la región de 30 a 300 kHz, se le llamaba de "ondas largas"; a la región de 300 kHz a 3 MHz, de "ondas medias" y de 3 MHz a 30 MHz, zona de "ondas cortas".

La radio tecnología se "dedica" fundamentalmente con la región de las bajas frecuencias en el espectro electromagnético. Excepto en el tope de estas frecuencias, los fotones no son suficientemente energéticos, para interactuar con el gas y las moléculas de vapor de agua de la atmósfera. Resulta así que la atmósfera es *transparente para estas señales de radio frecuencia, porque la absorción es muy débil*.

Aspectos generales sobre las antenas

1. Elementos esenciales de la transmisión de potencia Antenas emisoras y receptoras

La energía que llega a una antena es proporcionada por una corriente alterna, cuya frecuencia coincide con la frecuencia que la antena debe emitir. Esta corriente es generada en un *radio-transmisor* y enviada a la antena mediante una *línea de transmisión* o "feeder" (alimentador). Una antena *ideal* sería capaz de emitir toda la energía que recibe. Para que esto ocurriera no deberían existir pérdidas. Aunque esto *no es posible, sí* es posible **acotar algunas de esas pérdidas**.

Una parte de la energía suministrada a la antena se pierde en efectos térmicos y no es radiada. Se llama **eficiencia** de la antena a la relación entre la potencia de entrada a la antena y lo efectivamente radiado: α (eficiencia) $\equiv P_r$ (potencia radiada)/ P_i (potencia suministrada a la antena) < 1

La energía emitida por la antena, es generalmente recibida en otro dispositivo dotado de antena: **el receptor**.

De la misma manera que las ecuaciones de la Mecánica Clásica son simétricas ante el cambio "t" en "-t", las ecuaciones de Maxwell, también lo son. Esto también ocurre en el modelo cuántico de la radiación. Esto significa que las ecuaciones de Maxwell "trabajan del mismo modo" independientemente del sentido en que fluya la potencia. Las ecuaciones que describen la transferencia de la línea de transmisión a la antena y de la antena a la línea de transmisión, son las mismas. **Por este motivo, en principio, las antenas que se utilizan para la emisión se pueden utilizar para la recepción y las dos con las mismas características**. La descripción matemática de las dos antenas es la misma.

No obstante, hay algunas *diferencias* entre las antenas emisoras y las receptoras. Estas diferencias, son de carácter práctico. Por ejemplo: en las *antenas de emisión* es necesario aislarlas de altos voltajes, *cuando las mismas deben trabajar en niveles altos de potencia*.

2. La imposibilidad de la emisión isótropa

La clase más simple de **emisor de radiación cuántica** que podemos concebir, es la antena que emite en forma isótropa (emite de la misma forma en todas las direcciones). Conceptualmente, este es el emisor más sencillo. En este caso, si tal "emisor existiera", una esfera centrada en el emisor, con radio suficientemente grande, recibiría por unidad de área la misma cantidad de fotones. Supongamos que tratamos el caso con coordenadas esféricas, y consideramos una esfera de radio "r". Sea "σ" la densidad superficial de fotones por segundo y "ΔA" el área sobre la cual inciden, la cantidad de fotones es: ΔN (número de fotones por segundo) = σ (fotones /s. m²). ΔA

Suponiendo que "σ" no depende del ángulo azimutal φ, tenemos, que el número de fotones emitidos por segundo es: $N = 4\pi \cdot r^2 \sigma$

Esta igualdad, nos permite hallar la densidad "s" de este modo: $\sigma = N / 4\pi \cdot r^2$, de manera que: $\Delta N = N \cdot \Delta A / 4\pi \cdot r^2$

Este es un resultado sencillo e importante: permite determinar la "captura por segundo de fotones" que realiza la antena receptora, provenientes de la emisora.

En otras ocasiones, es mejor calcular "la captura" en función de la potencia. Ya que la potencia es igual al número de fotones por segundo, multiplicada por la energía de un fotón (h.f), tenemos, por un cálculo análogo al anterior: $\Delta P = P_T \Delta A / 4\pi \cdot r^2$ donde "P_T" es la potencia total emitida desde la antena emisora, y "ΔP" la potencia recibida a distancia "r". Esta expresión es válida aun para el caso en que la emisión no sea isótropa.

La cuestión ahora es esta: ¿es posible realizar una antena emisora isótropa? Para analizar esto, supondremos una carga "q" (una pequeña esfera), ubicada en cierto punto del espacio. Se trata de una "antena teórica", donde no explicamos el

mecanismo por el cual la carga se modifica. En este caso, no existen conductores que transporten corrientes de alimentación a la esfera y en consecuencia el potencial vector asociado es nulo. El potencial electrostático creado por esta carga a distancia "r" es:

$$\Phi = q / 4\pi \cdot \epsilon \cdot r$$

Supongamos que la carga cambia con pulsación "ω" y en forma sinusoidal, se tiene:

$$\Phi(r, t) = q_0 \cdot \text{sen } \omega \cdot (t - r/c) / 4\pi \cdot \epsilon \cdot r$$

Si consideramos una simetría perfecta, tenemos que el potencial es una función exclusiva de "r", de manera que, al ser $\partial A / \partial t = 0$:

$$E = \nabla \Phi = (\partial \Phi / \partial r) \cdot (r / |r|)$$

que nos dice que el gradiente apunta solamente en la dirección del radio vector r.

Para hallar el campo, derivamos respecto a "r", como un producto, y tenemos:

$$|E| = E_r = E_{\text{cercano}} + E_{\text{lejano}}$$

En esta expresión:

$$E_{\text{cercano}} = (1 / 4\pi \cdot \epsilon \cdot r^2) \cdot q_0 \cdot \text{sen } \omega \cdot (t - r/c)$$

$$E_{\text{lejano}} = (-1 / 4\pi \cdot \epsilon \cdot r) \cdot (\omega / c) \cdot q_0 \cdot \cos \omega \cdot (t - r/c)$$

De estas expresiones concluimos:

- el campo se encuentra exclusivamente en la dirección de r, para cualquier dirección que consideremos;
- el campo total, es la adición de dos campos, uno proporcional a (1/r) y otro proporcional a (1/r²). Cerca de la esfera, el campo "lejano" es muy pequeño.

Existe entonces un rango de distancias donde el campo "cercano" predomina, y un rango de distancias grandes, donde predomina el campo "lejano". Si consideramos el cociente de los dos campos, tenemos:

$$|E_{\text{cercano}} / E_{\text{lejano}}| = c / r \cdot \omega$$

Pero: $\omega / c = 2\pi / \lambda$. De manera que el cociente de los campos anteriores, se puede

escribir así: $\lambda/2\pi r$. De manera que a una distancia de algunas longitudes de onda, tenemos el lugar "crítico". Se trata de una longitud llamada "distancia de transición cercano- lejano". Para distancias mayores a la longitud de onda, el campo "lejano" es de mayor preponderancia.

Aunque hemos encontrado una posible antena que irradia en todos los sentidos, hay dos problemas para concretarla:

- Es sencillo **pensar en una esfera colgante cargada**. Pero **variar su carga en el tiempo** implica **unirla** a una guía. El flujo de corriente que **entra y sale** por la guía, **modifica esencialmente** las soluciones de las ecuaciones de Maxwell. Con una esfera, *no tenemos entonces en realidad un radiador isótropo*.
- La segunda cuestión es de otra naturaleza. Anteriormente vimos que el flujo de potencia **P** (vector de Poynting) en una onda electromagnética se encuentra normal al plano definido por los campos transportados **E** y **H**. Pero en el caso que estamos analizando, el campo eléctrico es *radial*, de manera que el flujo de potencia hacia puntos lejanos no puede realizarse.

En consecuencia: aunque el sistema es perfectamente simétrico y tiene un campo, no puede "lanzar" campo hacia el exterior. Aunque esta antena isótropa no existe, su análisis encierra elementos valiosos para el estudio de las *antenas reales*.

3. La antena receptora isótropa

Consideremos ahora una antena *receptora* que recibe un flujo de radiación de fotones. La primera cuestión a resolver es: ¿cuántos fotones es capaz de capturar esta antena y cuántos fotones pasan "por el costado" y no son capturados?

Cada antena está caracterizada por una *apertura ó área de captura, centrada en la*

estructura de la antena. Si los fotones pasan a través de esta área, son capturados; los que **no** lo hacen, no lo son. En el caso de una *antena isótropa, esta área se encuentra determinada por la superficie que rodea a la antena hasta la región límite donde el campo cercano es dominante. En el exterior de esta región los fotones se pueden mover libremente*.

El campo cercano, es un campo de *inducción y resulta de la emisión y casi inmediata captura de los fotones involucrados*. Los radio - fotones que ingresan a esta área son capturados, mientras que los que se encuentran fuera de ella, su probabilidad de captura es muy baja. La distancia a la cual se puede considerar importante el campo cercano es, como vimos: $c/\omega = \lambda/2\pi$. Los fotones que se desvía más allá de este radio, tiene baja probabilidad de captura en la antena receptora; los restantes, muy baja probabilidad. Se trata de un límite estimativo.

En consecuencia, los radio fotones que inciden en el área del círculo de área $[\pi(\lambda/2\pi)^2]$ diremos que inciden en el "área de captura (A_c)".

$$A_c \equiv \pi(\lambda/2\pi)^2 = \lambda^2/4\pi$$

Este es un valor teórico, pero sirve de comparación para las aberturas de las antenas reales. La comparación da una idea cuantitativa de la "performance" de la antena particular que tratamos.

Si tenemos ahora en cuenta la expresión de la potencia recibida en función de la potencia total emitida y consideramos la relación obtenida de la "abertura teórica", tenemos:

$$P_r = (P_t/4\pi r^2) \cdot (\lambda^2/4\pi) = P_t \lambda^2/16\pi^2 r^2$$

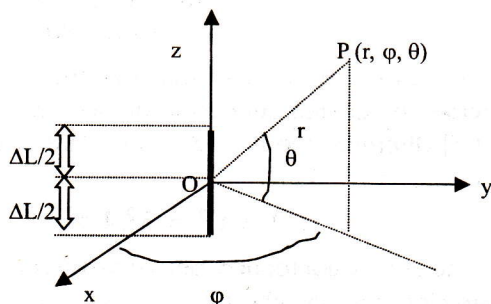
Aquí "r" es la distancia entre las antenas emisora y receptora. En las antenas reales, la potencia recibida puede ser mejor y mucho mejor que en la antena teórica. No obstante las relaciones obtenidas para la antena teórica, son de gran utilidad para la comparación.

El dipolo oscilante

Lo que sigue, se plantea en forma esquemática. La obtención de las expresiones que se mencionan, requiere un proceso de cálculo, que no corresponde a una exposición elemental. No obstante, salvo este aspecto formal, las conclusiones pueden ser tratadas sin grandes dificultades.

1. Los campos del dipolo corto

El caso más sencillo de antena está constituido por una guía recta. Las antenas de este tipo se denominan "antenas de dipolo eléctrico corto" o "dobletes" debido a que terminan en dos puntos en los cuales la carga se recolecta. Si un generador alternado, se conecta en el centro del dipolo, es posible llevar carga en forma alternativa de un extremo al otro.



Son las antenas de mayor interés físico. Para analizarlas, volvemos a las ecuaciones de Maxwell. Supongamos un dipolo de largo " ΔL " dispuesto en forma simétrica en el eje Oz. Consideramos también un punto P que se indican en el esquema.

El dipolo, lo consideramos "corto", cuando su longitud es mucho menor que la longitud de onda de la señal emitida. Para fijar ideas: $\Delta L = \lambda/10$. En esta hipótesis, la **amplitud** de la corriente alternada que circula por la guía, que llamamos " I ", podemos suponer constante: $i(t) = I \cdot \sin(\omega \cdot t)$.

Supondremos también que: $\Delta L \ll r$, donde " r " ubica al punto P, donde realizamos la investigación de los campos.

El potencial vector se encuentra en el eje Oz, porque el vector $\mathbf{J}$, se encuentra en ese eje:

$$\mathbf{J} = J_z \cdot \mathbf{k}$$

Mediante un cálculo *que no detallamos*, se obtiene la componente del campo $\mathbf{H}$, *tangente al meridiano que pasa por P*:

$$H_\phi = (I \cdot \Delta L \cdot \cos \theta / 4\pi) \cdot [(\omega / rc) \cdot \cos \omega \cdot (t - r/c) + (1/r^2) \cdot \sin \omega \cdot (t - r/c)]$$

En forma similar se obtienen las componentes del campo eléctrico: E_r y E_θ . Las restantes componentes son nulas. Del mismo modo que en el radiador isótropo, existen campos cercanos y campos lejanos. La distancia crítica, es otra vez $(\lambda/2\pi)$, que define la "distancia de transición". El campo magnético, *tiene componente no nula en la dirección azimutal*; el campo eléctrico *tiene componente no nula en la dirección cenital*.

El vector de Poynting, queda ubicado en dirección radial. El campo de radiación es el "campo lejano", mientras que el campo cercano es el campo de inducción. Hay una diferencia esencial con la antena isótropa. La expresión del campo H_ϕ *depende del ángulo cenital a partir de $(\cos \theta)$* . Esto significa que la antena no realiza radiación en las direcciones donde el ángulo cenital es $(+\pi/2)$ ó $(-\pi/2)$. En cambio en campo es máximo en $\theta = 0$ y mínimo en $\theta = \pi$.

2. El diagrama polar asociado a una antena- Ganancia de potencia

En una antena real, el diagrama del flujo de potencia emitida no es uniforme. Esto solamente ocurre para la antena teórica (inexistente) que se llama "radiador isótropo".

No es este el caso de un dipolo radiante. Corresponde referirse ahora al diagrama de radiación de una antena, en **puntos lejanos**. Se trata de un esquema en tres dimensiones. Para un radiador teórico, isótropo, el diagrama

ma está formado por una esfera, y es similar para los ángulos cenital y azimutal, ya que la densidad de potencia es la misma en cualquier dirección.

Para un dipolo corto, ubicado en el origen del sistema de coordenadas, el diagrama para el ángulo azimutal es una circunferencia, en virtud de la simetría existente; la situación es diferente para el ángulo cenital, dada la dependencia de " $\cos \theta$ " que señalamos anteriormente. Tenemos ceros en las direcciones $(\pi/2)$ y $(3\pi/2)$; hay máximos en "0" y (π) . En este caso, el diagrama forma en el espacio una figura similar a un anillo o "dona", cuyo eje Oz contiene al dipolo. Para un radiador teórico isotrópico, el diagrama sería una esfera.

Supongamos que la potencia de entrada es la misma para un dipolo corto que para un radiador isotrópico. En este caso, para ángulos azimutales "pequeños" el dipolo emitirá una densidad de fotones superior al radiador isotrópico, de manera que una antena receptora lejana, ha de recibir más potencia de este radiador real que del teórico. La señal recibida ha de ser mayor. Esto conduce al concepto de "ganancia de potencia".

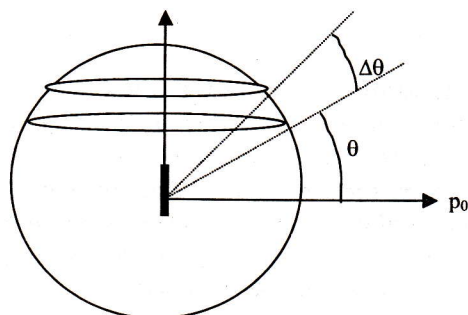
El nombre "ganancia" es engañoso, porque *no se trata de potencia que aparezca de la nada o en forma misteriosa*. La potencia emitida para los dos sistemas, es la misma. Lo que sucede es que *el dipolo distribuye la potencia de diferente forma, concentrando la radiación de fotones en la dirección normal a la dirección de su oscilación*.

Supongamos que la potencia a distribuir en el espacio sea " P " y sea " a " una distancia que tomamos como el radio de una esfera centrada en el origen de coordenadas. Si tenemos un radiador teórico la densidad de potencia en esta esfera es: $p^* = P/4\pi \cdot a^2$

En el dipolo, si llamamos " p_0 " a la potencia emitida para $\theta = 0$, en un ángulo cualquiera se tiene: $p(\theta) = p_0 \cdot \cos^2 \theta$

Consideremos un ángulo entre " θ " y " $\theta + \Delta\theta$ " y la franja correspondiente en una esfera de radio " a ": El área de esta franja es:

$\Delta A = 2\pi \cdot a \cdot \cos \theta \Delta\theta$, de manera que el flujo de potencia es: $\Delta P = 2\pi \cdot a^2 \cdot \cos \theta \cdot p(\theta) \Delta\theta = 2\pi \cdot a^2 \cdot p_0 \cdot \cos^3 \theta \cdot \Delta\theta$.



Entonces, el cálculo detallado revela que: $P = p^* \cdot 4\pi \cdot a^2$; $p_0 = (3/2) \cdot p^*$.

Esta relación dice que el radiador de dipolo corto en el ángulo cenital "0", emite un 50% de potencia más que el radiador teórico. La **ganancia** en esta dirección es entonces, del 50%. Esta ganancia sin embargo es "modesta" comparada con la que se puede obtener con otras antenas. La ganancia calculada antes es la **máxima alcanzable** en la línea de transmisión normal a la oscilación del dipolo. Generalmente, la ganancia se define **respecto al radiador isotrópico**. En otros casos, la definición de "ganancia" se realiza respecto al radiador dipolar.

Dado que las ecuaciones de Maxwell "marchan igual" para la antena emisora que para la receptora, la ganancia de la emisora es la misma que para la receptora.

El comportamiento de la antena dipolar, con su ganancia en la dirección $\theta = 0$, permite *visualizar a la antena desde otro punto de vista*. Podemos ver a la **antena receptora** "como si" hubiera aumentado su área de captura".

Cuando la antena es isotrópica, el área de captura es: $A^* = \lambda^2/4\pi$. Como la captura se incrementa en un 50%, todo ocurre como si el área de la antena receptora aumentara en:

$$A = 3 \cdot \lambda^2/8\pi = (3/2) \cdot A^*$$

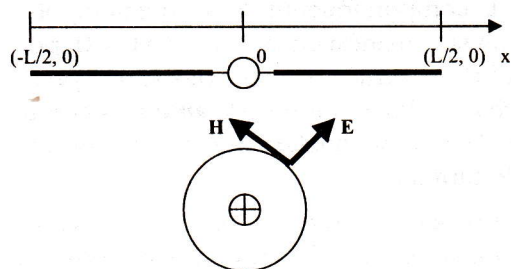
El coeficiente "1.5", corresponde a la dirección que hemos analizado. Para una direc-

ción cualquiera, el área de captura debe multiplicarse por un factor "G", de manera que:

$$A = G \cdot A^* = G \lambda^2 / 4 \pi$$

3. Dipolos largos

Anteriormente, tratamos a los dipolos "cortos", cuya característica principal era que la corriente en ellos, *podía considerarse la misma en todo el dipolo*. Esta aproximación es legítima si la longitud de onda de la oscilación es alrededor de 10 veces mayor que el largo del dipolo. En los dipolos donde esta condición *no se satisface diremos que el dipolo es largo*. Sin embargo un "dipolo largo" se puede considerar como la "adición de dipolos cortos". Un camino para atacar el problema es recurrir a las ecuaciones de Maxwell, mediante un análisis mucho más complicado. Analíticamente, el problema es complicado, aunque queda siempre el recurso de efectuar un examen numérico. El camino que seguimos es otro: supondremos algunas soluciones de las ecuaciones de Maxwell, que posteriormente verificaremos *son efectivamente soluciones*. Se trata de un conductor eléctrico ideal. En las proximidades del conductor, el campo eléctrico es normal a la superficie lateral de la guía conductora; el campo magnético en cambio, es tangencial a una circunferencia centrada en el eje de la guía. El vector de Poynting queda así alineado con el eje de la guía.



Esta configuración de los campos corresponde a una propagación electromagnética a lo largo del conductor, llamada "guía de ondas". Realmente, son los fotones ubica-

dos en la cercanía de la superficie de la guía los que se propagan a lo largo de ella. La función de onda asociada, permite calcular la probabilidad de encontrar estos fotones.

Sin embargo, en realidad no sabemos si la onda se desplaza hacia la derecha o hacia la izquierda. Esto ocurre aunque el voltaje aplicado sea sinusoidal. Por este motivo es razonable pensar en que la onda es la resultante de *una onda que se desplaza hacia la derecha y otra que viaja hacia la izquierda*. Podemos escribir entonces:

$$i(t) = I' \cdot \cos \omega \cdot [t - (x/c)] + I'' \cdot \cos \omega \cdot [t + (x/c)]$$

Transformamos esta expresión:, desarrollando los cosenos y tenemos:

$$i(t) = (I' + I'') \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot x/c) + (I' - I'') \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot x/c)$$

En $x = L/2$, la corriente debe caer a cero, puesto que estamos en el extremo del dipolo, en cualquier instante "t":

$$0 = (I' + I'') \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot L/2 \cdot c) + (I' - I'') \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot L/2 \cdot c)$$

Esta igualdad implica que:

$$(I' + I'') \cdot \cos(\omega \cdot L/2 \cdot c) = 0$$

$$(I' - I'') \cdot \sin(\omega \cdot L/2 \cdot c) = 0$$

Una forma de cumplir estas igualdades en forma simultánea es que:

$$I' - I'' = 0 \quad \cos(\omega \cdot L/2 \cdot c) = 0$$

Entonces: $I' = I''$; $\omega \cdot L/2 \cdot c = (n + 1/2) \cdot \pi$, con $n = 0, 1, 2, \dots$

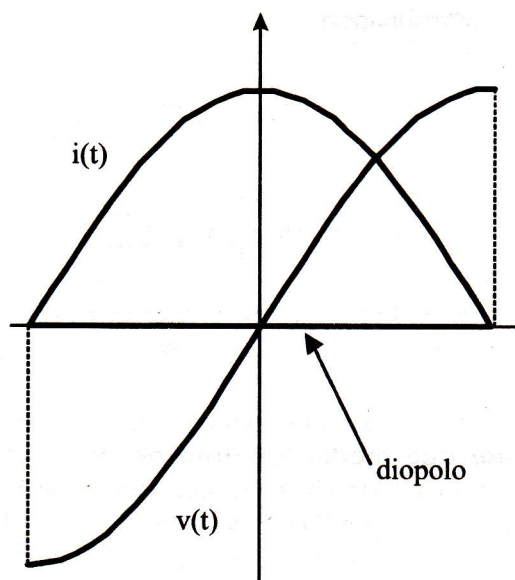
$$\text{Como: } \omega/c = 2\pi/\lambda; (2\pi/\lambda)(L/2) = (n + 1/2) \cdot \pi; \\ L = (n + 1/2) \cdot \lambda$$

En consecuencia: para que la corriente "calga a cero" en los extremos de la guía, es necesario que la longitud de la misma coincida con un número impar de longitudes de onda de la oscilación.

La guía más corta es la que corresponde a $n = 0$, es decir de "media longitud de onda", que es la antena más común. Generalmente, las antenas nunca superan la longitud de 100 m, aunque en este caso su uso se destina a la banda de 3 a 30 Mhz (zona HF) y frecuencias más altas.

En la zona superior de UHF (300 Mhz a 3Ghz), se utilizan generalmente antenas de longitud $3\lambda/2$. Esto es debido a que *el área de captura disminuye al decrecer la longitud de onda y en consecuencia son generalmente insuficientes las antenas de "media longitud de onda"*. No obstante, en lo que sigue, nos referiremos a las antenas de "media longitud de onda" a menos que se exprese lo contrario.

La corriente en la antena es nula en los extremos y máxima en la parte central. En cambio el voltaje es máximo en módulo en los extremos y mínimo (cero) en el centro.



Distribución de corriente y voltaje en una antena de "media longitud de onda".

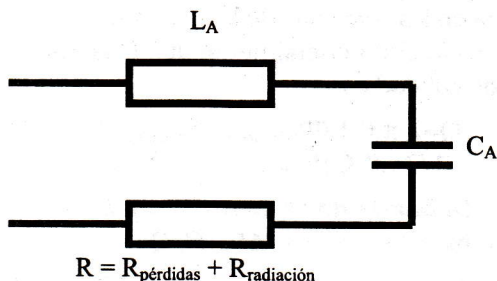
4. Efecto del cambio de frecuencia- Circuito equivalente

La corriente en una antena, es perfectamente reflejada en los extremos. La corriente que recorre *media antena desde el generador ubicado en el centro de la antena*, demora el tiempo que corresponde a un recorrido de $\lambda/4$. En ida y vuelta, la corriente demora el mismo tiempo necesario para

que el voltaje realice un ciclo. Esto significa que la corriente llega al centro *en fase con el voltaje*.

La frecuencia de la corriente reflejada es: $f_{\text{reflejada}} = c/\lambda = c/2L$. Cuando se tiene esta frecuencia, la antena **resuena** y en consecuencia se comporta como un **resistor**. Si la frecuencia de la fuente es **levemente mayor**, la longitud de onda ha de ser "**levemente más corta**", de manera que el medio **periodo** del voltaje " T_v " ha de ser menor, pero el tiempo que invierte la corriente en "ir y venir" τ , ha de ser el mismo, porque la distancia a recorrer y la velocidad son las mismas: $\tau = L/c$. En consecuencia: $T_v < \tau$.

Esto significa que el monte del voltaje se encuentra "antes" que el monte de la corriente, y entonces se encuentra "retrasada". El circuito se comporta como **Inductivo**.



Circuito LRC equivalente a la antena dipolo de media longitud de onda, que resuena a la frecuencia $f^* = c/2L$

Análogamente, si la frecuencia de la fuente es "**levemente menor**", un análisis similar nos dice que el circuito se comportará como **Inductivo**. Este comportamiento, nos recuerda al de un circuito LRC y ciertamente a frecuencias cercanas a aquellas que corresponden exactamente a la media longitud de onda, el dipolo es equivalente a un circuito, como se indica anteriormente.

En este circuito, hemos incluido la *resistencia de los conductores*, que ocasiona las pérdidas; por otro lado, tenemos una resistencia que denominamos "*resistencia a la radiación*". Se trata de una resistencia que se introduce exclusivamente en las antenas. El propósito de una

antena es *emitir un gran número de fotones en la región de las radio-frecuencias, que transportan una energía igual a "h.f"*. Esta energía podemos atribuirle a una radiación proveniente de una resistencia equivalente que operara como radiador. Esta resistencia, se calcula para cada *antena particular*. En el caso de una *antena de media longitud de onda*, esta resistencia es 73 W.

El circuito anterior, no prevé ningún comportamiento para una frecuencia "3f", a la cual *la antena también resuena*. El circuito equivalente, tiene una frecuencia de resonancia:

$$(f^*)^2 = 1/4 \cdot \pi^2 \cdot L_A \cdot C_A$$

Para una banda de frecuencias, el circuito equivalente es algo más complicado, pero dado que la antena se utiliza en las cercanías de la resonancia, es un circuito generalmente útil. El factor de calidad es:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot f^* \cdot L / [R_{\text{pérdidas}} + R_{\text{radiación}}] = 1/2 \pi \cdot f^* \cdot C \cdot [R_{\text{pérdidas}} + R_{\text{radiación}}]$$

La banda de frecuencias de la antena, es entonces: $\Delta f = f^*/Q$

Para antenas usuales, $Q @ 50$ (o valores mayores), de manera que la banda es alrededor del 2% de la frecuencia de resonancia. No obstante, es posible con algunas *modificaciones extender el ancho de la banda*.

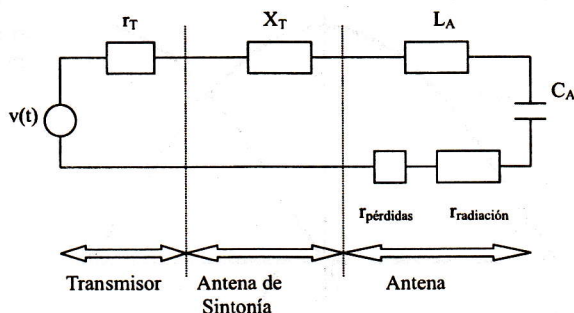
Utilizando el circuito equivalente, es posible maximizar la potencia radiada por la antena, a partir de la potencia entregada por la fuente. Esquemáticamente, el circuito completo es el que sigue:

- una fuente de tensión $v(t)$, dotada de una resistencia interna " r_T ";
- un elemento de conexión de la fuente a la antena, cuya impedancia sea X_T . El **propósito** de esta impedancia, es el siguiente: evidentemente si la corriente circula por la antena, **la potencia radiada cumple**: $P_{\text{radiada}} = i^2 \cdot R_{\text{radiación}}$. Pero la corriente se puede expresar así:

$i = v / [r_T + r_{\text{pérdidas}} + r_{\text{radiación}} + j \cdot (L \cdot \omega - 1/C \cdot \omega + X_T)]$
 Para maximizar esta corriente, es necesario que:

$X_T = 1/C \cdot \omega - L \cdot \omega = L \cdot \omega \cdot [(\omega^*/\omega)^2 - 1]$
 Aquí: $\omega^* = 1/(LC)^{1/2}$ **es la pulsación de resonancia, mientras que ω es la pulsación de la fuente.**

Este resultado dice que el acoplamiento de la fuente a la antena se realiza mediante una impedancia ajustable a un valor crítico, que depende de la pulsación de operación fijada por la fuente y que reduce *la reactancia general del circuito al valor cero*. Esto nos dice que **es posible** ajustar las cosas, para que exista resonancia.



Cuando la antena es de longitud *menor* que media longitud de onda, la reactancia de ajuste es positiva y puede realizarse mediante un *inductor*. Por el contrario, si es más larga que media longitud de onda, el ajuste debe realizarse con un capacitor. Si la configuración es resonante, el componente de ajuste puede omitirse. Generalmente, el "elemento o impedancia de ajuste" se denomina "unidad de antena de sintonía" (en inglés "ATU"). Existen casos en los cuales el diseño de la antena se puede ajustar directamente a la resonancia, en cuyo caso el ATU es innecesario; si esto no es posible por diversas razones, la utilización del ATU es imprescindible. *Esto ocurre generalmente, cuando la antena debe cubrir diversas frecuencias de emisión, donde una longitud fija, no puede ofrecer todas las frecuencias de operación.*

Actualmente, es usual utilizar sistemas de sintonía, controlados en forma digital, mediante programas operativos diseñados de forma de contemplar las diversas frecuencias de emisión.

Una alternativa también utilizada en considerar la posibilidad e realizar una realimentación de ajuste.

Si se ajusta la impedancia mediante un ATU, la resistencia vista de la antena, llamada "resistencia de apareamiento ó adaptación", es:

$$R_{\text{adaptación}} = R_{\text{pérdidas}} + R_{\text{radiación}}$$

que siempre mayor que la resistencia de radiación.

¿Cuál es la máxima potencia que puede emitir la antena? Esta potencia, depende de la resistencia total anterior:

$$P_{\text{antena}} = i^2 \cdot R_{\text{matching}} = R_{\text{adaptación}} \cdot [V_T / (R_{\text{adaptación}} + R_T)]^2$$

Naturalmente, que esta potencia se hace máxima, si hay acoplamiento: $R_T = R_{\text{adaptación}}$ que es la condición de *máxima potencia en la antena*. Esta condición, que la resistencia de la antena debe emparejarse con la resistencia del transmisor, para transferir la máxima potencia, es un caso particular del problema de "adaptación".

No toda la potencia de la antena es radiada, debido a la presencia de la resistencia de "pérdidas". **Ello lleva a introducir el concepto de "eficiencia"**.

Definición: Se llama eficiencia de una antena, al número porcentual calculado así:

$$\varepsilon \equiv 100 \cdot P_{\text{radiada}} / P_{\text{antena}} = R_{\text{radiación}} / R_{\text{adaptación}} = 100 \cdot R_{\text{radiación}} / [R_{\text{radiación}} + R_{\text{pérdidas}}]$$

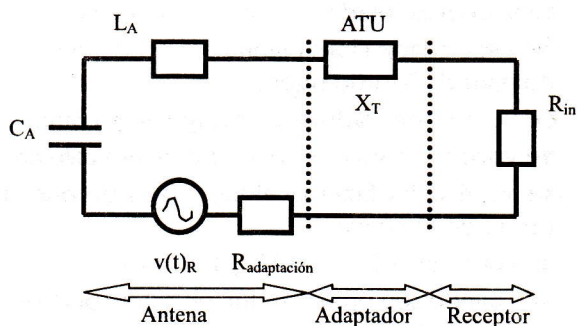
La eficiencia de una antena de acuerdo con la expresión anterior ha de ser inferior al 100%, debido a la existencia inevitable de pérdidas. Sin embargo, pueden ser al-

canzadas eficiencias del 90%, mediante la construcción de antenas dipolares de media longitud de onda, como las que se utilizan en las bandas de VHF (very high frequency) o UHF (ultra high frequency) **y en el caso de pequeñas resistencias de adaptación, respecto a la resistencia de radiación.**

Una resistencia típica es la de 75Ω .

En cambio, la eficiencia de la antena **baja a un minúsculo 1%**, en la banda de ELF (extra low frequency), donde la longitud de onda es muy grande de manera que es imposible aproximar dicha longitud de onda a un tamaño razonable de la antena. En este caso, la resistencia de radiación es muy pequeña y la resistencia de adaptación es del mismo orden e iguala prácticamente a las pérdidas de la resistencia baja. La importante desventaja de las *antenas cortas*, que tienen pequeñas dimensiones respecto a la longitud de onda, es su **marcada ineficiencia**.

Las antenas receptoras, tienen un circuito equivalente similar al de la antena transmisora, con la excepción de que incluye el voltaje del generador $v_R(t)$, que representa la energía eléctrica derivada de la captura de fotones que realiza la antena.



Circuito con adaptador de una antena receptora

La reactancia ATU, debe ser sintonizada y la resistencia de la antena adaptada a la entrada para lograr la transferencia óptima.

Una cosa es saber QUÉ se es y otra QUÉ PODRÍA uno ser

VOCÊ SABE QUE É UM FÍSICO QUANDO...

- ...alguém lhe pergunta o tempo e você responde em metros.
- ...você não olha nada muito tempo porque não quer destruir a sua função de onda.
- ... você assumirá que um cavalo é uma esfera para fazer os cálculos matemáticos mais fáceis.
- ...quando o seu Professor pergunta onde está o seu relatório, você reivindica ter determinado o seu impulso tão precisamente que pode estar em qualquer lugar no universo.
- ... você evita mexer o seu café porque não quer aumentar a entropia do universo.
- ... você ri sempre que qualquer um diz « força » centrífuga.

VOCÊ PODERIA SER UM FÍSICO...

- se você não tem vida nenhuma - e pode PROVAR isso matematicamente.
- se você gosta da dor.
- se você sabe cálculo de vectores mas não se lembra como fazer uma divisão.
- se você ri sempre que um qualquer diz « força » centrífuga.
- se você usou todas as funções da sua calculadora gráfica.
- se quando você olha para o espelho, e vê um físico.
- se você frequentemente assobia a canção do tema « MacGyver ».
- se você faz sempre os deveres à sexta-feira à noite.
- se você sabe integrar uma galinha e a derivar a água.
- se você só pensa em « matemática ».
- se você calculou que a Série Mundial na verdade diverge.
- se você hesita olhar algo porque não quer destabilizar a sua função de onda.
- se você tem um animal, com o nome de um cientista.
- se você ri de piadas sobre matemáticos.
- se a sociedade Humanitária o prendeu porque na verdade executou a Experiência do gato de Schrödinger .
- se você pode traduzir o português em Binário.
- Se você é viciado completamente em cafeína.
- se você evita fazer qualquer coisa porque não quer contribuir para a eventual morte do universo.
- se você considera QUALQUER curso não científico fácil .
- se quando seu professor lhe pergunta onde estão os exercícios , você reivindica ter acidentalmente determinado o seu impulso tão precisamente, que de acordo com Heisenberg pudesse estar em qualquer lugar no universo.
- se o « centro divertido » de seu cérebro deteriorou por falta de uso.
- se você assumir que um « cavalo » é uma « esfera » para fazer a matemática mais fácil.
- Se estes indicadores aplicam a você, há uma boa razão para suspeitar que você poderia ser classificado como um físico.

Estudio de un filamento de tungsteno

Investigador: Ricardo Marotti - Pasante: Daniel Baccino
Agosto/octubre de 2000

El trabajo que se sintetiza en este informe fue realizado entre los meses de agosto y octubre del año 2000, en el marco de la pasantía otorgada por PEDECIBA-UNESCO a profesores del Consejo de Educación Secundaria de la ANEP. El mismo se desarrolló en el Laboratorio de Física del Estado Sólido del Instituto de Física de la Facultad de Ingeniería, bajo la tutoría del Dr. Ricardo Marotti. La actividad experimental, de la que se muestran algunos resultados en este informe (aquellos que nos resultaron más relevantes), fue realizada conjuntamente con la Prof. Ernestina Sánchez.

Parte I: ESTÁTICO.

El trabajo tiene como objetivo determinar la constante de Planck a partir del estudio del filamento de una lámpara de tungsteno. En esta parte del trabajo se realizaron las medidas para diferentes temperaturas (estando el filamento, en cada situación, en equilibrio térmico. De ahí la caracterización de 'estático') del mismo.

Medida de la intensidad de luz.

En el primer enfoque del trabajo, la luz emitida por la lámpara se hace pasar por un filtro y es detectada por un fotodiodo que genera una corriente en un circuito tal que se mide la caída de potencial eléctrico en bornes de un resistor conectado en serie con aquel. Esa caída (si el fotodiodo está correctamente alimentado) es proporcional a la intensidad de luz que recibe.

En una parte complementaria del trabajo, donde se planteó como objetivo estudiar el espectro de emisión del filamento se utilizó una fibra óptica para coleccionar la luz proveniente del mismo que fue enviada por esta a un espectrómetro. Por este procedimiento se puede caracterizar la emisión para un rango de longitudes de onda que abarca la parte visible del espectro y parte del infrarrojo (aproximadamente entre 300 nm y 1000 nm)

Medida de la temperatura.

El método para medirla implicó determinar la resistencia eléctrica del filamento a partir de medidas eléctricas (intensidad de corriente y diferencia de potencial), asumir

la relación de la resistividad del tungsteno con la temperatura y determinar la resistencia del filamento a temperatura ambiente. Esta última merecerá un comentario aparte por la importancia que tiene su determinación para tener un resultado aceptable y al mismo tiempo las dificultades que entraña su medición.

Breve fundamento.

Una posibilidad de expresar la relación entre la intensidad de radiación I , proveniente de un cuerpo negro a determinada temperatura absoluta T , y la longitud de onda λ es hacerlo mediante la expresión ⁽¹⁾:

$$I(\lambda) \propto \frac{1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (1)$$

siendo $h (= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s})$ la constante de Planck, $c (3.0 \times 10^8 \text{ m/s})$ la velocidad de propagación de la luz en el vacío y $k (= 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})$ la constante de Boltzmann.

Si se realiza un conjunto de medidas de la intensidad de radiación y sus correspondientes valores de temperatura se puede establecer la relación siguiente:

$$\frac{I}{I^*} = \frac{e^{\frac{hc}{\lambda kT^*}} - 1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (2)$$

tomándose a un valor de intensidad (I) y su correspondiente valor de temperatura (T) como referencia.

Como se mostrará en los resultados, en nuestro caso se puede considerar que la exponencial es mucho mayor que uno, de forma que la expresión anterior se simplifica. Si, finalmente, se procede a calcular el logaritmo natural de ambos miembros de la igualdad puede obtenerse la expresión que sigue:

$$\ln\left(\frac{I}{I^*}\right) \approx \frac{hc}{k\lambda} \cdot \left(\frac{1}{T^*} - \frac{1}{T}\right) \quad (3)$$

Observamos que si graficamos a la variable $\ln(I/I^*)$ en función del inverso de la temperatura ($1/T$) debiésemos obtener una recta cuyo coeficiente angular es $p = -hc/k\lambda$. Si se conoce la longitud de onda de la luz con que se realizaron las medidas, podremos calcular aproximadamente el valor de la constante de Planck (h).

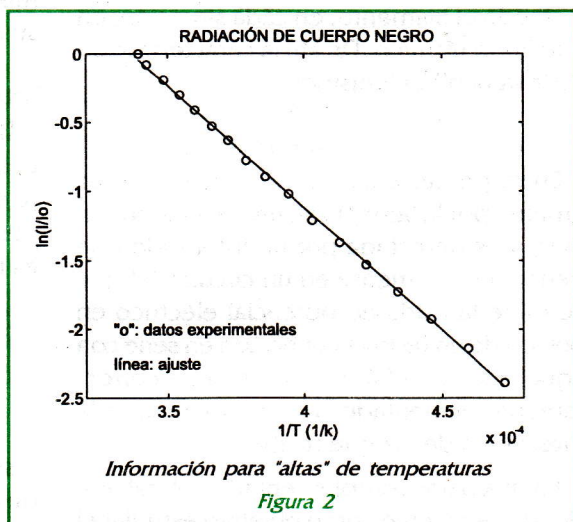
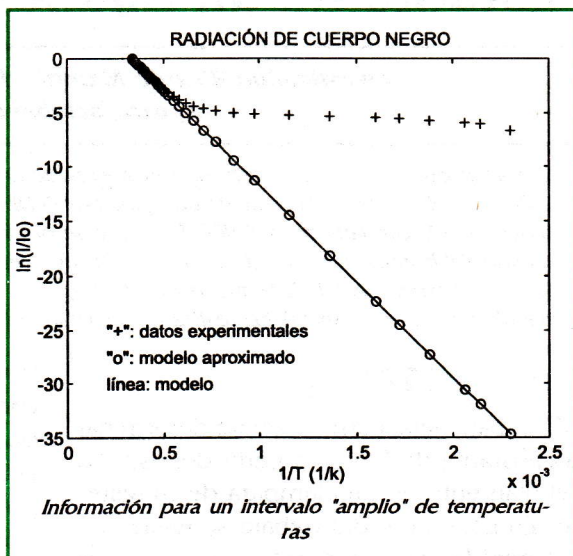
Resultados

Cálculo de la constante de Planck.

En la figura 1 se muestra el gráfico con los resultados del procesamiento de datos experimentales así como la gráfica del modelo aproximado (expresión (3)), conjuntamente con el gráfico del modelo para un cuerpo negro (asociada con la expresión (2)).

Obsérvese que la aproximación que «desprecia el uno» es muy buena en el rango estudiado, ya que no se notan diferencias entre ambos gráficos. Se ve una discrepancia notoria entre los valores experimentales y el modelo «a bajas temperaturas» (la separación comienza a darse para la temperatura próxima a 1500 K). Parece claro que para temperaturas menores que la anotada el filamento no puede considerarse un buen ejemplo de cuerpo negro.

Sin embargo, la figura 2 muestra que «a altas temperaturas» el comportamiento del filamento se aproxima al esperado, ya que se puede ajustar una recta en este intervalo



con un coeficiente de correlación aceptablemente bueno (0.9987) y se obtiene a partir del coeficiente angular de la misma el siguiente valor para la constante de Planck :

$$h = (6.5 \pm 1.5) \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

La longitud de onda que colocamos en la expresión que permite calcular a la constante de Planck es 800nm. La decisión de usar dicho valor se debe a que el filtro utilizado deja pasar radiación de longitud de onda superior a los 600 nm y el detector (fotodiodo) es sensible a longitudes de onda menores a 1000 nm. (2) (3) (4) (5)

Potencia vs. Temperatura.

Si asumimos que el proceso de emisión energética del filamento a «altas temperaturas» se produce fundamentalmente debido a la radiación, podemos afirmar a partir de la ley de Stefan que la potencia P emitida tiene la relación siguiente con la temperatura T :

$$P = a_s \cdot T^4 \quad (4)$$

siendo a_s una cuantía que depende de algunas propiedades de la sustancia que compone el filamento así como de algunas dimensiones del mismo. Se verá más adelante en forma más concreta cual es la dependencia de dicha cuantía (ver expresión (5) y siguientes).

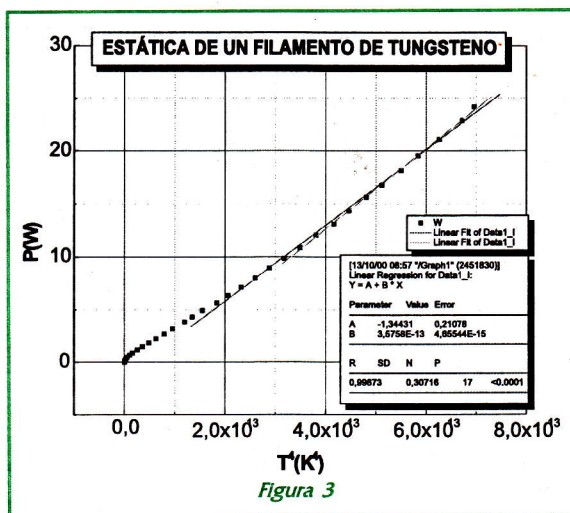
Determinamos la temperatura de la forma indicada más arriba y asumimos que la potencia emitida es la misma que la potencia eléctrica evaluada mediante la diferencia de potencial en bornes de la lámpara y la intensidad de corriente que la atraviesa, ya que estamos considerando una situación de equilibrio.

Los resultados obtenidos se muestran en el gráfico de la figura 3. Allí se puede observar que el comportamiento «a bajas temperaturas» difiere del comportamiento «a altas temperaturas», incluso es posible divisar un punto de inflexión en el gráfico (correspondiente a una temperatura cercana a 1500 K).

Por tanto, para ajustarnos a la condición de «altas temperaturas», nos dedicamos a estudiar la vinculación entre la potencia y la temperatura para la última veintena de puntos del gráfico. En esa zona se puede intentar hacer un ajuste lineal en el gráfico indicado. Hemos hecho ese ajuste obteniendo los resultados que aparecen en el cuadro adjunto al gráfico. Podemos destacar de dicho ajuste, el valor del coeficiente angular:

$$a_s = (3.58 \pm 0.05) \times 10^{-13} \text{ W.K}^{-4}$$

El coeficiente de correlación para ese ajuste es 0.99873, con lo que podemos quedar, en primera instancia, conformes con el resultado que implicaría un valor de la cuan-



tía a_s constante (en particular independiente de la temperatura).

Si observamos el resultado del ajuste en el propio gráfico comparado con los resultados experimentales, vemos que parece existir una tendencia en estos que va mas allá de una dispersión casual, por lo que en rigor la afirmación del párrafo anterior es, en verdad, una primera aproximación. (6) (7) (8) (9)

Espectro del filamento.

Como mencionamos más arriba, hemos realizado un estudio del espectro del filamento mediante el siguiente equipo: un espectrómetro (S2000 Ocean Optics, con una CCD Sony ILX511, y una fibra óptica de 100 mm). El rango efectivo de trabajo del equipo está entre los 350 - 1000 nm.

Este aparato permite obtener la emisión para longitudes de onda bien definidas en un intervalo de tiempo muy corto. Luego del proceso de medida los datos deben, por lo menos, corregirse en virtud de la *transferencia del dispositivo*. El dispositivo óptico de medida genera alteraciones en los valores detectados por el espectrómetro de forma que no actúa igualmente sobre todas las longitudes de onda estudiadas. Si se conoce dicha «transferencia» puede operarse de forma de corregir esas alteraciones.

En función de las mejores condiciones de medidas debimos también hacer luego otras correcciones, en virtud de 'tiempos de integración' diferentes, distancias del filamento al extremo de la fibra óptica desiguales. En la figura 4 se muestra el gráfico del espectro del filamento normalizado a diferentes temperaturas (asociadas con valores de intensidad de corriente distintas, la flecha indica 'el sentido de crecimiento' de esta) y solamente en la parte visible.

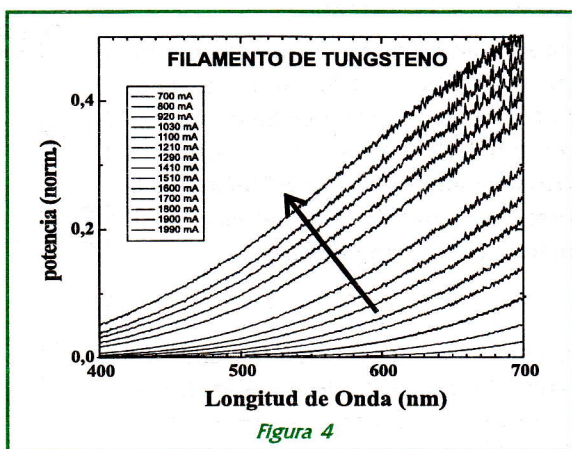


Figura 4

Obsérvese que la presencia de las longitudes de onda visibles es cada vez más fuerte para temperaturas más altas, insinuándose la presencia de un máximo para longitud de onda mayores que las graficadas. Estimamos que la máxima temperatura del mismo es cercana a 2800 K. Parece razonable que la emisión del filamento no tenga un máximo en la región visible, si pensamos que el sol tiene un máximo asociado a la luz amarilla; la temperatura del mismo supera largamente la máxima alcanzada por el filamento, aún teniendo en cuenta que podemos estimar una 'temperatura aparente' debido a que recibimos parte de la radiación solar en la superficie de la tierra (la atmósfera la 'filtra').⁽¹⁰⁾

Parte II: DINÁMICO.

En esta parte del trabajo investigamos la posibilidad de que la ley expresada para la situación estática mediante la expresión (3) siguiera siendo válida para la situación que se genera inmediatamente después de apagar la lámpara. Para realizar este trabajo necesitamos de un dispositivo capaz de registrar la intensidad de luz proveniente de la lámpara en función del tiempo. El trabajo tuvo varias etapas en un proceso creciente en calidad y cantidad de la información obtenida. En primera aproximación se utilizó una tarjeta adquisidora A/D diseñada para medir temperaturas mediante una termocupla⁽⁶⁾. En un

segundo paso se utilizó la posibilidad de adquirir datos para determinadas longitudes de onda que brinda el software asociado con el espectrómetro disponible en el laboratorio. Por último los datos se obtuvieron mediante la tarjeta adquisidora de la interface Vernier previo paso de la luz por un monocromador y utilizando como elemento transductor un fotodiodo como el que se describió en la parte del estudio estático.

Breve fundamento.

El razonamiento se basa también en la hipótesis que a las temperaturas que se encuentra el filamento durante su enfriamiento, el intercambio de energía en forma de calor con su ambiente lo realiza prioritariamente en forma de radiación. Un cuerpo negro⁽¹⁾ que emite en estas condiciones se puede modelar mediante la ley de Stefan, de la que puede expresarse la relación:

$$P = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (5)$$

siendo P la potencia disipada por el cuerpo negro, ε la emisividad del tungsteno, A es el área de la superficie emisora y σ la constante de Stefan-Boltzmann ($= 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) Como el intercambio de energía se hace en forma de calor, puede expresarse a la potencia de forma acorde con esto, obteniéndose la expresión:

$$\frac{C \cdot dT}{dt} = -\varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$$

¹ En rigor, como se ve, lo trataremos como un 'cuerpo gris'.

siendo C la capacidad calorífica del cuerpo a estudiar (en nuestro caso el filamento).

La expresión anterior se puede resolver integrando ambos miembros de la igualdad, si admitimos (en primera aproximación) que ni C , ni A dependen de la temperatura, obtenemos como solución para la ecuación diferencial:

$$\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3} = \frac{3 \cdot \varepsilon \cdot A \cdot \sigma}{C} \cdot (t_2 - t_1) \quad (6)$$

La expresión anterior sugiere que si tomamos una temperatura de referencia (T_f) correspondiente a cierto instante de tiempo (t_f) y luego graficamos al inverso del cubo de la temperatura en función del tiempo, deberíamos obtener una relación lineal tal que el coeficiente angular sea:

$$a = \frac{3 \cdot \varepsilon \cdot A \cdot \sigma}{C} \quad (7)$$

Obsérvese que dicho coeficiente esta relacionado con tres cantidades asociadas al filamento (ε , A y C), y en particular no depende de la longitud de onda. Si se pudieran estimar esas cantidades se podría saber si el modelo funciona bien, ya que los valores de las ordenadas pueden calcularse a partir de la expresión (3), y el tiempo es una de las cantidades medidas por la tarjeta.

Resultados.

Los resultados que se presentan a continuación son los obtenidos con el equipo constituido por monocrómador, fotodiodo, interface Vernier. La información disponible consta de medidas de intensidad luminosa (en realidad de un voltaje proporcional a esta) captada en el fotodiodo, en función del tiempo para varias longitudes de onda (entre 450 nm y 950 nm espaciadas cada 50 nm). En la figura 5 se muestran los resultados para uno de los valores de longitud de onda y para uno de los flancos registrados.

En dicho gráfico se observan en color negro los valores experimentales. Se puede distinguir con claridad un ruido periódico (presuntamente de 50 Hz). En función de dicha suposición solicitamos al programa que procesó la información que aplicara un filtro «bloquea banda» entre 45 Hz y 55 Hz, de forma que el resultado aparece en rojo en el mismo gráfico. Como se ve el ruido prácticamente desapareció en la zona que nos interesa estudiar (la que corresponde al enfriamiento).

En la figura 6 se muestra el gráfico del inverso del cubo de la temperatura en función del tiempo para el mismo flanco mostrado en la figura anterior. Antes de proceder a ajustar una recta a los primeros valo-

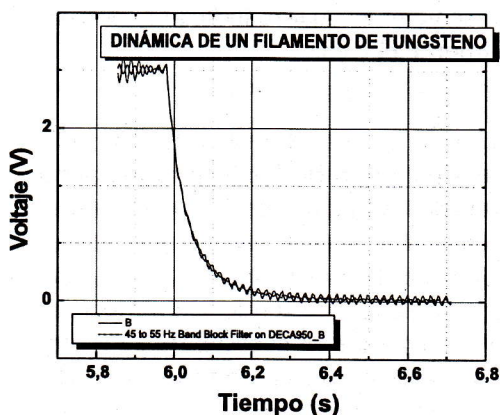


Figura 5

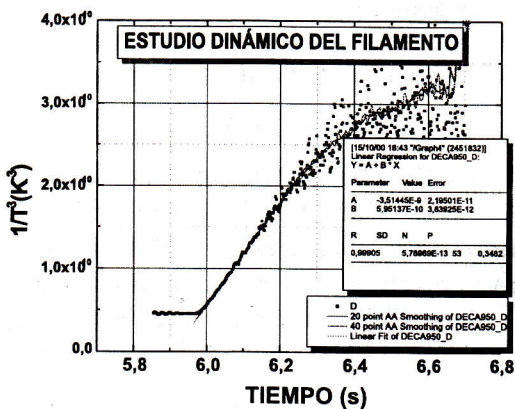


Figura 6

res del enfriamiento hemos hecho un tratamiento usual que permite 'suavizar' la línea (no sin pérdida de información): se promedian los valores en el entorno de cada punto mediante el comando 'Adjacent Averaging' (el programa toma tantos puntos a cada lado, para promediar, como se le indique).

Se ha ajustado luego una recta al conjunto de puntos anotado (N), y los resultados del mismo aparecen también en la figura 6. En el informe se indican los valores del coeficiente angular, la ordenada en el origen (sin demasiado significado en nuestro caso), las incertidumbres en las cantidades anteriores, el coeficiente de correlación del ajuste y otros datos.

El coeficiente angular calculado tiene, como se ve en el cuadro indicado, aproximadamente el valor:

$$a_{din} = 6 \times 10^{-10} \text{ K}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$$

Si bien se muestra el resultado del coeficiente a para uno de los flancos asociado con una de las longitudes de onda estudiadas, los resultados para otros valores de esta coinciden en el orden de magnitud con éste. Se observa una leve tendencia al decrecimiento si miramos los coeficientes en el sentido decreciente de la longitud de onda. Como decíamos más arriba, el modelo indica que dicho valor está asociado con ciertas características del filamento. En particular la expresión (7) se puede escribir de la forma siguiente:

$$a = \frac{3 \cdot \varepsilon \cdot A \cdot \sigma}{c \cdot \rho \cdot V}$$

siendo c el calor específico (a la masa), ρ la densidad y V el volumen del filamento.

Asumiendo conocidos, a partir de tablas, los valores de ε , c , ρ y s ; podemos estimar el orden de magnitud de a si determinamos el área A y el volumen V del filamento.

Para hacerlo tomamos, mediante una 'WebCam', la imagen del filamento que fue proyectada a una pantalla mediante un proyector de transparencias. A partir de escalas definidas en función de las dimensiones reales del bulbo de la lámpara, y de las imágenes del filamento, estimamos el valor del volumen del mismo (asumiendo que tiene forma de hélice):

$$V = (5 \pm 1) \times 10^{-10} \text{ m}^3$$

Calculamos el valor del área emisora, obteniendo el valor siguiente (admitiendo que ésta es el área del cilindro que contiene en su superficie lateral a la hélice):

$$A = (10 \pm 2) \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Asumiendo los siguientes valores para las otras cantidades:

$$\varepsilon = 0.4,$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4,$$

$$c = 134 \text{ J/kg} \cdot \text{K},$$

$$\rho = 19.35 \times 10^3 \text{ kg/m}^3,$$

obtenemos el valor:

$$a = (5 \pm 2) \times 10^{-10} \text{ K}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$$

Como se observa, el entorno definido por la expresión anterior está en acuerdo con los resultados experimentales expuestos parcialmente más arriba.

Por otra parte, a partir de las estimaciones anteriores obtenidas del **estudio de la dinámica** del filamento (haciendo participar el valor de la constante a_{din}), es posible calcular la constante a_s que aparece en la expresión (4). De allí obtuvimos el valor:

$$a_{s1} = (2.6 \pm 0.7) \times 10^{-13} \text{ W} \cdot \text{K}^{-4}$$

Este último valor coincide en el orden de magnitud con la cuantía llamada a_s obtenida a partir de **los datos estáticos** del filamento. Esta coincidencia nos permite confirmar, aunque sea en primera aproximación, la hipótesis de que en el proceso de enfriamiento (que llamamos «dinámica del filamento») al filamento va pasando por sucesivos estados de equilibrio, es aceptable.

Estudio de la transmisión y absorción óptica de semiconductores. Determinación del gap.

El objetivo de este trabajo es estudiar la absorción óptica de una sustancia semiconductor (tomamos como ejemplo un semiconductor directo: el óxido de zinc), vincularla con la transmisión a su través, y determinar aproximadamente el valor del gap para dicha sustancia, asumiendo que su comportamiento puede modelarse por la teoría para semiconductores directos.

Contamos para el trabajo experimental con un equipo constituido por: lámpara de xenón de 1000 W (ORIEL 6271), chopper (SRS SR540), monocromador (ORIEL 77250), tubo fotomultiplicador (ORIEL 77250), lock-in (EG&G 5209), muestra de ZnO (sobre un sustrato conductor de ITO), programa que controla el paso del motor del monocromador, recibe la información que guarda en un archivo indicado previamente, entre otras cosas.

El procedimiento de trabajo con este equipo difiere del trabajo con el espectrómetro, ya que en este caso los datos para las longitudes de onda definidas (a la salida del monocromador) se toman secuencialmente², en un proceso que lleva más tiempo. Esta disposición experimental permite utilizar la técnica de detección sincrónica. Por otra parte dado el rango espectral de interés (el borde del visible correspondiente a longitudes de onda menores, en la cercanía de 350 nm), el espectrómetro no da un buen resultado (el valor anotado está muy cerca del límite inferior de trabajo de dicho aparato).

Breve fundamento.

Transmisión y absorción ópticas.

Al iluminar con una intensidad de radiación de referencia I_0 , una muestra de una sustancia transparente con el objetivo de estudiar la intensidad que la atraviesa, se puede suponer que la intensidad está rela-

cionada con 'dx' (véase la figura 7) de la forma siguiente:³

$$\frac{dI}{I(x)} = -\alpha \cdot dx \quad (8)$$

siendo α el **coeficiente de absorción del medio**, y el signo negativo se debe a la disminución de la intensidad óptica cuando x aumenta.

La solución de la expresión anterior es una función exponencial decreciente de la forma:

$$I(x) = I(0) \cdot e^{-\alpha \cdot x} \quad (9)$$

siendo $I(0)$ la intensidad óptica para $x = 0$.

Si el medio tiene un espesor l , la intensidad óptica luego de haber avanzado esa longitud dentro del medio se puede expresar en la forma $I(0) \cdot e^{-\alpha \cdot l}$.

Cuando podemos desprestigiar la reflexión en un medio dado, se define la relación entre el coeficiente de absorción α y la transmisión a través del medio de la siguiente manera:

$$\alpha \cdot l = -\ln(T) \quad (10)$$

en acuerdo con la expresión anterior.

Cuando, como en nuestro caso, la sustancia cuyas propiedades se quieren estudiar está depositada sobre un sustrato (ITO) y este sobre vidrio, debe considerarse que esas otras sustancias también absorberán radiación que las atraviese. Es posible mostrar que se puede determinar la transmisión a

(2) En el espectrómetro usado para obtener los datos de la figura 4 la luz incide sobre los detectores de una cámara CCD en el mismo instante.

(3) Dada la fuente de luz que estamos usando, es razonable admitir que los fenómenos que vamos a estudiar caen dentro de la órbita de la Óptica Lineal. Si la fuente fuera algún tipo de láser, podría ocurrir que la expresión que se anota no tuviera validez.

través del ZnO si se conoce la misma a través del sustrato e independientemente a través del conjunto (muestra). En particular puede usarse la expresión (10) si se calcula la transmisión T de la forma siguiente:

$$T = \frac{T_2}{T_1} \quad (11)$$

Siendo T_2 la transmisión a través de la muestra conjunta y T_1 la transmisión a través del sustrato de ITO.

Determinación del Gap.

Se puede demostrar que cuando se tiene un **semiconductor directo** el coeficiente de absorción α está vinculado con el valor del gap de la forma siguiente:

$$\alpha \cdot l = \frac{A}{h \cdot \nu} \cdot \sqrt{h \cdot \nu - E_g} \quad (12)$$

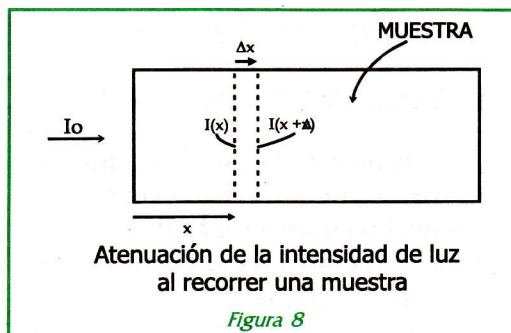
expresión que vale exclusivamente en el entorno de E_g . Obsérvese en la figura 8, donde se representa al coeficiente en función de la energía, que la derivada de α respecto a la energía es infinita en $E = E_g$, lo que hace que la transmisión cambie bruscamente cerca de dicho valor (a su derecha). Esta característica permite la identificación primaria de los conductores directos, y su diferenciación de los indirectos. ⁽¹¹⁾

Resultados

Sobre la transmisión a través de la muestra de ZnO.

Los resultados de la transmisión a través del Oxido de Zinc en función de la longitud de onda, se muestran en la figura 9, así como las transmisiones T_1 y T_2 definidas más arriba.

Se observa que las que corresponden a la muestra y al ZnO tienen valores mayores que 1. No parece razonable pensar que en estas situaciones sea posible que el material estudiado tenga 'intrínsecamente' esta propiedad. Una de las hipótesis que permita explicar el resultado es que el dispositivo de medida



reciba 'más luz' cuando se trabaja con la muestra y el ZnO porque se dirige hacia la fotomultiplicadora luz dispersa en la zona (que cuando solo se iluminaba con la lámpara no la se enfocaba hacia este).

Otra cuestión sobre la Transmisión del ITO. Se observa 'un agujero' en la cercanía de 600 nm, asociado, posiblemente con que el ITO presenta una reflexión rojiza cuando se lo ilumina con luz visible. En un trabajo posterior se pudo verificar la hipótesis, estudiándose la reflexión del ITO, y resultando que esa cantidad tiene un máximo en las cercanías de 600 nm.

Sobre la determinación del Gap.

La expresión (12) puede guiarnos a decidir como tratar la información disponible para obtener el valor del Gap para este semiconductor. En particular **podemos determinar E_g a partir del gráfico $(\alpha \cdot l)^2$ contra $h\nu$**

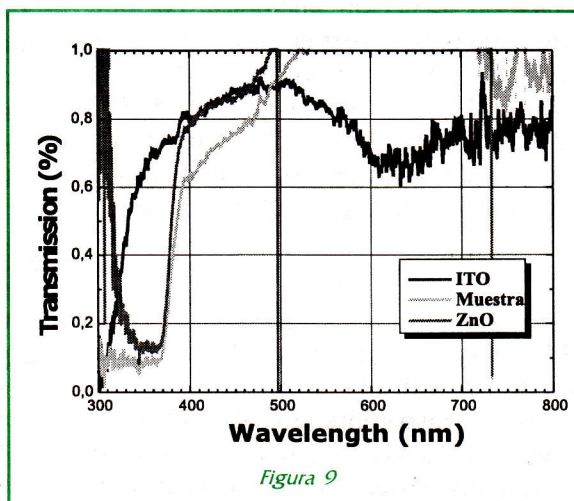


Figura 9

El valor de la abscisa en el origen de ordenadas define a E_g , si tomamos como referencia la expresión (12).

En el gráfico de la figura 10, se muestran los resultados experimentales procesados como se indicó. Se observa que el cambio de la función es de una forma no exactamente de acuerdo con la predicción; sin embargo puede hacerse un ajuste de primer orden a la zona en donde se observa una buena alineación de los puntos. A partir de él podemos determinar el valor del gap, en función del corte del mismo con el eje de abscisas. Mediante este procedimiento, hemos obtenido el resultado siguiente para **el gap del óxido de zinc**: $E_g = 3.23 \text{ eV}$

El resultado anterior coincide aproximadamente, con las tablas, que aportan resultados entre 3.2 eV y 3.37 eV para el valor del gap del ZnO a 300 K ⁽¹²⁾

Resumen

En este trabajo desarrollamos algunas técnicas de caracterización óptica de materiales. Hemos caracterizado un filamento de tungsteno en situación 'estática' y en situación 'dinámica' con la intención de verificar, en el rango espectral estudiado (casi exclusivamente la región visible del espectro electromagnético), que se comporta como un cuerpo negro (o mejor, como un cuerpo gris).

Los resultados de ambas caracterizaciones permiten afirmar, en primera aproxima-

ción, que la emisión del filamento a 'altas temperaturas' se ajusta a la ley de Planck y a la ley de Stefan. A partir del procedimiento estático, hemos obtenido el siguiente valor para la constante de Planck:

$$h = (6.5 \pm 1.5) \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

A partir de la caracterización dinámica hemos obtenido una relación lineal al graficar los valores de $\ln(I/I_0)$ contra $1/T^3$, originados en datos experimentales. El coeficiente angular de dicha regresión tiene el valor:

$$a_{\text{din}} = (5.95 \pm 0.04) \times 10^{-10} \text{ K}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$$

Al estimar dicho coeficiente a partir de parámetros asociados con el filamento (algunos asociados con su geometría, otros en función de la sustancia que lo compone), obtuvimos el resultado:

$$a = (5 \pm 2) \times 10^{-10} \text{ K}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$$

Observamos que las dos cantidades son muy parecidas entre sí, lo que justifica la afirmación de que en proceso dinámico de enfriamiento estudiado sigue siendo válida la ley de Planck. Queda una pregunta sobre el particular, asociada con la leve tendencia al decrecimiento que se observa en a_{din} cuando decrece la longitud de onda.

Por otra parte, hemos caracterizado ópticamente a una muestra de semiconductor (ZnO) mediante la medida de la transmisión óptica a su travez. A partir de dicho estudio estimamos el valor del gap para dicha sustancia: **$E_g = 3.23 \text{ eV}$**

Dicho valor es coincidente con lo que indican tablas dedicadas a tal efecto.

Referencias

- (1) R. Esberg - R. Resnick, *Física Cuántica*, 1ra ed. (Limusa, México, 1978), Cap. 1.
- (2) *Radiación de cuerpo negro*, Curso Laboratorio 2, Instituto de Física, Facultad de Ingeniería (disponible en <http://if.fing.edu.uy/cursos/lab2/>).
- (3) R. E. Crandall and J. F. Delord, *Minimal*

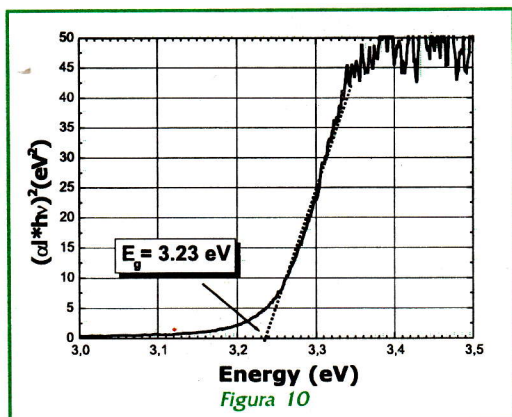


Figura 10

- apparatus for determination of Planck's constant, American Journal of Physics 51, pag. 90 a 91, 1983.
- (4) J. Dryzek and K. Ruebenbauer, *Planck's constant determination from black-body radiation*, American Journal of Physics 60, pag. 251 a 253, 1992.
- (5) G. Brizuela and A. Juan, *Planck's constant determination using a light bulb*, American Journal of Physics 64, pag. 819 a 821, 1996.
- (6) *Temperatura y enfriamiento*, Curso Laboratorio 2, Instituto de Física, Facultad de Ingeniería (disponible en <http://if.fing.edu.uy/cursos/lab2/>).
- (7) B. Prasad and R. Mascarenhas, *A laboratory experiment on the application of Stefan's law to tungsten filament electric lamps*, American Journal of Physics 46, pag. 420 a 423, 1978.
- (8) C. O'Sullivan, *Newton's law of cooling - A critical assessment*, American Journal of

FELINE PHYSICS

Law of Cat Inertia. A cat at rest will tend to remain at rest, unless acted upon by some outside force - such as the opening of cat food, or a nearby scurrying mouse.

Law of Cat Motion. A cat will move in a straight line, unless there is a really good reason to change direction.

Law of Cat Magnetism. All blue blazers and black sweaters attract cat hair in direct proportion to the darkness of the fabric.

Law of Cat Thermodynamics. Heat flows from a warmer to a cooler body, except in the case of a cat, in which case all heat flows to the cat.

Law of Cat Stretching. A cat will stretch to a distance proportional to the length of the nap just taken.

Law of Cat Sleeping. All cats must sleep with people whenever possible, in a position as uncomfortable for the people involved, and as comfortable as possible for the cat.

Law of Cat Elongation. A cat can make her body long enough to reach just about any counter top that has anything remotely interesting on it.

Law of Cat Obstruction. A cat must lay on the floor in such a position to obstruct the maximum amount of human foot traffic.

Law of Cat Acceleration. A cat will accelerate at a constant rate, until he gets good and ready to stop.

Law of Dinner Table Attendance. Cats must attend all meals when anything good is served.

Law of Rug Configuration. No rug may remain in its naturally flat state for very long.

Law of Obedience Resistance. A cat's resistance varies in proportion to a human's desire for her to do something.

Bioacústica de los ortópteros

Mag. Profa. Estrellita Lorier

Introducción

Comprender el lenguaje de los animales ha sido una vieja aspiración de los humanos. En los cuentos los animales hablan, el hombre comprende su lenguaje y conversa con ellos. En un momento en que la preservación de la biodiversidad comienza a considerarse prioritaria recordamos las palabras del etólogo Niko Tinbergen “la tarea de conservar los animales requiere ante todo que los comprendamos”, y comprenderlos es conocer su lenguaje. La ciencia que investiga el lenguaje sonoro de los animales es la Bioacústica, que estudia los diversos aspectos de la comunicación sonora. Para una interpretación etológica, es preciso identificar la función de la señal, así como para realizar estudios evolutivos.

La bioacústica interesa y agrupa no sólo a los zoólogos, e ingenieros acústicos sino a fisiólogos, etólogos, lingüistas, físicos, matemáticos, biónicos y otros especialistas.

La comunicación animal no se limita al uso de las señales acústicas, pero tiene muchas ventajas, permite que los animales se comuniquen sin necesidad de verse, por ejemplo en la oscuridad o en medio de la vegetación, en cualquier condición atmosférica y a una distancia mucho mayor que las dimensiones del insecto que puede ser del orden de 10^3 m, lo que le confiere a la señal acústica un considerable alcance potencial. El rango de frecuencias en los insectos puede ser muy amplio, desde los infrasonidos a los ultrasonidos, por encima de los 100 KHz. El rasgo más favorable de la comunicación acústica, es la flexibilidad de la señal y la elevada tasa de transferencia de información. Tienen una eficacia intermedia entre las señales visuales (ostentaciones visuales) y las químicas (olores).

Los insectos son el grupo viviente más diverso, y merecen entonces una especial atención. Los sistemas de comunicación en insectos son estereotipados, para cada señal existe una respuesta o muy pocas y cada respuesta es evocada por un número muy limitado de señales, ambas son constantes en poblaciones enteras de la misma especie. Otras clases de señales no son específicas.

Existen muchas especies de insectos “cantores”. En Japón hay comercios que se dedican a venderlos ya que en los hogares son muy apreciados como mascotas cantantes.

Los instrumentos musicales de los insectos son muy diversos y muy diferentes del de los vertebrados. La presencia en los insectos de un tegumento esclerificado les permitió evolucionar hacia la producción de diferentes tipos de aparatos, en los que básicamente alguna parte del tegumento, una superficie con rugosidades o un alineamiento de estriaciones o proyecciones cuticulares (*pars stridens*) es frotada por un raspador (*plectrum*) a modo del instrumento musical llamado “güiro” o “reco-reco”.

De todos los grupos de insectos los ortópteros (langostas, grillos, tetigónidos) han sido los más estudiados, se destacan por la variedad de métodos de producción de sonido que poseen.

Historia sobre el valor del sonido en taxonomía e identificación de los ortópteros

La primera vez que el canto de langostas es utilizado para separar especies cercanas y muy similares se remonta a 1852, cuando Yersin describe el sonido en forma de notación musical, siendo este el primer intento de ilustrarlo gráficamente. (Figura 1)

Scudder (1893) y Kneisse (1900) fueron de los primeros en reconocer el valor del sonido en la identificación de los ortópteros. Faber en 1928 impulsa el uso del sonido en identificación cuando publica su clave de ortópteros alemanes basada enteramente en sonidos. Los primeros sonidos grabados en discos datan de estos años.

En 1950 Jacobs utiliza diagramas en escala temporal para ilustrar los patrones rítmicos del sonido de langostas. Hasta el año 1950 los estudios del comportamiento acústico en insectos se habían mantenido estables por muchos años, y se referían fundamentalmente a estudios de morfología y fisiología de la producción y recepción de sonidos.

En los años 50 los grabadores portátiles de alta calidad hicieron posible registrar los sonidos para su posterior análisis, y se potencia el desarrollo del análisis oscilográfico, audioespectrogramas u oscilogramas. El acelerado desarrollo de esta tecnología potenció la producción de cientos de trabajos en muchos aspectos del estudio de la comunicación animal.

Alexander (1957) y Walker (1962) lo aplican a la taxonomía de insectos.

Recientemente se han producido guías y catálogos de los ortópteros de N.A. acompañadas por CD con grabaciones de los sonidos de las especies (Relletier, 1995; Naskrecki & Otte, 1999)

El especial valor del sonido en la identificación de los ortópteros reposa en el hecho de que es una guía real para identificar las especies que lo producen, porque forma parte del sistema de reconocimiento sexual y es una fuente confiable en la indicación de los límites específicos. (Ragge y Reynolds, 1998)

En 1957 Perdeck estableció experimentalmente, que el sonido de *C. brunneus* y *C. biguttulus* es la única barrera contra la hibridización de dos especies.

El sonido de los ortópteros se reconoce ahora de vital ayuda para resolver problemas taxonómicos a nivel de especie. Las diferencias en el canto puede proveer el aislamiento reproductivo en especies simpátricas (que comparten el mismo hábitat).

Tecnología y métodos de estudio

La tecnología de grabación y análisis de las señales acústicas permite que la señal de comunicación pueda ser fácilmente conservada, para luego ser estudiada y caracterizada en términos de parámetros físicos. Los parámetros que se utilizan son la frecuencia, la intensidad y la duración de unidades sonoras o intervalos de la señal.

Considerando que la modulación de la señal depende del aparato de emisión, los insectos tienen pocas posibilidades de realizar una variación temporal de la frecuencia, aunque si exhiben una modulación de la amplitud que les da la posibilidad de transmitir información casi en forma ilimitada. Es principalmente de esta forma, en los ritmos, en la duración de la señal y en la variación de los silencios que los insectos logran un repertorio variado de señales.

Es por esta razón que la mayor parte de los trabajos en insectos describen la señal a

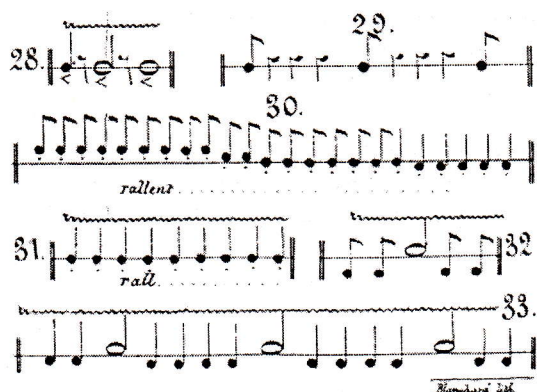
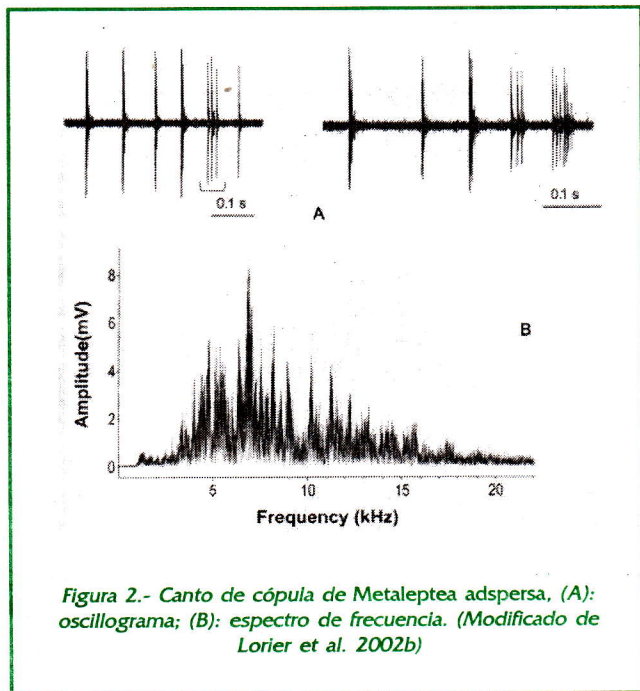


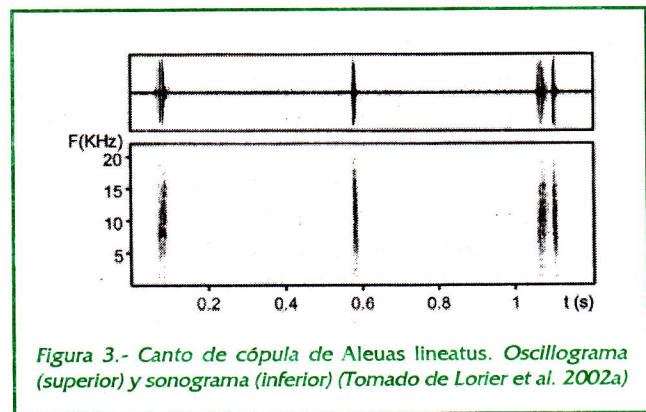
Figura 1.- Notación musical utilizada por A. Yersin para ilustrar sonidos de ortópteros europeos. (Tomado de Ragge et al. 1998)



papel con una base de tiempo calibrada. En estos registros se estudia el patrón temporal, es decir la duración de la señal, el intervalo entre señales, los distintos elementos de repetición, la forma de la envolvente. Sin embargo los insectos son sensibles a la frecuencia, muchos presentan aparatos receptores de sonido, con estructuras especializadas para percibir determinadas bandas de frecuencia.

Los espectros de frecuencia se obtienen en analizadores de sonido, el más utilizado es el sonógrafo que permite registrar intensidad y frecuencia y su variación con el tiempo en los sonidos. En el diagrama obtenido, el sonograma, se representan en la vertical la frecuencia, en el horizontal el tiempo y la intensidad está dada por el grado de oscuridad del trazado (Figura 3). Uno de los parámetros que resulta de interés para caracterizar la señal es la llamada frecuencia de máxima energía, aquel rango de frecuencia en el que se presenta con mayor intensidad. También se obtienen diagramas Amplitud = f (frecuencia) e Intensidad = f (frecuencia).

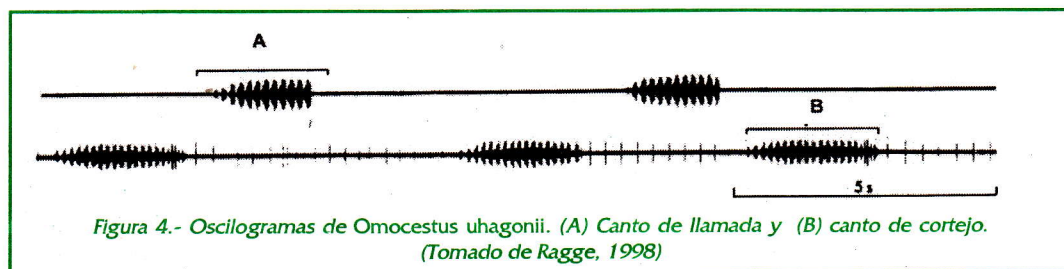
En la década del 80 se extendió el uso de sonógrafos digitales, que facilitaron el tratamiento de los datos.



través de oscilogramas (Amplitud = f (tiempo)) o mediante la curva dinámica (Intensidad = f (tiempo)) (Figura 2)

Estos oscilogramas eran estudiados en osciloscopios de doble trazo, que proveían una base de tiempo constituida por una señal senoide de frecuencia conocida. La pantalla era entonces fotografiada o filmada y en los modelos digitales más avanzados memorizada e impresa. Sin embargo el oscilógrafo, del tipo de los utilizados para electroencefalogramas, fue de uso más extendido y aplicado para el estudio de bajas frecuencias, obteniéndose un registro en

Actualmente existen programas para Windows de análisis de sonidos especialmente diseñados para este propósito, que permiten utilizar la computadora como espectrógrafo ampliando las posibilidades de análisis así como el tratamiento de los datos, los diferentes parámetros pueden ser medidos automáticamente y procesados estadísticamente. Uno de los programas más citado actualmente en las publicaciones es el Avisoft-SASLab Pro (Consultar la página Web www.avisoft.saslab.com)



Las funciones del sonido

La función del sonido es la comunicación. Sin embargo los movimientos que producen sonido no siempre son señales acústicas. Muchas especies de langostas realizan movimientos de las patas posteriores, que producen sonido, que son señales acústicas y otras veces estos movimientos son utilizados como señales visuales. En algunos casos no es fácil determinar si el sonido es comunicativo, puede ser tanto una u otra señal y a veces ambas al mismo tiempo.

La comunicación ocurre entre individuos de la misma especie aunque existen algunos sonidos, como las señales de espaciamiento entre langostas, bastante generalizados, que implican comunicación entre especies diferentes. Debe tenerse en cuenta que el sonido puede ser interceptado por predadores y que la evolución opera bajo esta presión selectiva. Para determinar la función de una señal se utiliza la determinación del contexto comportamental la cual debe ser verificada experimentalmente. Los comportamientos asociados a la producción de sonido son: el comportamiento sexual, el territorial y el agresivo. (Figura 4)

Un mismo sonido puede cumplir más de una función. Así una misma señal aparece asociada a comportamientos diferentes.

De acuerdo con la función los sonidos pueden ser clasificados en las siguientes tipos:

1. canto de llamada, espontáneo o de proclamación. (*calling song*)

2. canto de rivalidad (*rivalry song*)
3. canto de cortejo (*courtship song*)
4. canto defensivo, o de espaciamiento (*disturbance sounds*)

1. canto de llamada, espontáneo o de proclamación. (*calling song*)

Es el sonido producido por un macho aislado. El canto de llamada es un mensaje de identificación y calidad. El primero se refiere al reconocimiento específico, el segundo se refiere al estatus social, o a atributos individuales.

Una de las funciones del sonido es la correcta identificación de las especies, la atracción de individuos de la misma especie. En la mayoría de las especies sólo canta el macho. Su función sería atraer a las hembras de la especie (phonotaxia) o estimular la respuesta acústica de la hembra de la especie. En la mayoría de las especies las hembras raramente cantan. En algunos grupos de langostas hay respuesta al canto del macho mediante el canto de las hembras receptivas. El canto de llamada es como su clave de identidad y expresa algo así como "soy fulanito y aquí estoy". Pero, como en otros casos la evolución nos muestra que quien elige es la hembra, de forma que actuaría la selección sexual a través de la elección por parte de la hembra. Los machos "elegidos" o más exitosos en transferir sus gametos tendrán más posibilidades de transmitir sus genes a la próxima generación.

2. canto de rivalidad (*rivalry song*)

Es el sonido producido por dos o más machos como respuesta entre ellos. El canto agresivo puede jugar un rol en estable-



Figura 5.- Aparato estridulatorio de una langosta: fémur mostrando la fila estridulatoria (Izq.), detalle (der.) (Tomado de Leroy, 1976)

cer la dominancia, y en la agresión. Este tipo de sonido producido por los machos es una forma de competición con otros machos de su especie por la hembra. Es una emisión típica de algunas especies de langostas producida como respuesta al canto de llamada de otro macho. En los grillos está vinculada al comportamiento territorial.

3. canto de cortejo (courtship song)

Es el sonido producido por el macho cuando está cerca de la hembra. El canto de cortejo suele operar como mecanismo de reconocimiento específico, es diferente entre especies distintas. Ha evolucionado también como mecanismo precopulatorio. Entre especies cercanas del mismo género la aislación sexual es mantenida por mecanismos precopulatorios que incluyen diferencias entre los cantos de cortejo.

El cortejo puede repetirse o prolongarse como forma de inducir la receptividad. En algunas especies, las hembras requieren largos cortejos antes de aceptar la pareja potencial.

Existe evidencia de que el cortejo es una forma de comunicación competitiva que involucra la selección sexual. La hembra puede comparar el cortejo de machos competidores. El sonido puede proveer características relacionadas con las propiedades del macho y ser un recurso de información. En

algunas especies los machos que más cantan son los dominantes y tienen mayor éxito en conseguir la aceptación de la hembra, en otras especies tiene importancia la intensidad, en algunas langostas la duración de la sílaba determina la preferencia de la hembra. Es decir las hembras pueden discriminar entre los machos por el canto y como siempre sucede son finalmente ellas quienes eligen.

4. canto defensivo, o de espaciamiento (disturbance sounds)

Entre los machos y hembras de algunas especies de langostas, se producen cantos cuando interaccionan con otros individuos del mismo o de diferente sexo, cuyo efecto resulta ser el espaciamiento entre los individuos, típicamente son monosilábicos y de muy baja intensidad.

Mecanismos de producción del sonido

Los vertebrados vocalizan, utilizando un desarrollo especial del aparato respiratorio, los artrópodos en cambio estridulan, producen sonidos utilizando su esqueleto externo rígido y articulado. Los aparatos que producen el sonido se componen principalmente de una zona del tegumento con alineamiento de rugosidades, estriaciones o dientes contra la que se frota otra estructura

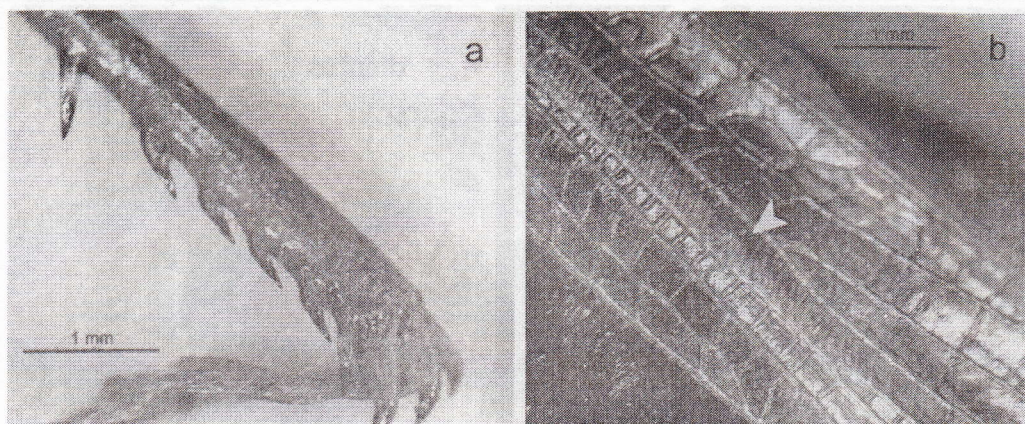


Figura 6.-Características morfológicas del aparato estridulatorio de *Aleuas lineatus*. a) X espinas distales modificadas de la tibia posterior. b) X Modificaciones de las venillas del área radial del tegmen. (Tomado de Lorier et al. 2002a)

protuberante del tegumento. Las langostas tienen un aparato productor de sonido doble, cada pata posterior produce el sonido en forma independiente. El método más extendido es el fémoro-tegmenal: en la cara interna del fémur presentan una fila de pequeños dientes (Figura 5) y en el primer par de alas una vena engrosada. Cada vez que frota el fémur contra el ala al elevar y/o bajar la pata, se produce el sonido. Hay diferencias específicas en la forma de la fila estridulatoria pero el patrón rítmico del sonido está principalmente determinado por los movimientos estridulatorios de las pa-

tas. En otras especies el ala presenta una vena denticulada, y una cresta hace saliencia en la cara interna del fémur, en otras especies varias venas contiguas del ala forman un área estriada y espinas modificadas de la tibia funcionan como púas (Figura 6).

Otras langostas cantan con las alas (método tegmino-alar) rozan una vena que sobresale en la cara interna del primer par de alas, con denticulaciones de las venas del segundo par. Algunas especies producen sonido cuando baten las alas, estando el individuo posado en el sustrato y otras emiten sonidos en vuelo (crepitación). Los

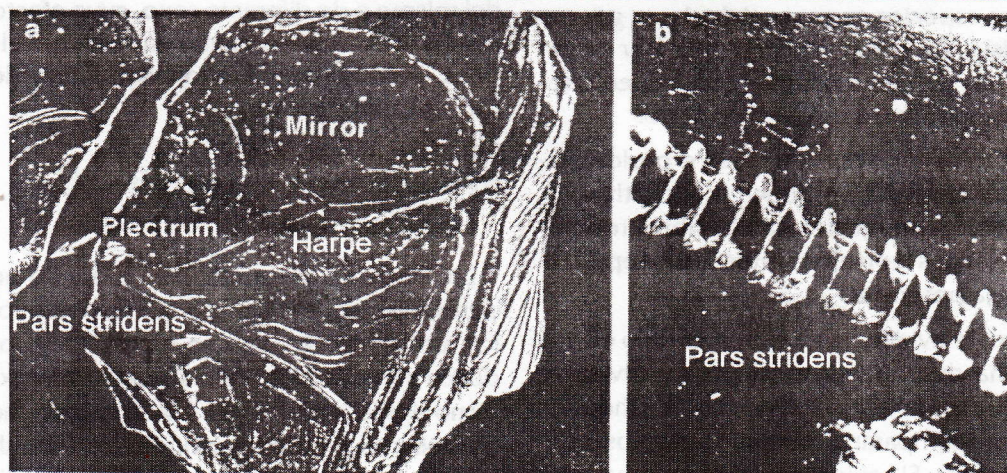


Figura 7.-Aparato estridulatorio de un grillo: tegminas. (Tomado de Leroy, 1976)

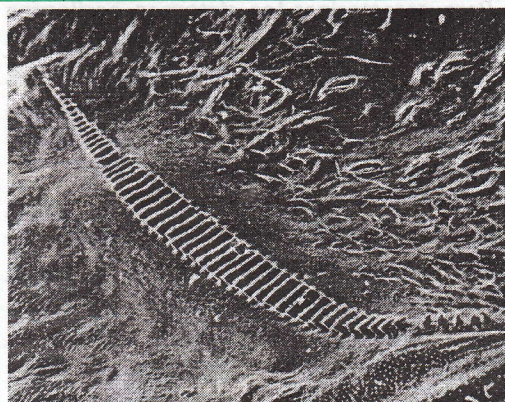


Figura 8.- Fila estridulatoria de un tetigónido
(Tomado de Leroy, 1976)

grillos producen sonido durante el cierre del primer par de alas o tegminas, el borde interno, esclerificado de una tegmina (*plectrum*), frota contra un alineamiento de dientes en forma de lámina, inclinados en el mismo sentido, de una vena de la cara interna de la otra tegmina (*pars stridens*) (Figura 7).

En los tetigónidos, parientes cercanos de los grillos, los dientes pueden ser frotados tanto durante el cierre como durante la apertura de las tegminas. (Figura 8)

En los ortópteros el sistema de raspador se acopla a un resonador. A las estructuras de estridulación se ajusta o acopla un resonador constituido por otras diferenciaciones, especialmente láminas vibrantes, que aseguran la irradiación (Figuras 7 y 9). El resonador modifica las propiedades del sonido de acuerdo a sus características. Las vibraciones producidas por el sistema exitador son transferidas a otro sistema que modela la energía liberada, y le agrega nuevas frecuencias. La actividad de producción de sonido en los ortópteros depende de las contracciones musculares que no superan los centenares de Hz, sin embargo la frecuencia de emisión suele ser del orden de los KHz.

La característica más llamativa de este sistema, como de otros sistemas osciladores impulsados exteriormente, es la forma en

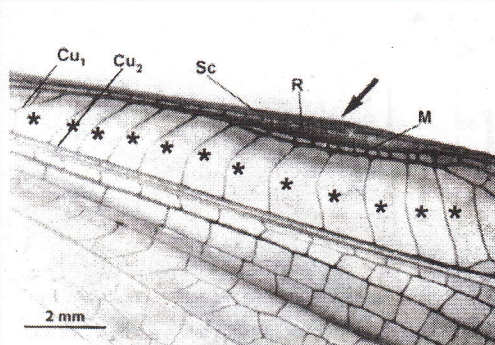


Figura 9.-Vista parcial del ala posterior del macho de *Metaleptea adspersa*. *fenestras del área cubital (Tomado de Lorier et al., 2002b)

como una fuerza periódica produce diferentes resultados dependiendo de la frecuencia, si la frecuencia impulsora se aproxima a una de las frecuencias naturales, la amplitud de oscilación se hace relativamente grande, con aplicaciones repetidas de una fuerza muy pequeña. Este fenómeno es denominado resonancia y se dice que el sistema resuena con los impulsos aplicados. Los pequeños impulsos que producen el choque del *plectrum* sobre cada diente de la *pars stridens* fuerzan a las membranas vibrantes de la tegmina a oscilar. En las diferentes partes de la tegmina que se ponen en vibración, si lo hacen libremente, las oscilaciones se amortiguan gradualmente, por disipación de energía, en los distintos elementos elásticos de la cutícula de la tegmina y por la acción de fuerzas disipativas. El sistema del raspador comunica energía al sistema aplicando una fuerza impulsora que actúa durante el golpe en cada diente. Cuando la frecuencia impulsora es muy diferente de la natural del sistema la amplitud del movimiento resultante es pequeña. Si la frecuencia impulsora está próxima a cualquiera de las frecuencias naturales de las "áreas resonantes", estas vibrarán intensamente con esa frecuencia y con el máximo aprovechamiento de la potencia del sistema vibrante o excitador. La frecuencia de resonancia es la frecuencia para la cual se transmite la máxima potencia de la unidad

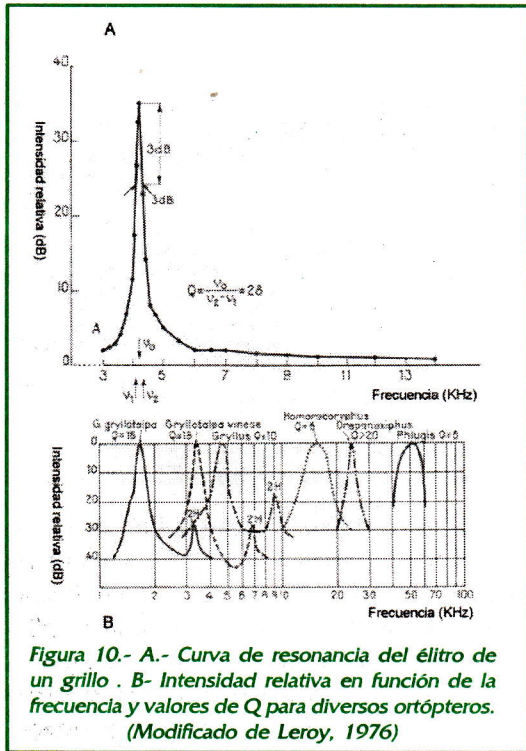


Figura 10.- A.- Curva de resonancia del élitro de un grillo. B.- Intensidad relativa en función de la frecuencia y valores de Q para diversos ortópteros. (Modificado de Leroy, 1976)

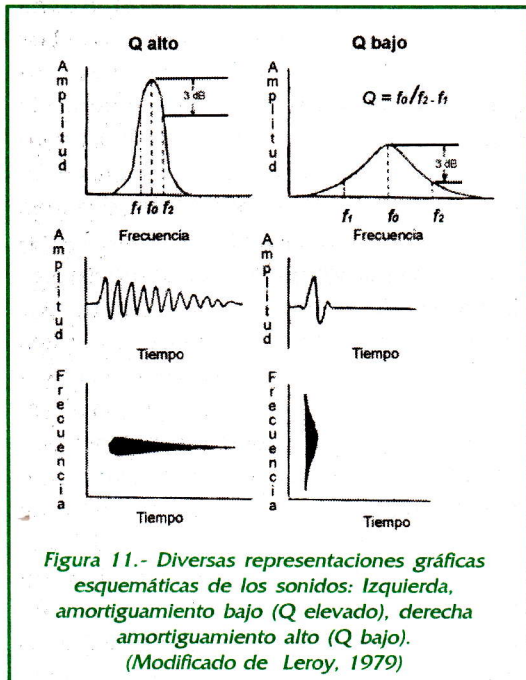


Figura 11.- Diversas representaciones gráficas esquemáticas de los sonidos: Izquierda, amortiguamiento bajo (Q elevado), derecha amortiguamiento alto (Q bajo). (Modificado de Leroy, 1979)

Para caracterizar los sistemas oscilantes amortiguados se define un parámetro Q (Quality) que es un número de varias veces la unidad cuando se trata de sistemas con pequeñas pérdidas de energía por unidad de tiempo. Cuanto mayor es el valor de Q, menor es el efecto disipativo. La potencia media absorbida por un sistema oscilador forzado en función de la frecuencia (curva de resonancia) tiende a cero para frecuencias muy bajas y muy altas y excepto para valores bajos de Q las curvas son casi simétricas alrededor del máximo. Puede definirse una anchura para estas curvas de resonancia de potencia tomando la diferencia entre aquellos valores de frecuencia para los cuales la potencia de entrada es la mitad del valor máximo. Si un sistema tiene una respuesta de resonancia muy estrecha la disminución de sus oscilaciones libres será muy lenta.

Es frecuente en los estudios comparativos de los sistemas resonadores de insectos utilizar el factor Q, calculado a partir de la curva de intensidad relativa del sonido en función de la frecuencia. El factor Q se define como la relación entre la frecuencia f_0 para la que se proporciona la máxima energía sonora y la diferencia de frecuencias $(f_2 - f_1)$ calculadas para una intensidad relativa 3 db menor que la que corresponde al máximo de frecuencia f_0 . (Figura 10)

Si el sistema resonador tiene una tasa de amortiguamiento elevada (Q bajo), cada percusión libera un tren de ondas que decrece bruscamente casi hasta la extinción completa antes de que comience la percusión siguiente. Cada tren de ondas se separa bien del siguiente, la amplitud decrece rápidamente, el espectro de frecuencia es muy amplio pero de breve duración. Este tipo de sistema es el que presentan la mayor parte de las especies de langostas. (Figura 11, derecha)

impulsora al sistema oscilante. Así pues, la potencia absorbida por el sistema oscilante, el ala, es máxima en las condiciones de resonancia y relativamente muy poca fuera de ella.

En las langostas la serie de impactos produce un sonido complejo, una banda de frecuencia amplia, (2- 40 KHz) las láminas vibrantes de las tegminas generalmente es-

tán poco diferenciadas. Se supone que diferentes partes de la tegmina entrarían en resonancia para diferentes frecuencias.

Cuando el sistema resonador de insectos tiene un factor Q elevado el tren de ondas producido por una percusión no ha disminuido su amplitud demasiado cuando ocurre la siguiente percusión (Figura 12 c y d). La amplitud decrece lentamente con el tiempo, el sonido se restringe a una estrecha banda de frecuencias, de cierta duración. Es el tipo de resonador que presentan en general los grillos y algunas especies de tetigónidos. En los grillos cada diente frotado provoca una vibración, la energía proviene de la percusión de cada diente contra la vena, el tren de ondas liberado no se extingue cuando llega la percusión siguiente. La frecuencia portadora es igual a la cadencia de frotamiento de los dientes. La superficie vibrante "harpe" (una zona de membrana expandida de la tegmina rodeada por un anillo esclerificado) entra en resonancia para la misma frecuencia. Como consecuencia la energía del sonido emitido por los grillos está concentrada en una estrecha banda de frecuencia (Q alto). Dependiendo de la especie, el rango de frecuencias es de 2-8 KHz. (Figura 11, izquierda)

En muchas especies de tetigónidos, el sistema vibrador entra en acción cuando se produce un choque sobre uno de los dien-

tes, pero cuando termina la primer vibración no ocurre un nuevo impulso, aparecen entonces una serie de ondas amortiguadas. El Q es bajo y los ultrasonidos son frecuentes. (5-100 KHz) (Figura 12 a)

Adaptación de la comunicación acústica al medio

Atenuación.

La intensidad de una señal sonora decrece a medida que se propaga. La atenuación varía con la frecuencia, la temperatura, la humedad del aire, la naturaleza del medio, y particularmente del tipo de estrato vegetal que atraviesa. Ocurren reflexiones parciales de la señal, en los diferentes obstáculos, acompañada por un fenómeno de absorción que hacen que la señal se atenúe rápidamente. La señal acústica es refractada por cambios en las propiedades del medio, debido a gradientes de humedad y temperatura. No sólo la intensidad es afectada por estos fenómenos, la estructura temporal también cambia, se reduce la "claridad" de la señal. La velocidad de transmisión depende de las propiedades del medio, (elasticidad, densidad) y cuando el sonido o parte de él se trasmite por el sustrato se comporta diferente y esto afecta la señal que llega al receptor. Si una parte de la señal se trasmite por aire y otra por el sustrato el receptor detecta la señal a

través de dos rutas a diferentes tiempos. La causa de estos fenómenos de refracción, el cambio de propiedades físicas del medio produce un cambio en la velocidad de transmisión del sonido.

La difracción también juega su rol, de acuerdo con el medio, el tamaño de los obstáculos que encontra-

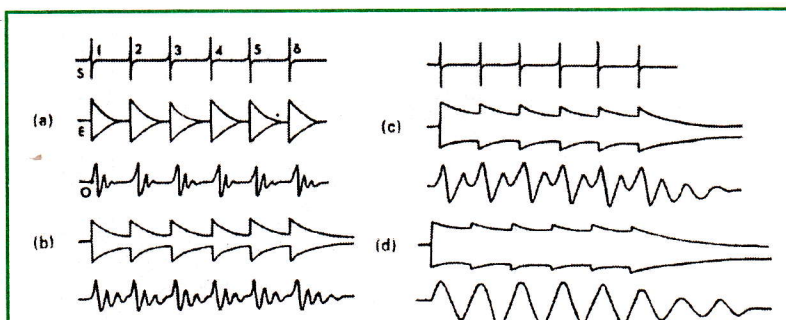
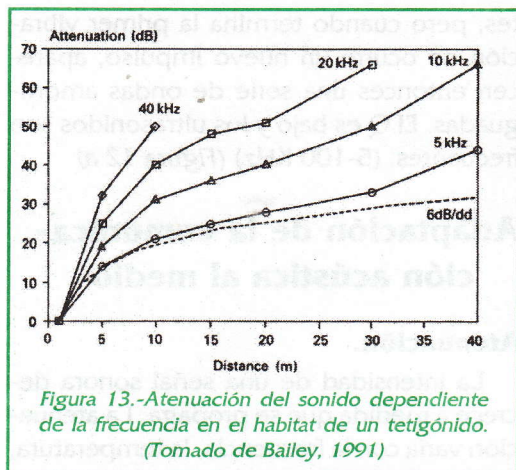


Figura 12. Representación gráfica esquemática de cuatro tipos diferentes de sonidos de diferentes ortópteros ensíferos (grillos y tetigónidos).

Secuencia que resulta de la percusión de 6 dientes de la pars stridens sobre el plectrum. Para cada caso se representa la envolvente (E) del trazo oscilográfico y la forma de los trenes de ondas.

(Tomado de Leroy, 1979)



rá la señal según el tipo de vegetación determinará que el efecto de la difracción sea más o menos notorio. Una señal compuesta por un rango amplio de frecuencias y por tanto de un amplio rango de longitudes de onda en un mismo medio será sometida a una desintegración si se propaga en un medio compuesto por obstáculos de tamaños muy variables. En este sentido interesa que la difracción de la señal sonora animal sea reducida a un mínimo para que la señal se propague más efectivamente. En la selva tropical densa donde las hojas de los árboles tiene un diámetro de unos 20 cm sólo los sonidos que tienen una longitud de onda superior a este valor se propagan una cierta distancia. La transmisión de los sonidos de diferentes frecuencias es distinta si el tipo de vegetación determina un medio abierto o cerrado. Los sonidos agudos se transmiten deficientemente en la selva. En una pradera, principalmente compuesta por gramíneas, que ofrecen superficies de difracción inferiores al cm, los sonidos agudos, de menores longitudes de onda, pueden propagarse con mayor facilidad.

Estudiando las características de la señal en especies cercanas de medio abierto y cerrado se encuentra que la señal ha evolucionado bajo una presión selectiva que determina una

adaptación de la comunicación acústica al medio. Si la señal está destinada a una comunicación a corta distancia o a larga distancia también sus características varían. Por ejemplo en las langostas el tipo de sonido de defensa o espaciamiento que ocurre cuando los individuos están muy cerca o en contacto, es breve, de baja intensidad, sin una frecuencia definida (ruido), y destinado a una comunicación a corta distancia.

En cambio las señales compuestas de sonidos largos, intensos, con una banda de frecuencia estrecha y no demasiado aguda se adaptan a una comunicación a grandes distancias, aún en un medio con vegetación cerrada. Tal es el caso de los grillos cuya señal puede propagarse cientos de metros.

Resulta útil estimar la reducción de la intensidad sonora con el incremento de la distancia, pero las situaciones ideales no se dan en la naturaleza, se verifican pérdidas significativas de la intensidad dependientes de la frecuencia, las altas frecuencias se atenúan más rápidamente que las bajas (Figura 13)

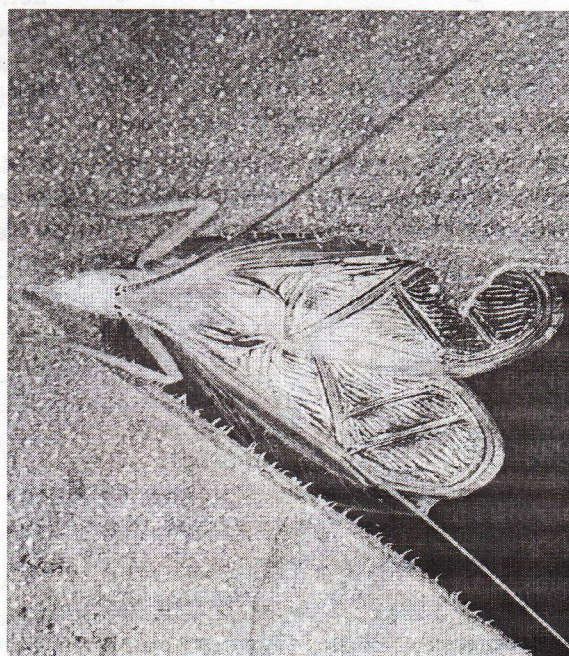
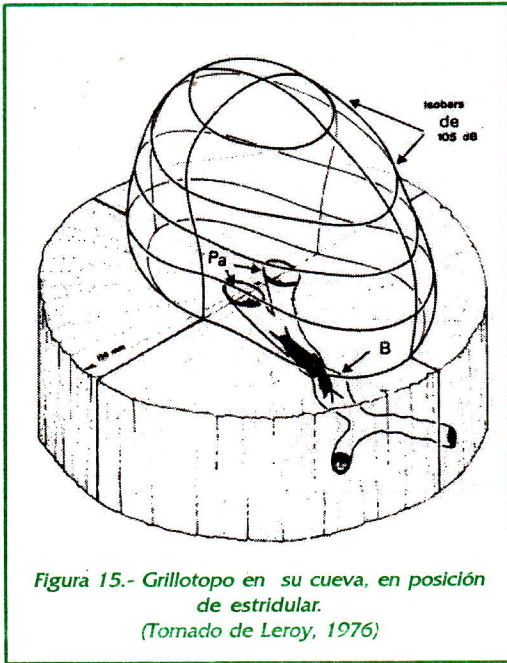


Figura 14.-Oecanthus, grillo arborícola cantando desde el borde de la hoja, incorporando la misma como baffle. (Tomado de Bailey, 1991)



Dispositivos mejoradores de la emisión

Dado que la eficiencia en convertir energía muscular en acústica es en algunos insectos relativamente baja ($\approx 1\%$) algunos mejoran su performance acústica incorporando resonadores como parte de su sistema de producción de sonido, es decir acoplando un dispositivo que logra extraer la máxima potencia del acople genrador-resonador. Las membranas cuticulares expandidas, forman parte de la estructura del ala, que el insecto utiliza para volar, además de para cantar, por lo que no es posible expandir demasiado estas estructuras extremadamente delicadas. En algunos casos los insectos usan estructuras del habitat para incrementar el área, por ejemplo algunos pequeños grillos arborícolas cantan situando sus alas en contacto con el borde de las hojas, la hoja de este modo aumenta efectivamente la superficie del ala, incorporando la hoja como un resonador de sonido. Algunos utilizan el borde, otros el espacio entre dos hojas adyacentes, mientras

que otros cortan la hoja, uniendo con sus alas el espacio entre los bordes (Figura 14).

Algunos ortópteros construyen dispositivos que aseguran la orientación de las emisiones sonoras (grillotopos). Es este otro modo que tienen de incrementar la intensidad del sonido producido construyendo cavidades en el suelo y situándose en ellas para cantar. Estas complejas cavidades les sirven como refugio y como corneta a la medida para la frecuencia emitida, a veces la cueva es construida con una doble corneta, y ajusta su posición dentro de la cueva hasta lograr el tono correcto (Figura 15).

Bibliografía

- Bailey W.J., 1991. Acoustic Behaviour of insects. An evolutionary perspective. London. Chapman and Hall. 225 pp.
- Leroy, Y. 1976. Production de sons par les insectes. En : P. Grassé (ed.). Traité de Zoologie, Paris, Masson, T8, Fasc. 4, 799-842.
- Leroy Y., 1979. L'Univers sonore animal, rôles et évolution de la communication acoustique. Paris. Gauthier-Villars. 350 pp
- Lorier, E., M. D. García, M. E. Clemente & J.J. Presa, 2002a. Calling Behavior and Morphology of the Stridulatory Apparatus in Neotropical Grasshoppers (*Aleuas* Stål; Orthoptera). *Studies on neotropical fauna and environment*. 37: 71-78
- Lorier, E., M. D. García, M. E. Clemente & J.J. Presa, 2002b. Acoustic behavior of *Metaleptea adspersa* (Orthoptera: Acrididae). *The Canadian Entomologist*. 134: 113-123
- Otte, D., 1977. Communication in Orthoptera., 334-361. In: T.A. Sebeok (ed) How animals communicate. Indiana Univ. Press.
- Ragge D.R. & Reynolds W.J. 1998. The Songs of the Grasshoppers and Crickets of western Europe. London. Harley Books d The Natural History Museum, 591 pp.
- Riede K. 1987. A Comparative Study of Mating Behaviour in Some Neotropical Grasshoppers (Acridoidea). *Ethology* 76: 265-296.

EFEMÉRIDES

Mayo

- 01** 1825 Nace en Lausana Johann Jakob Balmer Físico suizo
- 06** 1872 Nace en Sneek Willem De Sitter Astrónomo neerlandés
- 07** 1617 Fallece en Osteel David Fabricio Astrónomo alemán
- 10** 1910 Fallece en Roma Stanislao Cannizzaro Químico italiano
- 1956 Fallece en Pasadena Walter Sydney Adams Astrónomo estadounidense
- 12** 1856 Fallece en París Jacques-Philippe-Marie Binet Matemático y astrónomo francés
- 13** 1850 Nace en Londrés Oliver Heaviside Físico en ingeniero inglés
- 15** 1859 Nace en París Pierre Curie Físico francés
- 17** 1765 Fallece en París Alexis Graham Clairaut Matemático francés
- 21** 1792 Nace en París Gaspar de Coriolis Físico francés
- 22** 1920 Nace Thomas Gold Astrónomo austríaco
- 23** 1857 Fallece en Sceaux Augustin-Louis Cauchy Matemático francés
- 24** 1543 Fallece en Frauenburg Nicolás Copérnico Astrónomo polaco

Junio

- 01** 1796 Nace en París Sadi CARNOT Físico francés
- 05** 1819 Nace en Lancast John Couch Adams Astrónomo inglés
- 08** 1625 Nace en Perinaldo Jean - Dominique Cassini Astrónomo italiano
- 14** 1736 Nace en Angoulême Charles Augustin COULOMB Físico francés
- 19** 1832 Nace en Londres William Crookes Físico inglés
- 20** 1966 Fallece Lovaina Abbé Georges Édouard Lemaitre Astrónomo belga
- 21** 1874 Fallece en Uppsala Ander Jonas Angström Físico sueco
- 26** 1730 Nace en Vosgos Charles Messier Astrónomo francés
- 1824 Nace en Belfast Sir William Thomson, lord Kelvin Físico británico

Julio

- 04** 1934 Fallece en Sancellemo/Saboya Marie Curie Químico y físico francesa
- 06** 1850 Nace en Fulda Carl Ferdinand Braun Físico alemán
- 09** 1856 Fallece en Turín Amadeo Avogadro Físico y químico italiano
- 12** 1682 Fallece en París Abate Jean Picard Astrónomo francés
- 13** 1762 Fallece en Chalford James Bradley Astrónomo británico
- 1826 Nace en Palermo Stanislao Cannizzaro Químico italiano
- 17** 1894 Nace en Charleroi Abbé Georges Édouard Lemaitre Astrónomo belga
- 21** 1620 Nace en La Flèche, Sarthe Abate Jean Picard Astrónomo francés
- 22** 1784 Nace en Minden Friedrich Wilhelm Bessel Astrónomo alemán
- 27** 1801 Nace en Alnwick George Biddell Airy Astrónomo y matemático inglés

EDUCACIÓN en FÍSICA

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay
Volumen 6 Número 7

Setiembre, 2003

S u m a r i o

EDITORIAL pág. 1

**CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN
CÓMO ENVIAR SUS TRABAJOS** pág. 2

EL ROL DEL LABORATORIO EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA
Documento de trabajo #2 XII Encuentro Nacional de
Profesores de Física, Asociación de Profesores de Física del
Uruguay, Carmelo 20 de setiembre de 2002 pág. 3

WEB - RECOMENDACIONES pág. 7

EL MATE: rasgo cultural inconfundible pág. 9

CURIOSOS CASOS, COSAS CURIOSAS pág. 11

MODELOS Y OSCILACIONES EN EDIFICACIONES
Prof. Ing. Pablo Otero pág. 13

ESPACIO DE A.P.F.U. pág. 18

FÍSICA DEL HUMOR pág. 20

ENERGÍA RADIANTE Y ANTENAS
Prof. Mario Guerra pág. 21

**UNA COSA ES SABER QUÉ SE ES Y
OTRA QUÉ PODRÍA UNO SER** pág. 34

ESTUDIO DE UN FILAMENTO DE TUNGSTENO
Ricardo Marotti - Pasante: Daniel Baccino pág. 35

BIOACÚSTICA DE LOS ORTÓPTEROS
Profa. Estrellita Lorier pág. 45

EFEMÉRIDES pág. 56