

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE FILOSOFÍA, LETRAS Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN**  
**ESPECIALIDAD DE MATEMÁTICAS Y FÍSICA**



**“APRENDAMOS LA ACÚSTICA A TRAVÉS DEL  
COMPUTADOR”**

Tesis previa a la obtención  
del título de Licenciada  
en Ciencias de la Educación  
en la especialidad de  
Matemáticas y Física

***DIRECTOR:* Dr. ALBERTO SANTIAGO AVECILLAS JARA**

***AUTOR:* ANGÉLICA MARÍA SALAZAR JARA**

**CUENCA-ECUADOR**  
**2010**

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación es una compilación de los fundamentos teóricos de la subunidad llamada Acústica, la misma que se encuentra dentro de una de las ramas de la Física que es Oscilaciones y Ondas.

Con la utilización del programa llamado Modellus, el cual permite dar movimiento a objetos dentro de una ventana llamada animación previo a la introducción de un modelo matemático en una ventana que recibe el nombre de modelo, se han elaborado una serie de animaciones, las mismas que se encuentran clasificadas en: Conceptuales, Ejercitativas y Lúdicas. Las primeras hacen referencia a los fundamentos teóricos de la Acústica, las segundas permiten alcanzar un aprendizaje significativo con la ayuda de ejercicios propuestos y resueltos, en tanto que las últimas permiten aprender jugando contribuyendo de esta manera al desarrollo del pensamiento.

## PALABRAS CLAVE

**Acústica**

**Modellus**

**Sonido**

**Vibración**

**Frecuencia temporal**

**Cuerda**

**Intensidad**

**Amplitud**

**Tono**

**Timbre**

**Notas**

**Oído**

**Audición**

# Í N D I C E

<b>Certificado.....</b>	<b>4</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>5</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>6</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>7</b>
<b>Descripción de cada tema.....</b>	<b>8</b>
<b>Estrategias para lograr aprendizajes significativos.....</b>	<b>10</b>
<b>Introducción a Modellus.....</b>	<b>35</b>
<b>Presentación.....</b>	<b>49</b>
<b>El sonido.....</b>	<b>50</b>
<b>Vibración de una cuerda tensa.....</b>	<b>57</b>
<b>Vibración de una columna de gas.....</b>	<b>67</b>
<b>Intensidad y sonoridad.....</b>	<b>75</b>
<b>Tono y timbre .....</b>	<b>87</b>
<b>Resonancia.....</b>	<b>94</b>
<b>Escalas musicales.....</b>	<b>102</b>
<b>El oído humano.....</b>	<b>109</b>
<b>Mecanismo de la audición.....</b>	<b>117</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>125</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>126</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>127</b>

## **CERTIFICADO**

**Yo, Angélica María Salazar Jara,  
certifico que todo el contenido  
del presente trabajo es  
de exclusiva responsabilidad del autor.**

.....

## DEDICATORIA

En este trabajo de tesis se ve reflejado el apoyo incondicional que me han brindado mi esposo, Geovanny, y mi madre durante estos años de estudios.

Y es a ellos a quienes dedico este trabajo.

También:

A mis hijos Micaela y Juan David.

A mis hermanos, quienes me han brindado siempre su colaboración y comprensión en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

**Agradezco a aquellas personas que de una u otra manera han hecho posible la realización de esta obra, y de manera muy especial a mi director de tesis, Dr. Santiago Avecillas Jara, por guiar este trabajo con mucha solvencia y profesionalismo, por brindar su tiempo y sus conocimientos.**

## INTRODUCCIÓN

El desinterés por aprender la Física y la Matemática, que se presenta en las aulas, es cada vez mayor; los estudiantes no atienden ni entienden estas materias abstractas; es allí donde el docente se ve en la necesidad de buscar modernas técnicas de enseñanza, encontrando en un programa de computación llamado Modellus la ayuda necesaria, ya que con éste es posible dar movimiento a los objetos, conceptos, etc., antes inimaginables.

“Aprendamos la Acústica a través del computador” es una obra diseñada tanto para estudiantes de bachillerato como para estudiantes de los primeros años de nivel superior que incurrieren en ramas afines a la Física. Los fundamentos teóricos, los ejercicios resueltos y propuestos se constituyen en una característica distintiva de la presente obra.

En lo que concierne a la parte específica de la Acústica, cada tema comienza con la respectiva fundamentación teórica, luego de ello se presenta un listado de las diferentes animaciones tanto conceptuales, ejercitativas como lúdicas, las mismas que poseen un código para su identificación; finalmente se presenta una animación de muestra con su respectivo modelo matemático.

## DESCRIPCIÓN DE CADA TEMA

**2.2.1 El Sonido:** Este tema constituye la base de la Acústica, se describe el concepto, las características y la velocidad en diferentes medios del mismo.

**2.2.2 Vibración de una cuerda tensa:** Aquí se estudia la velocidad con la que se propagan las perturbaciones transversales a través de una cuerda y se desarrollan ecuaciones analizando cada posibilidad de longitudes de onda en una cuerda.

**2.2.3 Vibración de una columna de gas:** Aquí se analizan las longitudes de onda y se desarrolla ecuaciones para cada caso posible de columnas de gas: abierto a los dos lados, abierto el un extremo y el otro cerrado y cerrado a los dos lados.

**2.2.4 Intensidad y Sonoridad:** Aquí se estudia a la Intensidad como una de las características del sonido y se la define con sus respectivas ecuaciones matemáticas, se describe a la sonoridad y nos proporciona una tabla de niveles de intensidad de acuerdo a las circunstancias.

**2.2.5 Tono y Timbre:** En este tema se estudia al tono como la segunda característica del sonido indicando la íntima relación que tiene con la frecuencia temporal de una onda sonora y al timbre como la tercera característica del sonido, la misma que sirve para diferenciar los sonidos emitidos por instrumentos musicales.

**2.2.6 Resonancia:** Con un experimento sencillo, formado por un diapasón y una columna de aire, se muestra y se explica el concepto de resonancia.



**2.2.7 Escalas musicales:** En este tema se hace un recuento sobre las escalas de los sonidos, desde la antigüedad hasta la actualidad, y nos permite un algoritmo para crear cualquier escala musical que se pretenda.

**2.2.8 El oído humano:** Es importante dentro de este capítulo saber y conocer biológicamente el oído humano ya que es el órgano humano encargado de convertir las ondas de presión en sensaciones acústicas.

**2.2.9 Mecanismo de la audición:** Aquí se estudia la manera como se convierte una onda de presión en ondas sonoras o sensaciones acústicas.

# ESTRATEGIAS PARA LOGRAR APRENDIZAJES SIGNIFICATIVOS

## ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA PARA LA PROMOCIÓN DE APRENDIZAJES SIGNIFICATIVOS

### INTRODUCCIÓN

#### El aprendizaje significativo

El aprendizaje significativo crea esquemas de conocimiento con la relación sustancial entre la “nueva información” de los contenidos curriculares y el “conocimiento previo” de los alumnos y profesores. Para lograr un aprendizaje significativo se requiere de condiciones favorables de un significado real o psicológico que es la disposición o actitud favorable tanto de los alumnos como de los profesores, otra condición favorable como el significado potencial o lógico que es la relación no arbitraria y sustancial de los materiales y apoyos didácticos. El aprendizaje significativo se facilita por puentes cognitivos como: analogías mapas conceptuales, organizadores previos y otras estrategias afirmando que ofrece muchas ventajas las cuales fomentan la motivación intrínseca, la participación activa, la comprensión y el hecho de aprender a aprender.

“Los aprendizajes significativos son cambios, más o menos estables, en el percibir y/o en la percepción de una persona, co-

mo resultado de su *interacción* con otras personas, objetos, situaciones, ambientes o aún consigo misma, y que tienen una influencia en el modo como la persona se ve a sí misma, a los demás y al Mundo en el que vive” (Moreno, S, 2006, p.1).

“El aprendizaje significativo es aquel que conduce a la creación de estructuras de conocimiento mediante la relación sustantiva entre la nueva información y las ideas previas de los estudiantes”.

El paradigma de la cognición asentada tiene importantes implicaciones instruccionales, algunas de las cuales hemos descrito en otros espacios. Aquí, más que nada, se destaca la gran potencialidad en la promoción del aprendizaje significativo en contextos escolares. De acuerdo con David Ausubel (1976), durante el aprendizaje significativo el aprendiz relaciona de manera sustancial la nueva información con sus conocimientos y experiencias previas. Se requiere disposición del aprendiz para aprender significativamente e intervención del docente en esa dirección. Por otro lado, también importa la forma en que se plantean los materiales de estudio y las experiencias educativas. Si se logra el aprendizaje significativo, se trasciende la repetición memorística de contenidos inconexos y se logra construir significado, dar sentido a lo aprendido, y entender su ámbito de aplicación y relevancia en situaciones académicas y cotidianas.

La investigación sobre las distribuciones y procesos cognitivos realizada entre las décadas de los sesenta y hasta los ochenta, ayudó de manera significativa a forjar el marco conceptual del enfoque cognitivo contemporáneo. Este, mantenido en las teo-

rías de la información, la simulación por computadora, y la inteligencia artificial, llevó a nuevas conceptualizaciones acerca de la representación y naturaleza del conocimiento y de fenómenos como la memoria, la solución de problemas, el significado y la comprensión y producción del lenguaje (Aguilar, 1982; Hernández, 1991).

Se presenta un conjunto de estrategias para el aprendizaje significativo basadas en una enseñanza situada y experimental como: solución de problemas auténticos, aprendizaje en el servicio, análisis de casos, proyectos, simulaciones situadas, entre otros, y se concluye en términos de su potencialidad para promover el facultamiento.

Aquí encontramos dos líneas principales de trabajo iniciadas desde la década de los setenta: *la aproximación impuesta* que consiste en realizar modificaciones en el contenido del material de aprendizaje; y *la aproximación inducida* que se aproxima a entrenar a los aprendices en el manejo directo y por si mismos de procedimientos que les permitan aprender con éxito de manera autónoma.

En la *aproximación impuesta*, las "ayudas" que se proporcionan al aprendiz procura facilitar voluntariamente un proceso mas profundo de la información nueva y son planeadas por el docente, el planificador, el diseñador de materiales o el programador de *software* educativo, por lo que constituyen estrategias de enseñanza.

Así, podríamos definir a las estrategias de enseñanza como: *"los recursos utilizados por el agente de enseñanza para pro-*

*mover aprendizajes significativos*" (Mayer, 1984; Shuell, 1988; West, Farmer y Wolff, 1991).

Por otra parte, la aproximación *inducida*, comprende una serie de "ayudas" internalizadas en el lector; éste decide cuándo y por qué aplicarlas y constituyen estrategias de aprendizaje que el individuo posee y emplea para aprender, recordar y usar la información.

Ambos tipos de estrategias, de enseñanza y de aprendizaje, se encuentran involucradas en la promoción de aprendizajes significativos a partir de los contenidos escolares; aún cuando en el primer caso el énfasis se pone en el diseño, programación, elaboración y realización de los contenidos a aprender por vía oral o escrita (lo cual es tarea de un diseñador o de un docente) y en el segundo caso la responsabilidad recae en el aprendiz.

La investigación de estrategias de enseñanza ha abordado aspectos como los siguientes: diseño y empleo de objetivos e intenciones de enseñanza, preguntas insertadas, ilustraciones, modos de respuesta, organizadores anticipados, redes semánticas, mapas conceptuales y esquemas de estructuración de textos, entre otros (Díaz Barriga y Lule, 1978).

Nótese que en ambos casos se utiliza el término *estrategia*, por considerar que el profesor o el alumno, según el caso, deberán emplearlas como procedimientos flexibles y adaptativos, nunca como algoritmos rígidos, a distintas circunstancias de enseñanza.

## CLASIFICACIONES Y FUNCIONES DE LAS ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA

***“Nadie educa a nadie, los hombres se educan entre sí, mediatizados por su mundo” (Paulo Freire)***

A continuación presentaremos algunas de las estrategias de enseñanza que el docente puede emplear con la intención de facilitar el aprendizaje significativo de los alumnos. Las estrategias seleccionadas han demostrado, en diversas investigaciones su efectividad al ser introducidas como apoyos en textos académicos así como en la dinámica de la enseñanza (exposición, negociación, discusión, etc.) ocurrida en la clase. Las principales estrategias de enseñanza son las siguientes:

### ***Estrategias de enseñanza.***

- **Objetivos.-** Enunciados que establecen condiciones, tipo de actividad y forma de evaluación del aprendizaje del alumno. Generación de expectativas apropiadas en los alumnos.
- **Resumen.-** Síntesis y meditación de la información relevante de un discurso oral o escrito. Enfatiza conceptos clave, principios, términos y argumento central.
- **Organizadores previos.-** Información de tipo introductorio y contextual. Tienden un puente cognitivo entre la información nueva y la previa.

- **Ilustraciones.-** Representaciones visuales de los conceptos, objetos o situaciones de una teoría o tema específico (fotografías, dibujos, esquemas, gráficas, dramatizaciones, etc.)
- **Analogías.-** Proposición que indica que un evento (concreto y familiar) es semejante a otro (desconocido y complejo).
- **Preguntas intercaladas.-** Preguntas implantadas en el escenario de enseñanza o en un texto. Mantienen la atención y favorecen la práctica, la retención y la obtención de información importante.
- **Pistas topográficas y discursivas.-** Indicaciones que se hacen en un texto o en la situación de enseñanza para enfatizar y/u organizar elementos principales del contenido por aprender.
- **Mapas conceptuales y redes semánticas.-** Representación gráfica de esquemas de conocimiento (indican conceptos, proposiciones y explicaciones).
- **Uso de estructuras textuales.-** Clasificaciones retóricas de un discurso oral o escrito, que influyen en su comprensión y recuerdo.

Una clasificación valiosa puede ser desarrollada a partir de los procesos cognitivos que las estrategias necesitan para promover mejores aprendizajes. De este modo, proponemos una segunda clasificación que a continuación se describe en forma breve.

## **Estrategias para generar conocimientos previos y para establecer expectativas adecuadas en los alumnos**

Son aquellas estrategias dirigidas a activar los conocimientos previos de los alumnos o incluso a generarlos cuando no existan. En este grupo podemos incluir también a aquellas otras que se concentran en la explicación de las intenciones educativas que el profesor pretende lograr al término del ciclo educativo.

## **Estrategias para orientar la atención de los alumnos**

Tales estrategias son aquellos recursos que el profesor utiliza para focalizar y mantener la atención de los aprendices durante una sesión. La atención selectiva es una actividad fundamental para el desarrollo de cualquier acto de aprendizaje. Puede aplicarse de manera perenne para indicar a los alumnos sobre que puntos, conceptos o ideas deben centrar su atención, codificación y aprendizaje. Algunas estrategias que son las siguientes: las preguntas insertadas, el uso de pistas o claves para destacar distintos puntos del discurso ya sea oral o escrito y el uso de ilustraciones.

## **Estrategias par mejorar la codificación de la información a aprender**

Estas van dirigidas a proporcionar al alumno la oportunidad para que realice una codificación complementaria o alternativa a la expuesta por el profesor o por el texto. La intención es conseguir que la información nueva por aprender se enriquezca en



calidad proveyéndole de una mayor contextualización o riqueza elaborativa para que los alumnos la asimilen mejor. Los ejemplos más típicos de este grupo provienen de toda la gama de información gráfica como las ilustraciones, las gráficas, etc.

### **Estrategias para organizar la información nueva por aprender**

Estas estrategias permiten dar mayor argumento organizativo a la información nueva que se aprenderá al representarla en forma gráfica o escrita. Proporcionar una adecuada organización a la información que se ha de aprender, como ya hemos visto, mejora su significatividad lógica y en consecuencia, hace más probable el aprendizaje significativo de los alumnos. Podemos incluir en ellas a las de representación visuales, como mapas o redes semánticas y a las de representación lingüística, como resúmenes o cuadros sinópticos.

### **Estrategias para promover el enlace entre los conocimientos previos y la nueva información que se ha de aprender**

Son aquellas estrategias destinadas a crear enlaces adecuados entre los conocimientos previos y la información nueva que ha de aprenderse, asegurando con ello una mayor significatividad de los aprendizajes logrados. De acuerdo con Mayer, a este proceso de integración entre lo "previo" y lo "nuevo" se le denomina: construcción de "conexiones externas".

Las distintas estrategias de enseñanza que hemos descrito pueden usarse simultáneamente e incluso es posible hacer algunas combinaciones, según el profesor lo considere necesari-

rio. El uso de las estrategias dependerá del contenido de aprendizaje, de las tareas que deberán realizar los alumnos, de las actividades didácticas efectuadas y de ciertas características de los aprendices (por ejemplo: nivel de desarrollo, conocimientos previos, etcétera). Procedamos a revisar con cierto grado de detalle cada una de las estrategias de enseñanza presentadas.

A continuación destacamos las estrategias, para promover el logro de aprendizajes significativos en los alumnos, centradas en el aprendizaje experiencial y situado, que se enfocan en la construcción del conocimiento en contextos reales, en el desarrollo de las capacidades reflexivas, críticas y en el pensamiento de alto nivel, así como en la participación en las prácticas sociales auténticas de la comunidad.

- Aprendizaje centrado en la solución de problemas auténticos.
- Análisis de casos (*case method*).
- Método de proyectos.
- Prácticas situadas o aprendizaje *in situ* en escenarios reales.
- Aprendizaje en el servicio (*service learning*).
- Trabajo en equipos cooperativos.
- Ejercicios, demostraciones y simulaciones situadas.
- Aprendizaje mediado por las nuevas tecnologías de la información y comunicación (NTIC).

## **ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA: CARACTERÍSTICAS Y RECOMENDACIONES PARA SU USO**

**Estrategias y efectos esperados en el aprendizaje de los alumnos:**

**Objetivos.-** Conoce la finalidad y alcance del material y cómo manejarlo. El alumno sabe qué se espera de él al terminar de revisar el material. Ayuda a contextualizar sus aprendizajes y a darles sentido.

**Ilustraciones.-** Facilita la codificación visual de la información

**Preguntas intercaladas.-** Permite practicar y consolidar lo que ha aprendido. Resuelve sus dudas. Se autoevalúa gradualmente.

**Señalizaciones.-** Mantiene su atención e interés. Detecta información principal. Realiza codificación selectiva.

**Resúmenes.-** Facilita el recuerdo y la comprensión de la información relevante del contenido que se ha de aprender.

**Organizadores previos.-** Hace más accesible y familiar el contenido.- Elabora una visión global y contextual.

**Analogías.-** Comprende información abstracta. Traslada lo aprendido a otros ámbitos.

**Mapas conceptuales y redes semánticas.-** Realiza una codificación visual y semántica de conceptos, proposiciones y ex-

plicaciones. Contextualiza las relaciones entre conceptos y proposiciones.

**Estructuras textuales.-** Facilita el recuerdo y la comprensión de lo más importante de un texto.

En particular, en las situaciones educativas que ocurren dentro de las instituciones escolares, los objetivos deben planificarse, concretizarse y aclararse con un mínimo de rigor, dado que suponen el punto de partida y el de llegada de toda la experiencia educativa y además desempeñan un importante papel orientativo y estructurante de todo el proceso.

Los objetivos no tendrían sentido si no fueran comprensibles para los aprendices. De este modo, es apropiado especificar que deben ser construidos en forma directa, clara y entendible, utilizando una adecuada redacción y vocabulario para el alumno, de igual manera es necesario dejar en claro en su enunciado las actividades, contenidos y resultados esperados que deseamos suscitar en el ambiente pedagógico.

Las funciones de los objetivos como estrategias de enseñanza son las siguientes:

- Actuar como elementos orientadores de los procesos de atención y de aprendizaje.
- Servir como criterios para poder discriminar los aspectos relevantes de los contenidos curriculares (sea por vía oral o escrita), sobre los que hay que realizar un mayor esfuerzo y procesamiento cognitivo.
- Permitir generar expectativas apropiadas acerca de lo que se va a aprender.

- Permitir a los alumnos formar un criterio sobre que se espere de ellos al término de una clase, episodio o curso.
- Mejorar considerablemente el aprendizaje intencional; el aprendizaje es más exitoso si el aprendiz es consciente del objetivo.
- Proporcionar al aprendiz los elementos indispensables para orientar sus actividades de auto monitoreo y de auto evaluación.

Con base en lo antes dicho, proponemos como recomendaciones para el uso de los objetivos los siguientes aspectos:

1. Asegúrese de que son formulados con claridad, señalando la actividad, los contenidos y/o los criterios de evaluación (enfátice cada uno de ellos según lo que intente conseguir con sus alumnos). Use un vocabulario apropiado para sus aprendices y pida que ellos den su interpretación para verificar si es o no la correcta.
2. Anime a los alumnos a enfrentarse con los objetivos antes de iniciar cualquier actividad de enseñanza o de aprendizaje.
3. En ocasiones puede discutir el planteamiento o la formulación de los objetivos con sus alumnos (siempre que existan las condiciones para hacerlo).
4. Cuando se trata de una clase, el objetivo puede ser enunciado verbalmente o presentarse en forma escrita. Esta última es más formidable que la primera, además es recomendable mantener presente el objetivo (en particular con los aprendices menos maduros) durante todas las actividades realizadas en clase.
5. No enuncie demasiados objetivos, porque los alumnos pueden extraviarse y crear expectativas negativas al enfrentarse con ellos. Es mejor uno o dos objetivos bien formulados so-

bre los aspectos cruciales de la situación de enseñanza, para que verdaderamente orienten sus expectativas y los procesos cognitivos involucrados en el aprendizaje.

## **ESTRATEGIAS PARA EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO: FUNDAMENTOS, ADQUISICIÓN Y MODELOS DE INTERVENCIÓN**

### **Adquisición de las estrategias de aprendizaje**

Con base en los modelos teóricos y la investigación realizada a nivel internacional, en este tema se presenta una revisión de los fundamentos, características y limitaciones de las estrategias de aprendizaje en general.

La preocupación central que motivó su creación radica en el análisis de por qué, a pesar de los múltiples esfuerzos que se hacen para desarrollar herramientas de estudio efectivas en poblaciones de alumnos de distintos niveles, éstos fracasan con frecuencia. Se parte de la premisa de que esto ocurre así, porque en dichos esfuerzos se observa un desconocimiento de los procesos cognitivos, afectivos y meta cognitivos implicados en el aprendizaje significativo y, sobre todo, *en su forma de enseñarlos*. Como resultado, la mayor parte de los cursos de "hábitos de estudio", "círculos de lectura" o "talleres de creatividad", han logrado aprendizajes restringidos, poco perdurables y difícilmente transferibles a las situaciones de estudio cotidianas.

## **INTRODUCCIÓN:**

### **¿QUÉ SIGNIFICA APRENDER A APRENDER?**

Uno de los objetivos más valorados y perseguidos dentro de la educación a través de las épocas, es la de enseñar a los alumnos a que se vuelvan aprendices autónomos, independientes y autorregulados, capaces de aprender a aprender. Sin embargo, en la actualidad parece que precisamente lo que los planes de estudio de todos los niveles educativos promueven, son aprendices altamente dependientes de la situación instruccional, con muchos o pocos conocimientos conceptuales sobre distintos temas disciplinares, pero con pocas herramientas o instrumentos cognitivos que le sirvan para enfrentar por sí mismos nuevas situaciones de aprendizaje pertenecientes a distintos dominios y útiles ante las más diversas situaciones.

Los estudiantes que obtienen resultados satisfactorios, a pesar de las situaciones didácticas a las que se han enfrentado, muchas veces han aprendido a aprender porque:

- Controlan sus procesos de aprendizaje.
- Se dan cuenta de lo que hacen.
- Captan las exigencias de la tarea y responden consecuentemente.
- Planifican y examinan sus propias realizaciones, pudiendo identificar los aciertos y dificultades.
- Emplean estrategias de estudio oportunos para cada situación.
- Valoran los logros obtenidos y corrigen sus errores.

Aprender a aprender implica la capacidad de reflexionar en la forma en que se aprende y actúa en consecuencia, autorregu-

lando el propio proceso de aprendizaje mediante el uso de estrategias flexibles y apropiadas que se transfieren y se adaptan a nuevas situaciones.

## ¿QUÉ SON LAS ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE?

Muchas y variadas han sido las definiciones que se han propuesto para conceptualizar a las estrategias de aprendizaje. Sin embargo, en términos generales, una gran parte de ellas coinciden en los siguientes puntos:

- Son procedimientos.
- Pueden incluir varias técnicas: operaciones o actividades específicas.
- Persiguen un propósito determinado: el aprendizaje y la solución de problemas académicos y/o aquellos otros aspectos vinculados con ellos.
- Son más que los "hábitos de estudio" porque se realizan flexiblemente.
- Pueden ser abiertas (públicas) encubiertas (privadas).
- Son instrumentos socioculturales aprendidos en contextos de interacción con alguien que sabe más.

Con base en estas afirmaciones podemos desarrollar una definición más formal acerca del tema que nos ocupa:

“Una estrategia de aprendizaje es un procedimiento que un alumno adquiere y emplea de forma intencional como instrumento flexible para aprender significativamente y solucionar problemas y demandas académicas” (Díaz Barriga, Castañeda y Lule, 1986; Hernández, 1991). Los objetivos particulares de cualquier estrategia de aprendizaje pueden consistir en afectar



la forma en que se selecciona, adquiere, organiza o integra el nuevo conocimiento, o incluso la modificación del estado afectivo o motivacional del aprendiz, para que éste aprenda con mayor eficacia los contenidos curriculares o extracurriculares que se le presentan (Danserçau, 1985; Weinstein y Mayer, 1983).

*Las estrategias de aprendizaje son ejecutadas voluntaria e intencionalmente por un aprendiz, cualquiera que éste sea (el niño, el alumno, una persona con discapacidad mental, etc.), siempre que se le demande aprender, recordar o solucionar problemas sobre algún contenido de aprendizaje.*

## **CLASIFICACIONES DE LAS ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE**

Intentar una clasificación consensual y absoluta de las estrategias de aprendizaje es una tarea difícil, dado que los diferentes autores las han abordado desde una gran variedad de enfoques. Las estrategias de aprendizaje pueden clasificarse en función de qué tan generales o específicas son, del dominio del conocimiento al que se aplican, del tipo de aprendizaje que favorecen, de su finalidad, del tipo de técnicas particulares que conjuntan, etc.

**Una clasificación de estrategias de aprendizaje  
(basada en Pozo, 1990).**

<b>Proceso</b>	<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Finalidad u objetivo</b>	<b>Técnica o habilidad</b>
Aprendizaje memorístico	Recirculación de la información	Repaso simple	• Repetición simple y acumulativa
		Apoyo al repaso (seleccionar)	• Subrayar • Destacar • Copiar
Aprendizaje significativo	Elaboración	Procesamiento simple	• Palabra clave • Rimas • Imágenes mentales • Parafraseo
		Procesamiento complejo	• Elaboración de inferencias • Resumir • Analogías • Elaboración conceptuales
	Organización	Clasificación de la información	• Uso de categorías
		Jerarquización y organización de la información	• Redes semánticas • Mapas conceptuales • Uso de estructuras textuales
Recuerdo	Recuperación	Evocación de la información	• Seguir pistas • Búsqueda directa

Alonso (1991) también ha propuesto una clasificación de las estrategias con base en el tipo de información sobre la naturaleza de la información que se ha de aprender y que puede ser de mucha utilidad para el docente que pretenda inducirlas en sus alumnos. En la clasificación propuesta por Alonso (1991) se sigue una aproximación inversa a la anterior, ya que las estrategias son clasificadas según el tipo de contenidos declarativos para los que resultan de mayor efectividad.

***Clasificación de estrategias, a partir del tipo de contenidos declarativos que se ha de aprender (inspirada en Alonso, 1991).***

<b><i>Tipo de material que ha de aprenderse</i></b>	<b><i>Tipos de estrategias</i></b>
Información factual <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Datos</li> <li>➤ Pares de palabras</li> <li>➤ Listas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Repetición               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simple</li> <li>• Parcial</li> <li>• Acumulativa</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Organización categorial</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Elaboración simple de tipo verbal o visual               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Palabra-clave</li> <li>• Imágenes mentales</li> </ul> </li> </ul>
Información conceptual <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Conceptos</li> <li>➤ Propositiones</li> <li>➤ Explicaciones (textos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Representación gráfica               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes y mapas conceptuales</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Elaboración               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar notas</li> <li>• Elaborar preguntas</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resumir</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Elaboración conceptual</li> </ul>

Para el caso del aprendizaje de información conceptual, también se ha demostrado que algunas estrategias tienen gran efectividad cuando son utilizadas de forma correcta. Evidentemente, el aprendizaje de conceptos, proposiciones o explicaciones exige un tratamiento de la información más sofisticado y profundo que el aprendizaje de información factual.

Por último, Beltrán (1987) ha elaborado una clasificación íntegra de habilidades cognitivas en un sentido más amplio que las anteriores, y la desarrolló en función de ciertos requerimientos que debe aprender un estudiante para la realización de un estudio efectivo dentro de las instituciones educativas, y es la siguiente:

### **Habilidades de búsqueda de información**

- Cómo encontrar dónde está almacenada la información respecto a una materia.
- Cómo hacer preguntas.
- Cómo usar una biblioteca.
- Cómo utilizar material de referencia.

### **Habilidades de asimilación y de retención de la información**

- Cómo escuchar para lograr comprensión.
- Cómo estudiar para lograr comprensión.
- Cómo recordar cómo codificar y formar representaciones.
- Cómo leer con comprensión.
- Cómo registrar y controlar la comprensión.

### **Habilidades organizativas**

- Cómo establecer prioridades.
- Cómo programar el tiempo de forma correcta.

- Cómo disponer los recursos.
- Cómo conseguir que las cosas más importantes estén hechas a tiempo.

### **Habilidades inventivas y creativas**

- Cómo desarrollar una actitud inquisitiva.
- Cómo razonar inductivamente.
- Cómo generar ideas, hipótesis, predicciones.
- Cómo organizar nuevas perspectivas.
- Cómo emplear analogías.
- Cómo evitar la rigidez.
- Cómo aprovechar sucesos interesantes y extraños.

### **Habilidades analíticas**

- Cómo desarrollar una actitud crítica.
- Cómo razonar deductivamente.
- Cómo evaluar ideas e hipótesis.

### **Habilidades en la toma de decisiones**

- Cómo identificar alternativas.
- Cómo hacer elecciones racionales.

### **Habilidades de comunicación**

- Cómo expresar ideas oralmente y por escrito.

### **Habilidades sociales**

- Cómo evitar conflictos interpersonales.
- Cómo cooperar y obtener cooperación.
- Cómo competir lealmente.
- Cómo motivar a otros.

## **Habilidades meta cognitivos y autorreguladoras**

- Cómo evaluar la propia ejecución cognitiva.
- Cómo seleccionar una estrategia adecuada para un problema determinado.
- Cómo enfocar la atención a un problema.
- Cómo decidir cuándo detener la actividad en un problema difícil.
- Cómo determinar si uno comprende lo que está leyendo o escuchando.
- Cómo transferir los principios o estrategias aprendidos de una situación a otra.
- Cómo determinar si las metas son consistentes con las capacidades.
- Conocer las demandas de la tarea.
- Conocer los medios para lograr las metas.
- Conocer las capacidades propias y cómo compensar las deficiencias.

## **ADQUISICIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE**

Es posible documentar algunos datos de naturaleza evolutiva sobre la aparición de estrategias cognitivas y capacidades meta cognitivas y puede afirmarse, casi sin ningún cuestionamiento que lo impugne, es la identificación y descripción de las fases generales por las cuales atraviesa el proceso de adquisición de cualquier tipo de estrategia de aprendizaje.

A partir de las investigaciones realizadas por J. Flavell y su grupo, a principios de los setenta, dirigidas a indagar lo que los

niños pequeños eran capaces de hacer respecto al uso de estrategias de memoria, encontraron algunos asuntos de relevancia singular que merece la pena comentar aquí. Se demostró por ejemplo, que desde etapas muy tempranas (aproximadamente desde los 7 años) los niños parecían ser capaces de utilizar, sin ningún tipo de ayuda, estrategias de repaso de la información ante una tarea que las demandaba. También se demostró que unos años después (a los 9 o 10 años) los niños son capaces de utilizar, también de forma espontánea, una estrategia de categorización simple para recordar listas de cosas y objetos. Se demostró en varios estudios, que el uso de ambos tipos de estrategias al principio es titubeante, pero su aplicación mejora paulatinamente con la adquisición respecto a las estrategias y con los años.

Un hallazgo más interesante fue revelar que los niños de edad preescolar ya eran capaces de utilizar los dos tipos de estrategias y beneficiarse de su recuerdo cuando se les enseñaba directamente a hacerlo. Las diferencias evolutivas entre estos niños y los que las utilizaban espontáneamente (diferencias reales de varios años), se diluían por completo cuando se establecía una comparación en su ejecución en tareas de recuerdo.

Otro asunto revelador encontrado en dichos estudios, fue demostrar la existencia de un patrón similar que describe la forma en que se adquieren estos recursos cognitivos. A través de varios trabajos, se evidenció que los niños en edad preescolar no utilizaban las estrategias mencionadas si no se les animaba directamente a hacerlo. Con base en ello, se logró demostrar que estos niños sí eran capaces de hacer uso de los procedimien-

tos estratégicos y que no tenían ningún "déficit mediacional" como generalmente se pensaba. Por tanto, parecen ocurrir tres grandes momentos en la adquisición de toda actividad estratégica: primero, cuando no se tiene la competencia para producirla y utilizarla (déficit mediacional); segundo, cuando ya se es capaz de producirla pero no de utilizarla espontáneamente salvo por la ayuda de alguna actividad instigadora o inductora externa (déficit de producción), y tercero, cuando se es capaz de producirla y utilizarla a voluntad.

***Adquisición de las estrategias de aprendizaje  
(ampliado de Flavell, 1993).***

	<b>Fase 1: Estrategia no disponible</b>	<b>Fase 2: Uso inex- perto de la estrategia</b>	<b>Fase 3: Uso experto de la estrategia</b>
Habilidad para ejecutarla	Nula o pobre	Inadecuada	Adecuada
Uso espontáneo ante tareas que lo exijan	Ausente	Ausente	Presente
Intentos de inducir su uso	Ineficaces	Eficaces	Innecesarios
Efectos sobre el aprendizaje	--	Positivos	Positivos



Regulación meta cognitiva	Inexistente	Baja	Alta
Vinculación con el dominio o tarea en que se aprendió	--	Fuerte	Débil
Posibilidad de transferencia	--	Escasa	Alta

El niño toma ejemplo y descubre los tres principios en el contexto de las distintas prácticas sociales en donde interviene cuando aprende. Los adultos, por lo general aparentan como modelos y actúan como mediadores sociales, proporcionando formas concretas sobre cómo actuar, establecer propósitos y utilizar recursos para actuar prepositivamente en situaciones de aprendizaje. Así, los niños, al participar en dichas actividades, a veces creadas con toda intención para ellos mismos, van captando y apropiándose de cada uno de los principios y de los recursos estratégicos, para usarlos después en forma autónoma e independiente.

De acuerdo con Claus y Ogden (1999), los principios educativos que permiten el facultamiento incluyen un aprendizaje situado en los términos aquí descritos, un aprendizaje activo y centrado en experiencias significativas y motivantes (auténti-

cas), el fomento del pensamiento crítico y la toma de conciencia. Asimismo, involucra la participación en procesos en los cuales el diálogo, la discusión grupal y la cooperación son centrales para definir y negociar la dirección de la experiencia de aprendizaje. Y finalmente, el papel del enseñante como postulator de problemas (en el sentido de retos abordables y significativos) para generar cuestionamientos relevantes que conduzcan y enmarquen la enseñanza.

## REFERENCIAS

Baquero, R. (2002). Del experimento escolar a la experiencia educativa. La transmisión educativa desde una perspectiva psicológica situacional. *Perfiles Educativos*, 24 (96-97), pp. 57-75.

Claus, J. y Ogden, C. (1999). An empowering, transformative approach to service. En J. Claus y C. Ogden (Eds.), *Service learning for youth empowerment and social change* (pp. 69-94). Nueva York: Peter Lang.

Díaz B., F. y Hernández R., G. (1999). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. McGraw Hill, México, 232p.

Díaz Barriga, F. y Hernández, G. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista* (2ª. ed.). México: McGraw Hill.

# INTRODUCCIÓN A MODELLUS

(Herramienta para la Modelización de Sistemas)

## 1. Introducción

Modellus es una herramienta orientada a la simulación y modelización de sistemas válida para el estudio de diversas materias dentro de los currícula de Educación Secundaria, Bachillerato y Formación Profesional. Sus autores la han concebido como instrumento de apoyo en el aula y con ese objetivo es que se explica su funcionamiento y uso para profesores y estudiantes.

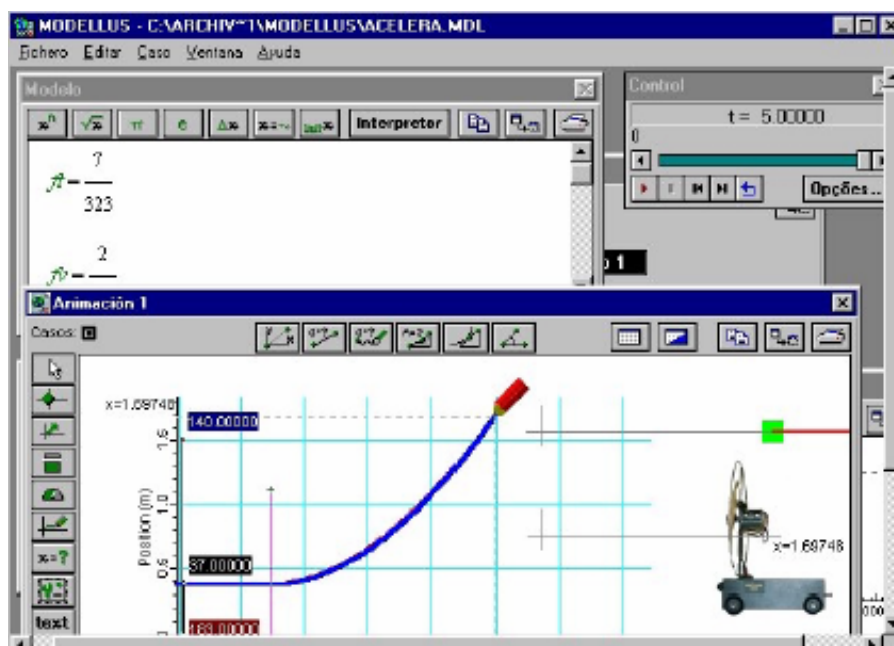
### Modelo matemático

Sabemos que los diversos fenómenos que se estudian en las materias del área de ciencias pueden explicarse y representarse mediante su modelo matemático. Este modelo recogerá el comportamiento del sistema tanto en su aspecto temporal (evolución a lo largo del tiempo) como en su aspecto puramente matemático (cálculo de valores). Modellus está orientado a los modelos temporales de tal manera que con él se puede estudiar el comportamiento dinámico de los distintos sistemas. Este comportamiento se podrá estudiar mediante la simulación en distintos escenarios “casos” en cada uno de los cuales cada uno de los parámetros o constantes del modelo pueden ser modificados. Tal sería el caso del estudio de la caída de un cuerpo en distintos planetas del sistema solar con distintas fuerzas de gravedad, o el comportamiento de un muelle con distintas constantes de elasticidad.

La modelización de cualquier fenómeno o sistema se apoya en la observación de los fenómenos que lo caracterizan, razón por la cual, en la medida que podamos reproducir esos fenómenos y experimentar con ellos, podremos comprender con más claridad el modelo. El estudio del modelo se realizará siempre en orden creciente de complejidad de tal forma que en una primera fase se tendrán en cuenta los aspectos más relevantes para posteriormente derivar hacia un modelo más perfecto a través de un método de “refinamiento”. Según lo define uno de sus autores (V. D. Teodoro), Modellus es, bajo el punto de vista computacional, un micromundo computacional para estudiantes y profesores a la vez, basado en un método de programación en el que el usuario escribe en la “Ventana de modelo”.

## 2. Estructura Básica de Modellus.

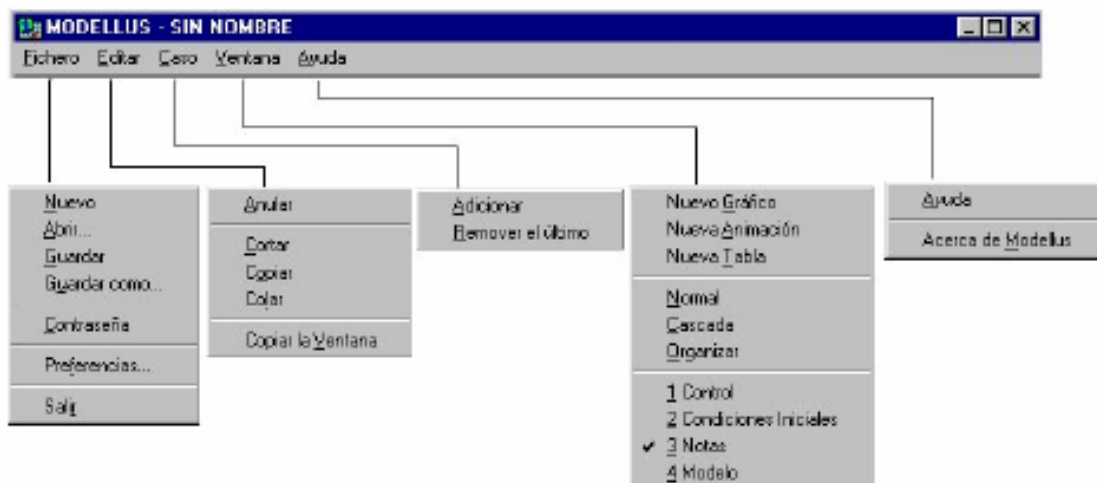
Modellus presenta un entorno muy “amigable” basado en una serie de ventanas, cada una de las cuales recoge o muestra una serie de informaciones muy concretas. En la figura vemos una imagen del entorno; las ecuaciones matemáticas se escriben de la misma manera que lo haría en el papel.



Por ser una aplicación que trabaja en Windows, aprovecha todas las ventajas del entorno y esto facilita su manejo. La versión que explicamos en este trabajo es la V:2.01 de 2000.

Las ventanas permiten la modificación de su tamaño y al activarlas pasan a primer plano colocando en segundo plano a las que estén dentro de su área; del mismo modo las ventanas se pueden mover dentro de la pantalla.

## Menú de Modellus:



El menú que presenta el entorno consta de cinco opciones principales:

Fichero

Editar

Caso

Ventana

Ayuda

**Fichero:** Con la opción Fichero podemos realizar las siguientes operaciones:

**Nuevo:** Crear un nuevo modelo.

**Abrir:** Leer un modelo del disco (ya creado).

**Guardar:** Guardar modelo en un fichero con el mismo nombre que tenga.

**Guardar Como:** Grabar un fichero con el nombre que le queramos dar.

**Contraseña:** Poner una clave al modelo de tal manera que no se puedan modificar los datos de las ventanas de animación y modelo.

**Preferencias:** Configurar ubicación de ficheros.

**Salir:** Salir y abandonar el programa.

**Editar:** Permite las operaciones de edición comunes a cualquier herramienta.

**Anular:** Anula la última operación de edición realizada

**Cortar:** Permite cortar el objeto seleccionado y lo coloca en el portapapeles.

**Copiar:** Copia el objeto seleccionado al portapapeles.

**Copiar la Ventana:** Copia todo el contenido de la ventana en la que estemos y lo deposita en el portapapeles.

**Caso:** Esta opción presenta dos posibilidades:

**Adicionar:** Añade un caso en la ventana de condiciones.

**Remover el último:** Quita el último de los casos añadidos, téngase en cuenta que al menos debe existir un caso en la ventana de condiciones.

**Ventanas:** Esta opción presenta las siguientes acciones encaminadas a la creación de ventanas dentro del modelo.

**Nuevo Gráfico:** Crea una nueva ventana de gráfico.

**Nueva Animación:** Crea una nueva ventana de animación.

**Nueva Tabla:** Crea una nueva ventana de tabla.

**Normal:** Sitúa las ventanas en la pantalla en modo normal

**Cascada:** Sitúa las ventanas en la pantalla en cascada.

**Organizar:** Sitúa las ventanas en pantalla de forma organizada.

**1 Control:** Activamos la ventana de control.

**2 Condiciones Iniciales:** Activamos la ventana de condiciones iniciales.

**3 Notas:** Activamos la ventana de notas.

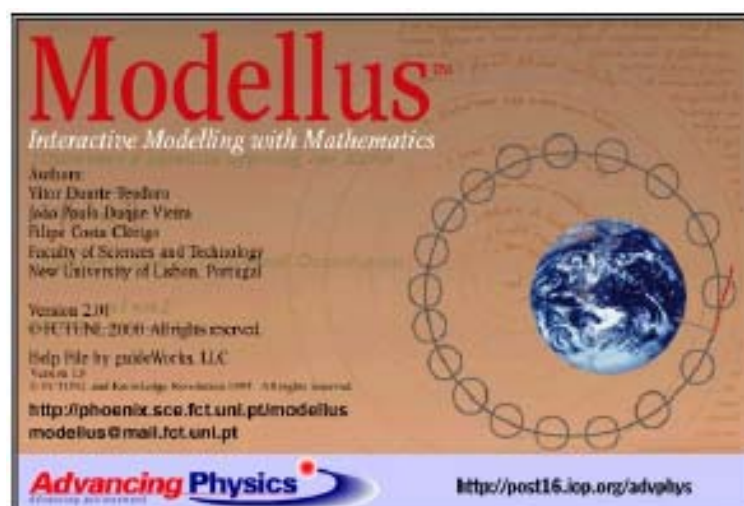
**4 Modelo:** Activamos la ventana de modelo.

Las ventanas que se van creando aparecerán en esta opción del menú con números consecutivos a partir del 4, téngase en cuenta que las ventanas 1, 2, 3 y 4 no se pueden eliminar.

**Ayuda:** Muestra las opciones siguientes:

**Ayuda:** Nos despliega la ventana de ayuda.

**Acerca de Modellus:** Esta opción nos presenta información sobre el programa

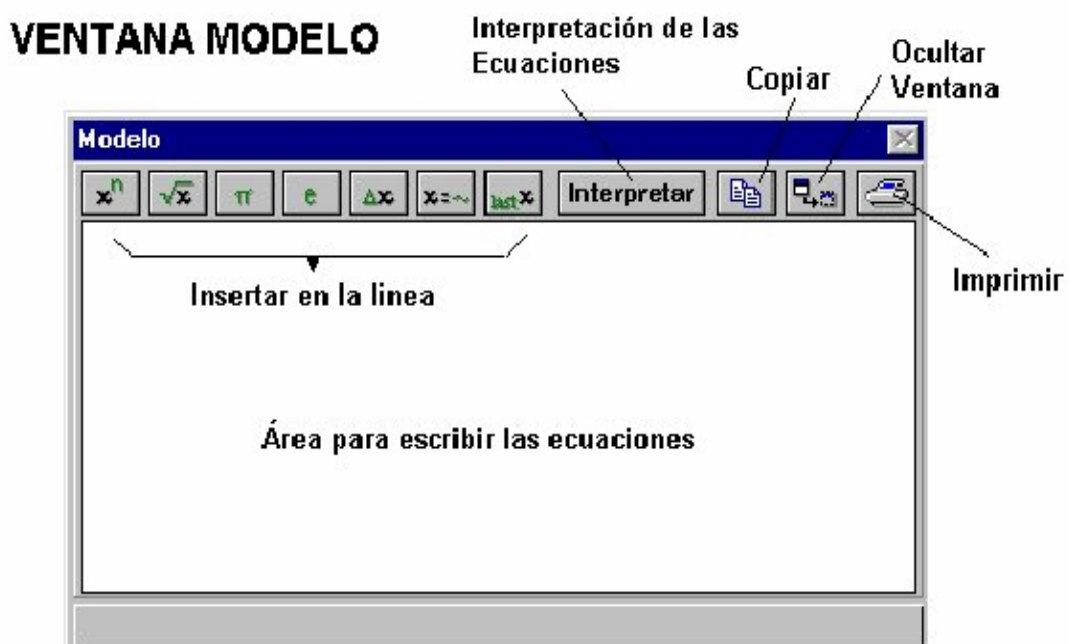


Modellus está estructurado en torno a un conjunto de ventanas sobre las que se escribe o se muestra la información de los modelos que se pretenden simular. Las ventanas son las siguientes:

- Ventana de modelo.
- Ventana de condiciones
- Ventana de animaciones
- Ventana de control
- Ventana de gráficos
- Ventana de tablas

A continuación se estudian estas ventanas, su utilización y contenidos.

**2.1. VENTANA DE MODELO:** Escritura de las ecuaciones del modelo. Para iniciar el trabajo con Modellus, una vez arrancada la aplicación, debemos ir al menú Modelo (Nuevo) y de esta manera iniciamos la creación de un modelo nuevo.





Lo primero que debemos hacer es escribir las ecuaciones del modelo, y esto lo hacemos en la “ventana de modelo” que aparece en la figura. A la hora de escribir las ecuaciones tenemos que hacerlo observando unas normas básicas en lo que se refiere a la sintaxis. Estas normas son las siguientes:

### ***Sintaxis de los modelos:***

Modellus soporta ecuaciones algebraicas, diferenciales e iterativas.

Usted puede modelar ecuaciones que van desde las relaciones simples como las líneas rectas y parábolas a los conceptos más complejos como son las ecuaciones de Pol o de Lorentz.

La entrada de un modelo en Modellus es casi como la escritura de ecuaciones matemáticas en el papel.

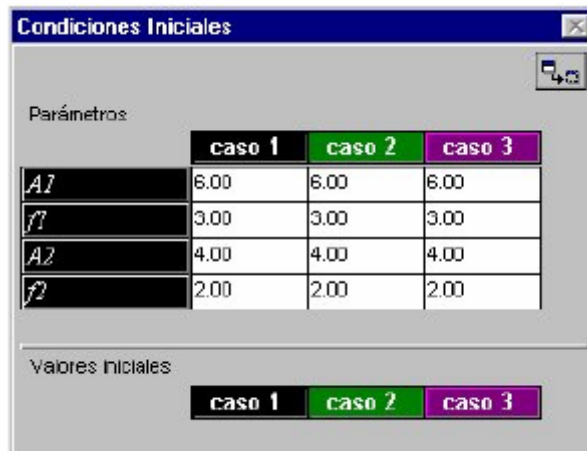
## **2.2. VENTANA DE CONDICIONES**

Cuando se ha escrito el modelo en la correspondiente ventana y se ha pulsado por primera vez el botón interpretar aparecerá la ventana de “condiciones” que se encarga de recoger los valores de los “parámetros” y los “valores iniciales” del modelo en forma de tabla formando parte del “caso 1” que es el primer caso de simulación que Modellus crea por defecto.

Los “parámetros” se podrán modificar en esta misma ventana o también en la ventana de “animación” haciendo uso de algunos de sus objetos como veremos más adelante.

Cada uno de los posibles casos, que nosotros podremos añadir en el estudio del modelo, no son otra cosa que distintos esce-

narios para aplicar a las mismas ecuaciones. Esto nos permitirá poder estudiar el modelo cambiando a nuestro gusto distintos parámetros.



The screenshot shows a window titled "Condiciones Iniciales" with a "Parámetros" section containing a table with 4 rows and 3 columns. The columns are labeled "caso 1", "caso 2", and "caso 3". The rows are labeled  $A1$ ,  $f1$ ,  $A2$ , and  $f2$ . Below the table is a "Valores Iniciales" section with three buttons labeled "caso 1", "caso 2", and "caso 3".

	caso 1	caso 2	caso 3
$A1$	6.00	6.00	6.00
$f1$	3.00	3.00	3.00
$A2$	4.00	4.00	4.00
$f2$	2.00	2.00	2.00

Si deseamos modificar los parámetros desde la ventana de animación quedará invalidado el valor del parámetro que se coloque en esta ventana. Cada uno de los casos que nosotros establezcamos en la simulación tendrá la posibilidad de verse en la ventana de "animación"; bastará con seleccionarlo de entre los que aparecerán señalados en la parte superior izquierda de la ventana, y esto ocurrirá en las ventanas de "tabla" y "gráfico" teniendo en cuenta que en la ventana de "gráfico" pueden co-existir los gráficos de cada uno de los casos con el fin de poder ver las distintas curvas superpuestas.

## 2.3. VENTANA DE ANIMACIONES

Una vez que hemos escrito las ecuaciones del modelo, la siguiente operación será diseñar la ventana de animaciones en la que se realizarán las representaciones gráficas de aquellos valores que nos interese ver.

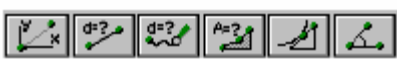

Esta ventana tiene mucho interés de cara a ser el "interface" con el estudiante ya que si se hace buen uso de todas sus posibilidades encontraremos en ella una poderosa herramienta.


En la figura vemos la estructura de esta ventana de “animación” mostrando un ejemplo de movimiento de un balón lanzado hacia arriba.



El tamaño y posición de esta ventana, al igual que el resto, se puede modificar colocando el puntero en los bordes y estirando hacia dentro o hacia fuera o manteniendo pulsado y moviendo en el caso de cambiar la posición.

En esta ventana se pueden colocar distintos elementos gráficos que se corresponden con los botones que aparecen en la parte superior. Cada uno de estos elementos se podrá asociar a las variables del modelo y realizar las funciones que correspondan a él de acuerdo a los parámetros que se hayan colocado en su ventana de parámetros asociada. Pasaremos a explicar cada uno de los elementos, así como sus ventanas asociadas.

Los botones de la parte superior  se usan para realizar mediciones sobre las imágenes (GIF o BMP) o videos (AVI), que pueden colocarse en el fondo,  usando el botón de fondo.

El rayado (grid) puede mostrarse u ocultarse mediante el botón  . Pulsando sobre el botón de fondo puede definir el espaciado del grid y su color así como el color del fondo de la pantalla.

A continuación se muestra una tabla en la que se puede identificar cada uno de los botones que representan un determinado objeto.

Use esta herramienta.....para añadir:

### Partícula



Imagen, bola (partícula), rectángulo, o referencia.

### Vector



Vector con o sin flecha resultante o componentes.

### Indicador de Nivel



Horizontal o Vertical.

### Medidor Analógico



Aguja, reloj, o medidor circulo completo.

### Trazador



Realiza el trazado interactivo de líneas o puntos.

## Medidor Digital



Medidor digital, mostrado o no el nombre de la Variable.

## Importar imagen



Importa imagen en formato BMP o GIF

## Texto



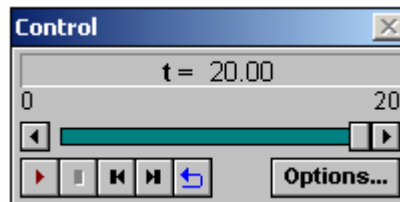
Texto con el color, fuente, estilo y tamaño especificables.

## Objeto Geométrico



Líneas y figuras tales como círculos y polígonos.

## 2.4. VENTANA DE CONTROL




Una vez que hemos diseñado el modelo en la ventana “Modelo” y hemos colocado en la ventana “animaciones los objetos, así como las condiciones y las tablas y gráficos que nos haya parecido bien, se debe pasar a la fase de “simulación”.

En la fase de “simulación” Modellus realizará los cálculos y mostrará los valores de la forma que hayamos previsto. La ventana “Control” es la que permite el control del proceso de simulación.


Los botones de esta ventana sirven para:

Simular  o detener  la simulación.


Terminar  la simulación.

Reiniciar  el modelo, ir al principio sin perder los valores calculados.

Saltar  al último valor calculado del modelo.

Repetir  la simulación del modelo.

Lee  el actual valor de la variable independiente.

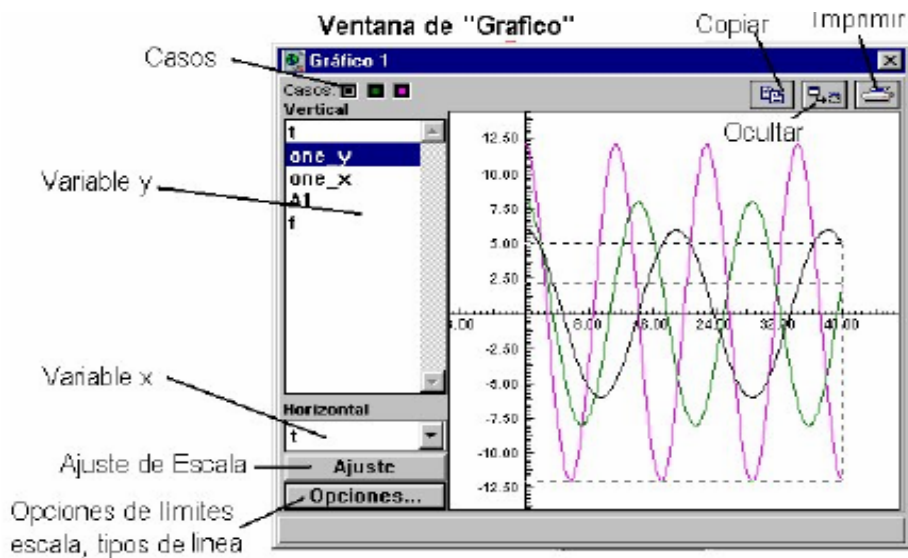
Muestra  el valor actual de la variable independiente y chequea visualmente el progreso de esta variable.

Ir atrás  o adelante  un simple paso.

Acceder a caja de diálogo Opciones...:

## 2.5. VENTANA DE GRÁFICO

Mediante esta ventana podemos realizar representaciones gráficas en ejes de coordenadas (XY) de las variables que queramos y para los casos que hayamos definido mediante la opción del menú “Casos”. En la figura vemos la ventana de “gráficos” y en ella se puede distinguir el área de representación en donde se dibujan los gráficos y a la izquierda aparecen las ventanas de las variables.



## 2.6. VENTANA DE TABLA

En numerosas aplicaciones será necesario realizar una tabla con los valores de las variables, esta posibilidad nos la brinda la ventana de "tabla" que sencillamente permite la creación de tablas con tantas variables como seleccionemos en la ventana de la izquierda simplemente pulsando las teclas "Control" o "Shift" a la vez que señalamos con el ratón (tecla izquierda) sobre éstas.

Ventana de Tabla



Copiar Cerrar Imprimir

Casos

Tabla 1

Variables

	t	theta	omega
t	0.0	0.6	-0.2
theta	0.1	0.6	-0.3
omega	0.1	0.6	-0.4
alpha	0.1	0.6	-0.4
x	0.1	0.6	-0.5
y	0.1	0.6	-0.5
vt	0.1	0.6	-0.5
v	0.2	0.6	-0.6
vx	0.1	0.6	-0.7
vy	0.1	0.6	-0.7
an	0.1	0.6	-0.8
at	0.1	0.6	-0.8
a	0.2	0.6	-0.9
T	0.2	0.6	-0.9
Tx			

## 2.7. PROTECCIÓN DE LOS TRABAJOS

Mediante la opción Contraseña dentro del menú de “Fichero” podremos conseguir proteger el trabajo, de tal manera que a quien realice las simulaciones solo le estará permitido ver los resultados, pero nunca modificar la ventana “Modelo” o la ventana Animación ni podrá modifica ni crear ventanas de “gráficos” o “tablas”.

Cuando activamos por primera vez ésta opción aparece una ventana como la de la figura en la que se nos pide el Password y la Confirmación, es decir debemos escribir dos veces, una en cada ventana, el password (clave).





## PRESENTACIÓN

Aquí empieza el trabajo realizado, el cual abarca una subunidad de ondas, llamado ACÚSTICA. Se desarrollan nueve temas, en cada uno de ellos existe una parte teórico-conceptual que reúne los conceptos más importantes; continuando con un listado de animaciones conceptuales, ejercitativas y lúdicas; por último se presenta una animación de muestra con su respectivo modelo matemático.

Vale indicar que esta parte es la esencia misma de la obra y lo que se presenta aquí en el texto es únicamente una animación de muestra por cada tema, pues el conjunto de todas las animaciones diseñadas se encuentran en un disco adjunto en formato DVD.

## 2.2.1 EL SONIDO

El sonido es un tipo de onda mecánica producida por un foco vibrante situado dentro de un medio elástico y cuya frecuencia temporal de vibración está comprendida entre  $20 \text{ Hz}$  &  $20\,000 \text{ Hz}$ . Se trata de una onda escalar longitudinal de presión (o densidad) asociada a una onda vectorial longitudinal de desplazamiento y que tiene la característica de estimular el oído de casi todas las especies animales y, entre ellas, el hombre. En Acústica se suele establecer una diferencia entre lo que es el "ruido" y lo que es el "sonido"; el primero es el resultado de una o varias ondas anarmónicas de intensidad inestable y que casi siempre desagrada al oído educado; el segundo es el resultado de una o varias ondas armónicas, de intensidad controlada y que normalmente agrada al oído. En esta subunidad haremos relación precisamente al sonido, el cual es producido por focos vibrantes que perturban el medio circundante, generalmente el aire. Dichos focos suelen ser cuerdas tensas, láminas elásticas, varillas o platinas delgadas, tubos de aire, circuitos oscilantes, etc.

Recordemos que la onda sonora se propaga en el aire con velocidad:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_{mol}}} = 20,055 \sqrt{T} \approx 331 + 0,6(T - T_0) \quad (2.2.1.1)$$

en donde  $\rho_0$  es la densidad no perturbada del aire, la cual depende de la temperatura de tal manera que:

$$\rho(253,15) = 1,39; \quad \rho(273,15) = 1,29;$$

$$\rho(293,15) = 1,21; \quad \rho(323,15) = 1,08 \text{ kg/m}^3$$

Si el sonido se propaga en otros medios, lo hará con velocidades diferentes, generalmente mayores que en el aire, las respectivas ecuaciones son:

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (\text{en varillas delgadas y rígidas}) \quad (2.2.1.2)$$

$$v = \sqrt{\frac{C + 4G/3}{\rho}} \quad (\text{en sólidos extensos}) \quad (2.2.1.3)$$

$$v = \sqrt{\frac{C}{\rho}} \quad (\text{en líquidos}) \quad (2.2.1.4)$$

El sonido, al ser una onda, obedece a toda la teoría físico-matemática desarrollada en la subunidad anterior, de modo que se genera en un foco adecuado, se propaga, se refleja, se refracta, se difracta, se absorbe, interfiere, se dispersa, etc. Pero además de ello tiene unas características muy particulares como veremos más adelante.

En la tabla 2.2.1.1 se indican algunos medios y la correspondiente velocidad del sonido a 273,15 K y 101 325 Pa.

<i>MEDIO</i>	<i>v</i>	<i>MEDIO</i>	<i>v</i>
	<i>m/s</i>		<i>m/s</i>
aire	332	mercurio	1 450
hidrógeno	127	caucho	54
oxígeno	317	cedro	3 850
dióxido de carbono	258	aluminio	5 100
nitrógeno	339	hierro	5 130
agua	1 480	cobre	3 760
alcohol	1 213	vidrio	5 500
éter	1 032	plomo	1 230
benceno	1 166	granito	6 000

**Tabla 2.2.1.1**

## LISTADO DE ANIMACIONES

### **a) Conceptuales:**

OO221C1

OO221C2

OO221C3

### **b) Ejercitativas:**

OO221E1

OO221E2

OO221E3

### **c) Lúdicas:**


OO221L1

OO221L2

## ANIMACIÓN DE MUESTRA

Modellus - C:\MODELLUS\ACUSTICA\00221C2.mdl

File Edit Case Window Help

Cases: 

**VELOCIDAD DE LA ONDA SONORA SEGÚN EL MEDIO CIRCUNDANTE**

El sonido se propaga con distintas velocidades dependiendo del medio en el que se encuentra.

<b>VELOCIDAD:</b>	<b>MEDIOS:</b>
$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho_o}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_{mol}}}$	(en el aire)
$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	(en varillas delgadas y rígidas)
$v = \sqrt{\frac{C + 4G/3}{\rho}}$	(en sólidos extensos)
$v = \sqrt{\frac{C}{\rho}}$	(en líquidos)

*Pulse "Comenzar"; observe y compare las velocidades del sonido en cada uno de los medios indicados...*

Control

t = 30.00

0

4

Options..

Inicio

TESIS-ANGÉL...

TESIS [Modo ...

TESIS-ANGIE

Modellus - C:\...

Mi PC

23:14

## MODELO MATEMÁTICO

$$L1 = 10$$

$$\text{if}(t < 26) \text{then}(L2 = -1000)$$

$$\text{if}(t > 26) \text{then}(L2 = 80)$$

$$\text{if}(t < 28) \text{then}(L23 = -1000)$$

$$\text{if}(t > 28) \text{then}(L23 = 10)$$

$$L3 = 100$$

$$\text{if}(t < 19) \text{then}(L4 = -1000)$$

$$\text{if}(t > 19) \text{then}(L4 = 90)$$

$$\text{if}(t < 21) \text{then}(L25 = -1000)$$

$$\text{if}(t > 21) \text{then}(L25 = 10)$$

$$L5 = 100$$

$$\text{if}(t < 12) \text{then}(L6 = -1000)$$

$$\text{if}(t > 12) \text{then}(L6 = 80)$$

$$\text{if}(t < 14) \text{then}(L27 = -1000)$$

$$\text{if}(t > 14) \text{then}(L27 = 10)$$

$$L7 = 100$$

$$\text{if}(t < 5) \text{then}(L8 = -1000)$$

$$\text{if}(t > 5) \text{then}(L8 = 100)$$

if( $t < 7$ )then( $L29 = -1000$ )

if( $t > 7$ )then( $L29 = 10$ )

$L9 = 80$

$L10 = 40$

$L11 = 80$

$L12 = 15$

$L13 = 10$

$L14 = 70$

$L15 = -20$

$L16 = 650$

$L17 = 150$

$L18 = -120$

$L19 = -240$

$L20 = 70$

$L21 = 250$

$L22 = 10$

$L24 = 100$

$L26 = 100$

$L28 = 100$

$L30 = 80$

$L31 = 20$



## 2.2.2 VIBRACIÓN DE UNA CUERDA TENSA

Todos sabemos que una buena cantidad de instrumentos musicales utilizan cuerdas tensas y fijas en sus dos extremos a las que se les perturba de alguna manera para que vibren y emitan el sonido deseado: se les llama instrumentos de cuerda. Sabemos también que la velocidad de propagación de la perturbación transversal a lo largo de una cuerda tensa es  $v = \sqrt{T/\mu}$ , la cual no tiene nada que ver con la velocidad del sonido en el aire. Debido a las restricciones físicas, la cuerda sólo podrá vibrar de tal manera que las ondas estacionarias generadas tengan nodos en sus extremos fijos. Analicemos la situación partiendo de la ecuación diferencial de onda, realizando la separación de variables y considerando que  $\psi = X(x) \cdot T(t)$ :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$

$$T \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} = \frac{X}{v^2} \frac{\partial^2 T}{\partial t^2}$$

que al dividir para  $XT$  se convierte en:

$$\frac{1}{X} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2 T} \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = -K^2$$

de donde:

$$\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + K^2 X = 0$$

y:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + K^2 v^2 T = 0$$

Al resolverlas se obtiene:

$$X = A \text{Sen} Kx + B \text{Cos} Kx$$

y:

$$T = C \text{Sen} Kvt + D \text{Cos} Kvt = C \text{Sen} \omega t + D \text{Cos} \omega t$$

con lo que la solución general es:

$$\psi = (A \text{Sen} Kx + B \text{Cos} Kx)(C \text{Sen} \omega t + D \text{Cos} \omega t) \quad (\text{a})$$

Las condiciones de frontera son:

$$\begin{cases} \psi(0, t) = 0 \\ \psi(L, t) = 0 \end{cases} \quad (\text{b})$$

entonces:

$$\begin{aligned} 0 &= (A \text{Sen} 0 + B \text{Cos} 0)(C \text{Sen} \omega t + D \text{Cos} \omega t) = \\ &= B(C \text{Sen} \omega t + D \text{Cos} \omega t) \end{aligned} \quad (\text{c})$$

$$0 = (A \text{Sen} KL + B \text{Cos} KL)(C \text{Sen} \omega t + D \text{Cos} \omega t) \quad (\text{d})$$

De (c) vemos que  $B = 0$ , con lo que (d) se reduce a:

$$0 = A \text{Sen} KL (C \text{Sen} \omega t + D \text{Cos} \omega t)$$

y puesto que  $A$  no puede ser cero, pues no habría solución, tiene que ser nulo el factor  $\text{Sen} KL$ , lo cual implica que:

$$KL = n\pi \quad (n = 0; 1; 2; 3; \dots) \quad (\text{e})$$

de donde:

$$K = \frac{n\pi}{L}$$

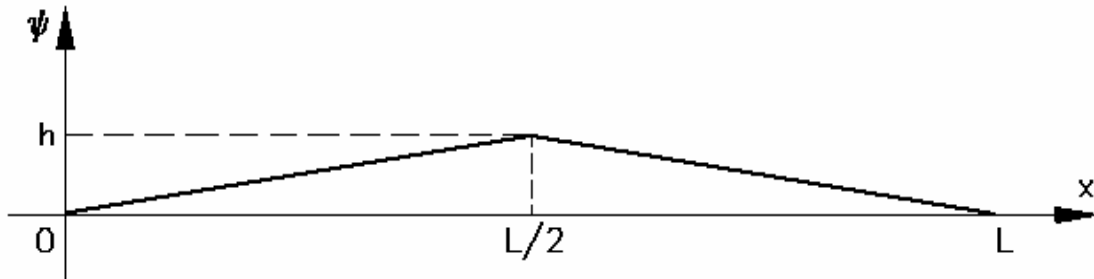
con lo que la solución (a) se convierte en:

$$\begin{aligned} \psi &= A \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} (C \text{Sen} \omega t + D \text{Cos} \omega t) = \\ &= \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} (AC \text{Sen} \omega t + AD \text{Cos} \omega t) \end{aligned}$$

o, en general:

$$\boxed{\psi = \sum \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} (C_n' \text{Sen} \omega_n t + D_n' \text{Cos} \omega_n t)} \quad (2.2.2.1)$$

de modo que la cuerda vibrará con la resultante de la superposición de  $n$  "modos normales", cuyas frecuencias cíclicas temporales son  $\omega_n$ . Las constantes  $C_n'$  y  $D_n'$  se determinan a partir de las condiciones iniciales, siendo las más típicas las siguientes, figura 2.2.2.1:



F i g u r a 2 . 2 . 2 . 1

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi(x, 0) = \begin{cases} 2hx/L & (0 \leq x \leq L/2) \\ 2h(1 - x/L) & (L/2 \leq x \leq L) \end{cases} \\ \frac{\partial \psi}{\partial t}(x, 0) = 0 \end{array} \right.$$

en donde  $h$  es el máximo desplazamiento lateral inicial del punto central de la cuerda. Sigamos con el análisis para ver en qué se convierte la solución anterior:

$$\left. \begin{array}{l} 2hx/L \\ 2h(1 - x/L) \end{array} \right\} = \sum \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} (C_n' \text{Sen} 0 + D_n' \text{Cos} 0)$$

$$0 = \sum \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} \omega_n (C_n' \text{Cos} 0 - D_n' \text{Sen} 0)$$

esto es:

$$\sum D_n' \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} = \begin{cases} 2hx/L & (0 \leq x \leq L/2) \\ 2h(1 - x/L) & (L/2 \leq x \leq L) \end{cases} \quad (\text{f})$$

$$\sum C_n' \omega_n \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} = 0 \quad (\text{g})$$

de donde:

$$C_n' = 0$$

Para obtener la expresión de  $D_n'$  es preciso multiplicar (f) por  $\text{Sen} \frac{n\pi x}{L}$  e integrarla sobre toda la cuerda, esto es, hallar su "valor eficaz":

$$\int_0^L D_n' \text{Sen}^2 \frac{n\pi x}{L} dx = \int_0^{L/2} \frac{2hx}{L} \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} dx + \int_{L/2}^L 2h \left(1 - \frac{x}{L}\right) \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} dx$$

$$D_n' \left[ \frac{x}{2} - \frac{\text{Sen} \frac{2n\pi x}{L}}{4n\pi/L} \right]_0^L = \frac{2h}{L} \left[ \frac{\text{Sen} \frac{n\pi x}{L}}{n^2 \pi^2 / L^2} - \frac{x \text{Cos} \frac{n\pi x}{L}}{n\pi/L} \right]_0^{L/2} +$$

$$+ 2h \left[ \frac{-\text{Cos} \frac{n\pi x}{L}}{n\pi/L} \right] - \frac{2h}{L} \left[ \frac{\text{Sen} \frac{n\pi x}{L}}{n^2 \pi^2 / L^2} - \frac{x \text{Cos} \frac{n\pi x}{L}}{n\pi/L} \right]_{L/2}^L$$

$$D_n' \left( \frac{L}{2} - 0 \right) = \frac{2h}{L} \left[ \frac{\text{Sen} n\pi/2}{n^2 \pi^2 / L^2} - \frac{L \text{Cos} n\pi/2}{2n\pi/L} \right] +$$

$$+ 2h \left[ \frac{-\text{Cos} n\pi}{n\pi/L} \right] - \frac{2h}{L} \left[ 0 - \frac{L \text{Cos} n\pi}{n\pi/L} \right] -$$

$$- 2h \left[ \frac{-\text{Cos} n\pi/2}{n\pi/L} \right] + \frac{2h}{L} \left[ \frac{\text{Sen} n\pi/2}{n^2 \pi^2 / L^2} - \frac{L \text{Cos} n\pi/2}{2n\pi/L} \right]$$

$$\frac{D_n' L}{2} = \frac{4h}{L} \left[ \frac{\text{Sen} n\pi/2}{n^2 \pi^2 / L^2} - \frac{L \text{Cos} n\pi/2}{2n\pi/L} \right] + 2h \left[ \frac{\text{Cos} n\pi/2}{n\pi/L} \right]$$

$$\frac{D_n' L}{2} = \frac{4h}{L} \left[ \frac{L^2 \text{Sen} n\pi/2}{n^2 \pi^2} - \frac{L^2 \text{Cos} n\pi/2}{2n\pi} \right] + 2hL \left[ \frac{\text{Cos} n\pi/2}{n\pi} \right]$$

$$\frac{D_n' L}{2} = 4hL \left[ \frac{\text{Sen} n\pi/2}{n^2 \pi^2} - \frac{\text{Cos} n\pi/2}{2n\pi} \right] + 4hL \left[ \frac{\text{Cos} n\pi/2}{2n\pi} \right]$$

$$\frac{D_n' L}{2} = 4hL \frac{\text{Sen } n\pi/2}{n^2 \pi^2}$$

de donde:

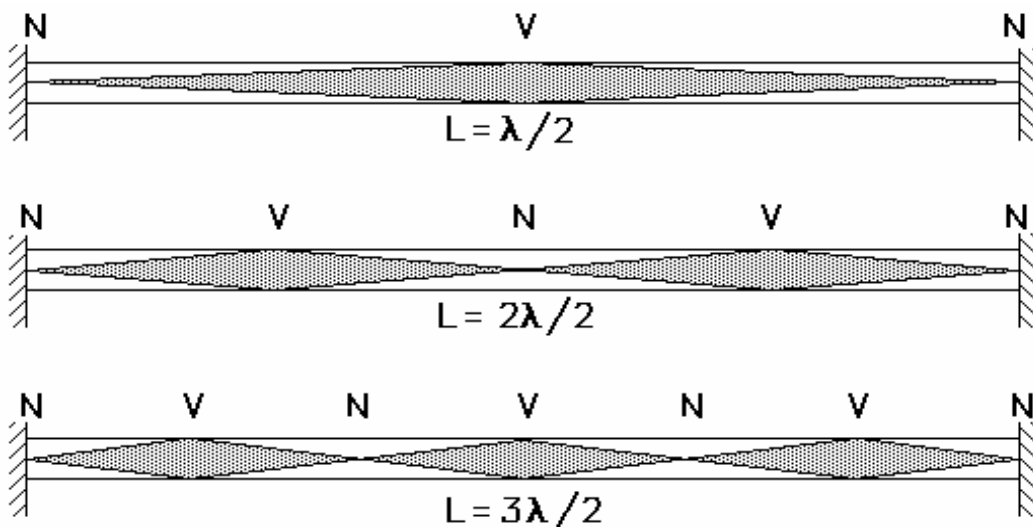
$$D_n' = \frac{8h}{n^2 \pi^2} \text{Sen } \frac{n\pi}{2} = (-1)^{\frac{n-1}{2}} \left( \frac{8h}{n^2 \pi^2} \right)$$

( $n$  impar)

y la solución (2.2.2.1) toma finalmente la forma:

$$\psi = \sum (-1)^{\frac{n-1}{2}} \left( \frac{8h}{n^2 \pi^2} \right) \text{Sen } \frac{n\pi x}{L} \text{Cos } \omega_n t \quad (2.2.2.2)$$

que corresponde efectivamente a ondas estacionarias transversales, y la cuerda vibrará, entre otras, según las formas mostradas en la figura 2.2.2.2.



F i g u r a 2 . 2 . 2 . 2

De la figura vemos que las longitudes de onda posibles en función de la longitud  $L$  de la cuerda son:

$$\lambda_n = 2L/n$$

de modo que:

$$\omega_n = K_n v = \frac{2\pi}{\lambda_n} v = \frac{2\pi v}{2L/n} = \frac{n\pi v}{L}$$

por lo que las frecuencias temporales posibles de vibración son:

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{n\pi v}{2\pi L} = \frac{n}{2L} v$$

esto es:

$$\boxed{f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}} \quad (2.2.2.3)$$

Es curioso, pero absolutamente cierto, que la cuerda vibrará únicamente con las frecuencias temporales dadas por la ecuación anterior; cada una de ellas recibe el nombre de "armónico". Para  $n = 1$  la frecuencia temporal es:

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

y se conoce con el nombre de "armónico fundamental"; a partir de  $n = 2$ , los armónicos se denominan "armónicos superiores".

## LISTADO DE ANIMACIONES

### **a) Conceptuales:**

OO222C1  
OO222C2  
OO222C3  
OO222C4  
OO222C5  
OO222C6

### **b) Ejercitativas:**

OO222E1  
OO222E2  
OO222E3  
OO222E4

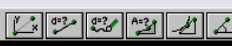
### **c) Lúdica:**

OO222L1

## ANIMACIÓN DE MUESTRA

Modellus - C:\MODELLUS\ACUSTICA\00222C2.mdl

File Edit Case Window Help

Cases: 

**VIBRACIÓN DE UNA CUERDA TENSA - DESARROLLO DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL DE LA ONDA**

A continuación analizaremos el caso de cuando los extremos fijos son **NODOS** y para ello partimos de la ecuación diferencial de onda:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} \quad \longrightarrow \quad T \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} = \frac{X}{v^2} \frac{\partial^2 T}{\partial t^2}$$

que al dividir para  $XT$  se convierte en:

$$\frac{1}{X} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2 T} \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = -K^2$$

de donde:

$$\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + K^2 X = 0 \quad \gamma \quad \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + K^2 v^2 T = 0$$

Realizando la separación de variables para resolverlas tenemos:

$$X = C_1 \text{Sen}Kx + C_2 \text{Cos}Kx$$

y:

$$T = D_1 \text{Sen}Kvt + D_2 \text{Cos}Kvt = D_1 \text{Sen}\omega t + D_2 \text{Cos}\omega t$$

Considerando que:

$$\Psi = X(x) \cdot T(t)$$

entonces la solución general es:


$$\Psi = (C_1 \text{Sen}Kx + C_2 \text{Cos}Kx)(D_1 \text{Sen}\omega t + D_2 \text{Cos}\omega t)$$

Control

t = 70.00

0 70

Options...



Pulse "comenzar" y observe el desarrollo de la solución general de la ecuación diferencial de la onda...

Inicio

TESIS-ANGÉLICA

TESIS [Modo de comp...]

Modellus - C:\MODEL...

Mi PC

23:19



## MODELO MATEMÁTICO

$$L1 = 20$$

$$L2 = 270$$

$$L3 = 50$$

$$L4 = -1000$$

$$\text{if}(t > 50) \text{ then } (L4 = 40)$$

$$L5 = 80$$

$$L6 = 270$$

$$L7 = 70$$

$$L8 = -1000$$

$$\text{if}(t > 35) \text{ then } (L8 = 40)$$

$$L9 = 120$$

$$L10 = 300$$

$$L11 = 120$$

$$L12 = 10$$

$$L13 = 70$$

$$L14 = 10$$

$$L16 = 1000$$

$$\text{if}(t > 62) \text{ then } (L16 = 240)$$

L15 = 30

L17 = -1000

if(t>39)then(L17 = 10)

L18 = 240

L19 = -1000

if(t>10)then(L19 = -1)

L20 = 220

L21 = 950

L22 = 330

L23 = -170

L24 = 100

L25 = -90

L26 = -1000

if(t>54)then(L26 = 60)

L27 = 90

L28 = 50

L29 = -1000

if(t>58)then(L29 = 40)

### 2.2.3 VIBRACIÓN DE UNA COLUMNA DE GAS

Supongamos una muestra de aire contenida en un tubo cilíndrico de longitud  $L$  y sección transversal recta  $S$ ; consideremos que ambos extremos están cerrados. La masa de aire encerrada es  $\rho LS$  y para simplificar supondremos que presenta comportamiento de gas ideal y que la temperatura se mantiene constante. Mientras la columna de aire vibra dentro del tubo que permanece estático, la densidad alrededor de cualquier sección varía con el tiempo; también la densidad varía de un punto a otro a lo largo del tubo en un instante dado. De la subunidad anterior sabemos que la ecuación diferencial correspondiente a la onda de desplazamiento es:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{\rho_0}{\gamma p} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$

cuya solución es de la forma:

$$\psi = (A \text{Sen } Kx + B \text{Cos } Kx)(C \text{Sen } \omega t + D \text{Cos } \omega t)$$

Las condiciones de frontera para este caso concreto son:

$$\begin{cases} \psi(0; t) = 0 \\ \psi(L; t) = 0 \end{cases}$$

con lo que la solución toma la forma general:

$$\boxed{\psi = \sum \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} (C_n' \text{Sen } \omega_n t + D_n' \text{Cos } \omega_n t)} \quad (2.2.3.1)$$

de modo que el aire vibrará con la resultante de la superposición de  $n$  "modos normales", cuyas frecuencias cíclicas tempo-

rales son  $\omega_n$ . Las constantes  $C_n'$  y  $D_n'$  se determinan a partir de las condiciones iniciales; sean éstas:

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi(x; 0) = \begin{cases} 2\psi_0 x/L & (0 \leq x \leq L/2) \\ 2\psi_0(1 - x/L) & (L/2 \leq x \leq L) \end{cases} \\ \frac{\partial \psi}{\partial t}(x; 0) = 0 \end{array} \right.$$

en donde  $\psi_0$  es la máxima deformación longitudinal inicial de la sección central de la columna; con esto la solución general toma la forma:

$$\psi = \sum (-1)^{\frac{n-1}{2}} \left( \frac{8\psi_0}{n^2 \pi^2} \right) \text{Sen} \frac{n\pi x}{L} \text{Cos} \omega_n t \quad (2.2.3.2)$$

que corresponde a ondas estacionarias longitudinales, figura 2.2.3.1.

De la figura vemos que las longitudes de onda posibles en función de  $L$  son:  $\lambda_n = 2L/n$ , de modo que:

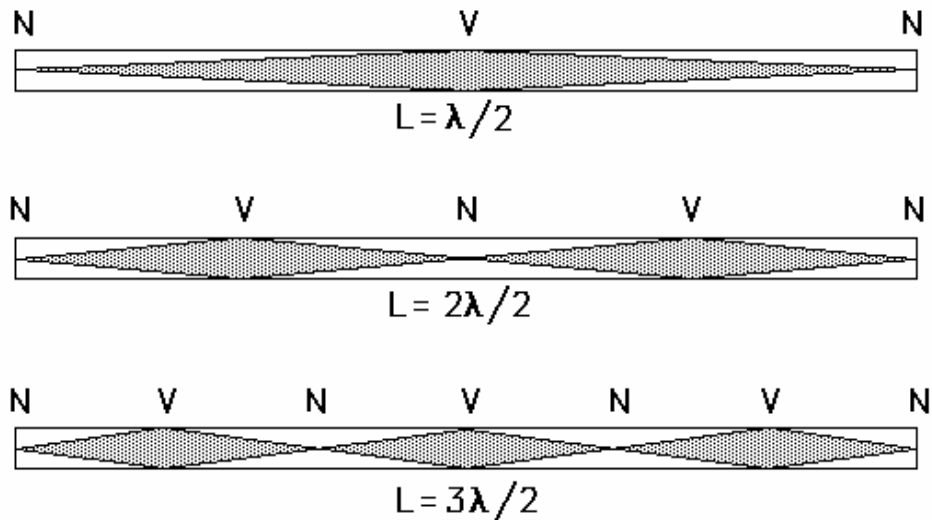
$$\omega_n = K_n v = \frac{2\pi}{\lambda_n} v = \frac{2\pi v}{2L/n} = \frac{n\pi v}{L}$$

por lo que las frecuencias temporales posibles de vibración son:

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{n\pi v}{2\pi L} = \frac{n}{2L} v$$

esto es:

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho_0}} \quad (2.2.3.3)$$



F i g u r a 2 . 2 . 3 . 1

## LISTADO DE ANIMACIONES

### **a) Conceptuales:**

OO223C1

OO223C2

### **b) Ejercitativas:**

OO223E1

OO223E2


### **c) Lúdica:**

OO223L1

## ANIMACIÓN DE MUESTRA

Modellus - C:\MODELLUS\ACUSTICA\00223E2.mdl

File Edit Case Window Help

Cases: 

Control

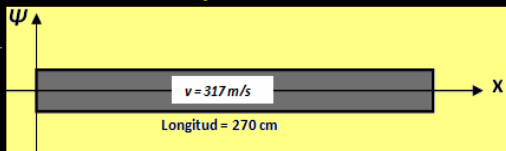
t = 99.00

0 99

Options...

### EJERCICIO DE VIBRACIÓN DE UNA COLUMNA DE GAS

Halle las frecuencias correspondientes a los cuatro primeros armónicos de las ondas producidas en el tubo de la figura.



Longitud = 270 cm

$v = 317 \text{ m/s}$

**DATOS:**

$v = 317 \text{ m/s}$

$L = 2,7 \text{ m}$

$f_n = ?$

**FÓRMULA:**

$f_n = \frac{n}{2L} v$

**DESARROLLO:**

$f_1 = \frac{1}{2(2,7 \text{ m})} (317 \text{ m/s}) = 58,70 \text{ Hz}$  Resp.     $f_2 = \frac{2}{2(2,7 \text{ m})} (317 \text{ m/s}) = 117,40 \text{ Hz}$  Resp.

$f_3 = \frac{3}{2(2,7 \text{ m})} (317 \text{ m/s}) = 176,11 \text{ Hz}$  Resp.     $f_4 = \frac{4}{2(2,7 \text{ m})} (317 \text{ m/s}) = 234,81 \text{ Hz}$  Resp.

Pulse "Comenzar" para observar la resolución del ejercicio propuesto...

Inicio

TESIS-ANGÉLICA

TESIS [Modo de comp...

Modellus - C:\MODEL...

MI PC

23:21

## MODELO MATEMÁTICO

$$L1 = 30$$

$$L2 = 60$$

$$L3 = 45$$

$$L4 = 80$$

$$L5 = 90$$

$$L6 = 170$$

$$L7 = -45$$

$$L8 = 120$$

$$L9 = 140$$

$$L10 = 330$$

$$L11 = 100$$

$$L12 = -115$$

$$L13 = -20$$

$$L14 = 25$$

$$L15 = 200$$

$$L16 = -1000$$

$$L17 = 450$$

$$L18 = -1000$$



$$L19 = 200$$

$$L20 = -1000$$

$$L21 = 450$$

$$L22 = -1000$$

$$L23 = -1000$$

$$L24 = -1000$$

$$L25 = 150$$

$$L26 = -1000$$

$$L27 = 150$$

$$L28 = -1000$$

$$L29 = 180$$

$$L30 = 100$$

$$L31 = -1000$$

$$L32 = 70$$

$$L33 = 630$$

$$L34 = 60$$

$$L36 = -1000$$

$$L37 = 70$$

$$x = (10000 - y^2)$$

$$y = t$$

if( $t > 10$ )then( $L_{26} = -10$ )

if( $t > 17$ )then( $L_{24} = 220$ )

if( $t > 28$ )then( $L_{31} = -10$ )

if( $t > 32$ )then( $L_{28} = -90$ )

if( $t > 39$ )then( $L_{23} = 240$ )

if( $t > 46$ )then( $L_{20} = -13$ )

if( $t > 55$ )then( $L_{22} = -10$ )

if( $t > 66$ )then( $L_{16} = -13$ )

if( $t > 74$ )then( $L_{18} = -13$ )

if( $t > 77$ )then( $L_{36} = 30$ )

$L_{38} = 370$

$L_{39} = -65$

## 2.2.4 INTENSIDAD Y SONORIDAD

Un sonido se identifica por tres características: intensidad, tono y timbre. En este tema hablaremos acerca de la primera.

►► La intensidad del sonido es la energía por unidad de tiempo que fluye perpendicularmente a través de la unidad de área. En consecuencia es también el cociente entre la potencia que fluye y la unidad de área perpendicular a la dirección del flujo. Las ecuaciones desarrolladas en el tema 2.1.10 para las ondas en general, son totalmente válidas para las ondas sonoras planas, esto es:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} v S \rho \omega^2 \psi_0^2 \quad (\text{a})$$

$$E_V = \frac{E}{V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 \psi_0^2 \quad (\text{b})$$

$$\bar{P} = v S E_V \quad (\text{c})$$

y en particular:

$$\boxed{I = \frac{\bar{P}}{S} = v E_V = v p_{rad}} \quad (2.2.4.1)$$

►► Para el caso de focos sonoros pequeños sumergidos en medios isotrópicos, la onda emitida es esférica y, como tal, su amplitud decrece con la distancia, esto es:

$$\psi = \frac{A}{r} f(Kr - \omega t)$$

en donde  $A$  es la amplitud de la onda esférica medida a  $1 \text{ m}$  de distancia de la fuente puntual. Para el caso de las ondas de presión, la relación entre las ondas de presión y de desplazamiento es:

$$\boxed{p = -\rho v^2 \left( \frac{\partial \psi}{\partial r} \right)} \quad (2.2.4.2)$$

y la expresión general para la intensidad de la onda de presión es:

$$\boxed{I = \frac{1}{\tau_0} \int_0^{\tau} p \frac{\partial \psi}{\partial t} dt} \quad (2.2.4.3)$$

en donde  $\tau$  es el período temporal de la onda,  $p$  es la función de la onda de presión y  $\partial \psi / \partial t$  es la velocidad de las moléculas perturbadas. Supongamos la onda de desplazamiento esférica y armónica dada por  $\psi = \frac{\psi_0}{r} \text{Sen}(Kr - \omega t)$ , las correspondientes expresiones para la velocidad de las moléculas y para la onda de presión son:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\omega \psi_0}{r} \text{Cos}(Kr - \omega t)$$

y:

$$p = -\rho v^2 \left[ -\frac{\psi_0}{r^2} \text{Sen}(Kr - \omega t) + \frac{\psi_0 K}{r} \text{Cos}(Kr - \omega t) \right]$$

luego:

$$I = \frac{1}{\tau_0} \int_0^{\tau} -\rho v^2 \left[ -\frac{\psi_0}{r^2} \text{Sen}(Kr - \omega t) + \frac{\psi_0 K}{r} \text{Cos}(kr - \omega t) \right] \cdot \left[ -\frac{\omega \psi_0}{r} \text{Cos}(Kr - \omega t) \right] dt$$

$$I = \frac{-\rho v^2 \omega \psi_0^2}{r^2 \tau} \left[ \frac{1}{r} \int_0^{\tau} \text{Sen}(Kr - \omega t) \text{Cos}(Kr - \omega t) dt - K \int_0^{\tau} \text{Cos}^2(Kr - \omega t) dt \right]$$

$$I = \frac{-\rho v^2 \omega \psi_0^2}{\rho^2 \tau} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\text{Sen}^2(Kr - \omega t)}{\omega} - K \left[ \frac{t}{2} + \frac{\text{Sen}(Kr - 2\omega t)}{4\omega} \right] \right\}$$

$$I = \frac{-\rho v^2 \omega \psi_0^2}{r^2 \tau} \left[ \frac{1}{r}(0) - K \left( \frac{\tau}{2} - 0 \right) \right] = \frac{\rho v^2 \omega \psi_0^2}{r^2 \tau} \left( \frac{K\tau}{2} \right)$$

$$I = \frac{\rho v \omega^2 \psi_0^2}{2r^2} = \frac{\rho_0^2}{2\rho v r^2} \quad (2.2.4.4)$$

que decae con  $1/r^2$  debido a que la onda diverge y abarca cada vez un área mayor. "Este  $r^2$  ha de considerarse como adimensional". Además:

$$E_v = \frac{\rho \omega^2 \psi_0^2}{2r^2} = \frac{\rho_0^2}{2\rho v^2 r^2} \quad (2.2.4.5)$$

El sonido, como toda onda, al propagarse en un medio particular sufre un amortiguamiento, o mejor dicho, una disipación de la energía debido a la viscosidad del medio; por ello, a mayor distancia entre el emisor y el receptor, es menor la intensidad de la onda que lo predicho por la ecuación (2.2.4.4). Quizás resulte mejor hablar de disipación de la energía de la onda sonora debido al fenómeno de la "absorción" que presenta el medio por el que se propaga la onda.

Conozcamos ahora otros conceptos útiles relacionados con el sonido:

Se llama "Nivel de intensidad de una onda sonora",  $NI$ , a:

$$NI = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (2.2.4.6)$$

en donde  $I_0 = 1E-12 \text{ W/m}^2$  es el nivel de referencia. El  $NI$  se expresa en decibelios,  $dB$ , que es un submúltiplo del belio,  $B$ .

Se llama "Nivel de presión del sonido",  $NP$ , a:

$$NP = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (2.2.4.7)$$

en donde  $p_0 = 2E-5 \text{ Pa}$  es el nivel de referencia. El  $NP$  se expresa también en decibelios.

Se llama "Nivel de velocidad del sonido",  $NV$ , a:

$$NV = 20 \log_{10} \frac{v}{v_0} \quad (2.2.4.8)$$

en donde  $v_0 = 1E-8 \text{ m/s}$  es el nivel de referencia. El  $NV$  se expresa también en decibelios.

Se llama "Nivel de aceleración del sonido",  $NA$ , a:

$$NA = 20 \log_{10} \frac{a}{a_0} \quad (2.2.4.9)$$

en donde  $a_0 = 1E-5 \text{ m/s}^2$  es el nivel de referencia. El  $NA$  se expresa también en decibelios.

La sonoridad (volumen sonoro) tiene íntima relación con la intensidad de la onda sonora y depende de las características

fisiológicas del oído de una persona. El oído normal medio, a una frecuencia de  $1\ 000\ \text{Hz}$ , detecta sonidos que varían desde  $1E-12\ \text{W}/\text{m}^2$  hasta  $1\ \text{W}/\text{m}^2$ . Insistimos que la sonoridad es más bien una cuestión subjetiva y, como tal, debe ser considerada en Física simplemente como algo informativo. En la tabla 2.2.4.1 se muestran algunas características físicas y la fisiológica correspondiente a varios sonidos.

<i>CIRCUNSTANCIA</i>	<i>NIVEL DE INTENS.</i>	<i>INTEN- SIDAD</i>	<i>SENSACIÓN</i>
	<i>dB</i>	<i>W/m<sup>2</sup></i>	
Límite de la sensación	120	1E00	Dolor
Rayos, artillería	110	1E-1	Ensordecidor
Remachado	100	1E-2	Ensordecidor
Tren elevado	90	1E-3	Muy fuerte
Fábrica ruidosa	90	1E-3	Muy fuerte
Carro sin silenciador	90	1E-3	Muy fuerte
Taladro neumático	80	1E-4	Muy fuerte
Vía con gran tráfico	70	1E-5	Fuerte
Oficina ruidosa	70	1E-5	Fuerte
Calle típica	60	1E-6	Fuerte
Conversación casera	60	1E-6	Fuerte
Oficina promedio	50	1E-7	Moderado
Radio a bajo volumen	40	1E-8	Moderado

Casa tranquila	30	1E-9	Moderado
Susurros	20	1E-10	Tenue
Crujido de hojas	10	1E-11	Tenue
Límite de la percepción	0	1E-12	Apenas audible

**Tabla 2.2.4.1**



## LISTADO DE ANIMACIONES

### **a) Conceptuales:**

OO224C1

OO224C2

OO224C3

### **b) Ejercitativas:**

OO224E1

OO224E2

OO224E3

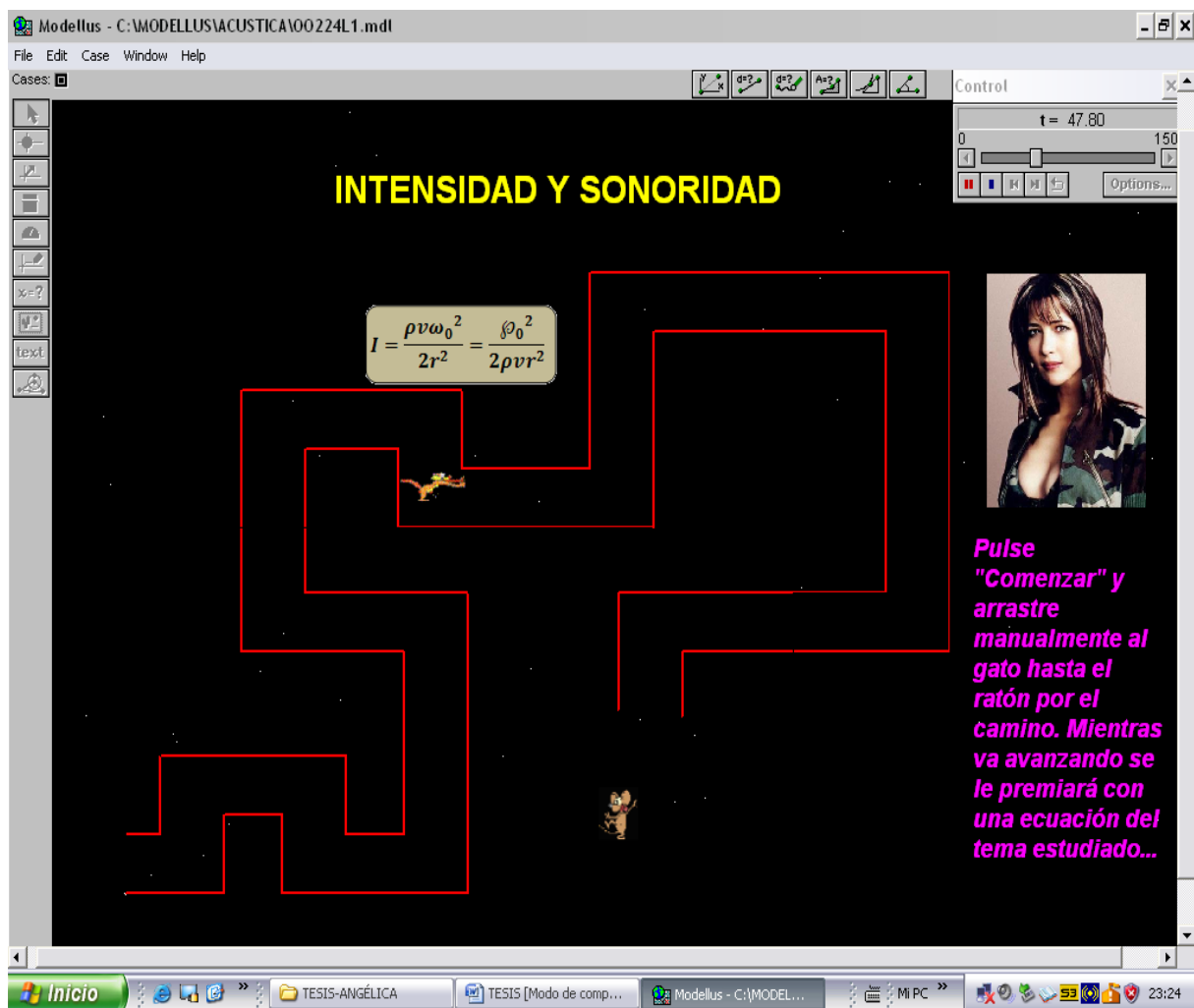
OO224E4

### **c) Lúdicas:**

OO224L1

OO224L2

## ANIMACIÓN DE MUESTRA



Modellus - C:\MODELLUS\ACUSTICA\00224L1.mdl

File Edit Case Window Help

Cases: [ ]

Control

t = 47.80

0 150

Options...

### INTENSIDAD Y SONORIDAD

$$I = \frac{\rho v \omega_0^2}{2r^2} = \frac{\rho_0^2}{2\rho v r^2}$$

*Pulse "Comenzar" y arrastre manualmente al gato hasta el ratón por el camino. Mientras va avanzando se le premiará con una ecuación del tema estudiado...*

Inicio

TESIS-ANGÉLICA

TESIS [Modo de comp...]

Modellus - C:\MODEL...

MI PC

23:24

## MODELO MATEMÁTICO

$$L1 = 45$$

$$L2 = 85$$

$$L3 = 30$$

$$L4 = 60$$

$$L5 = 60$$

$$L6 = 50$$

$$L7 = 160$$

$$L8 = -60$$

$$L9 = -60$$

$$L10 = 160$$

$$L11 = 50$$

$$L12 = 230$$

$$L13 = 140$$

$$L14 = -140$$

$$L15 = -140$$

$$L16 = 110$$

$$L17 = 200$$

$$L18 = 80$$

$$L19 = 190$$

$$L20 = -60$$

$$L21 = -60$$

$$L22 = 220$$

$$L23 = 110$$

$$L24 = 150$$

$$L25 = 150$$

$$L26 = 200$$

$$L27 = 310$$

$$L28 = -200$$

$$L29 = -290$$

$$L30 = -230$$

$$L31 = -230$$

$$L32 = -50$$

$$L33 = -90$$

$$L40 = 475$$

$$L41 = -30$$

$$L42 = 5$$

$$L43 = 710$$

$$L44 = -250$$

L45 = 20

L46 = 100

L47 = -140

L48 = 30

L49 = 180

x

y

L50 = -1000

if((x>40)and(x<70)and(y>30)and(y<90))then(L50 = 30)

L51 = -1000

if((x>210)and(x<240)and(y>0)and(y<30))then(L51 = -10)

L52 = 55

L53 = -1000

if((x>240)and(x<300)and(y>185)and(y<230))then(L53 = -80)

L54 = -1000

if((x>240)and(x<280)and(y>300)and(y<340))then(L54 = 35)

L56 = -1000

if((x>400)and(x<455)and(y>280)and(y<325))then(L56 = 75)

L55 = -80

L57 = -1000

if((x>655)and(x<710)and(y>430)and(y<475))then(L57 = 40)

L58 = -80

L61 = -1000

if((x>640)and(x<680)and(y>190)and(y<230))then(L61 = 40)

L59 = 1000

if((x>425)and(x<480)and(y>185)and(y<230))then(L59 = 80)

L60 = 30

L62 = -80

if((x>408)and(x<442)and(y>40)and(y<80))then(L62 = -1000)

## 2.2.5 TONO Y TIMBRE

La segunda característica de un sonido es el tono, el cual tiene íntima relación con la frecuencia temporal de la onda sonora. Para frecuencias muy bajas, entre  $20$  y  $120$  Hz, los sonidos tienen un tono muy grave (como los producidos por una guitarra-bajo o por un contrabajo); para frecuencias entre  $120$  y  $500$ , los sonidos tienen un tono grave (como los producidos por la voz masculina); para frecuencias entre  $500$  y  $1\ 000$  Hz los sonidos tienen un tono medio (como los producidos por la voz de una soprano); para frecuencias entre  $1\ 000$  y  $3\ 000$  Hz, los sonidos tienen un tono agudo (como los producidos por un violín); para frecuencias mayores a  $3\ 000$  Hz, los sonidos tienen un tono muy agudo (como el trinar de un colibrí). Nuestro oído percibe, aunque en forma desigual, toda esa gama de tonos y, si hay varios de ellos al mismo tiempo, los sintetiza en ondas resultantes agradables o no a nuestro oído. Puesto que el tono tiene relación con la frecuencia temporal percibida, el movimiento relativo del observador con respecto a la fuente sonora altera el tono del sonido percibido; en consecuencia, el efecto doppler juega también su papel en el caso de las ondas sonoras; esto lo hemos percibido cuando un carro se acerca y aleja manteniendo en funcionamiento su pito: al acercarse percibimos un tono más agudo que cuando se aleja. Para esta consideración son válidas las ecuaciones de efecto doppler desarrolladas en la subunidad anterior.

La tercera característica de un sonido es el timbre y es la que nos permite diferenciar los sonidos emitidos por instrumentos musicales diferentes, aunque tengan la misma intensidad y

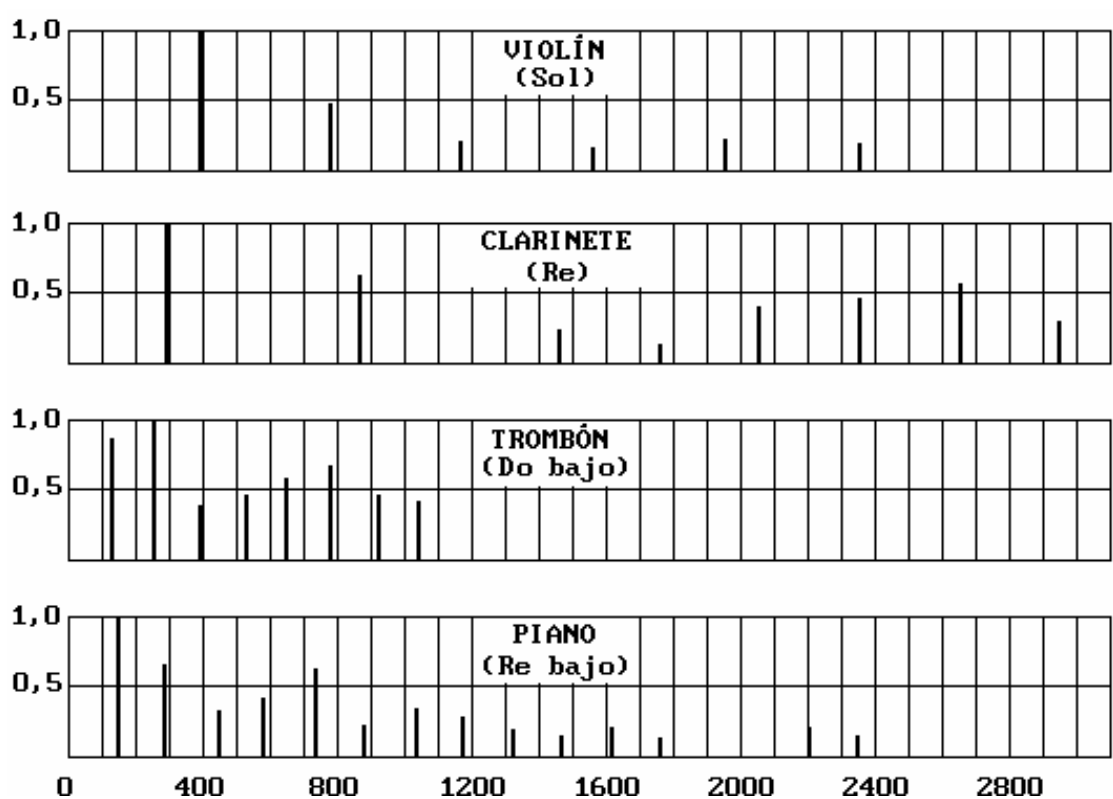
tono; también nos permite distinguir las voces de diferentes personas. El timbre de un sonido tiene estrecha relación con los armónicos que componen (o integran o sintetizan) un sonido y sus amplitudes relativas. En los temas 2.2.2 y 2.2.3 conocimos que una cuerda o un tubo de aire vibran según un número infinito de frecuencias temporales que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental; sin embargo aquello es teórico, pues en la realidad, es la naturaleza la que dicta cuáles de todas aquellas infinitas frecuencias y con qué amplitudes relativas vibrará realmente el sistema; y precisamente gracias a esto percibimos como diferente el sonido "D" (re) emitido por un piano, un violín, una trompeta un clarinete, un saxofón, una lira, una guitarra, un órgano, una flauta, la voz de Juana, etc. Ya a mediados del siglo pasado el físico Hermann Lurwig von Helmholtz demostró que esto era así al indicar que "el timbre de todo sonido depende del número de armónicos que acompañan al fundamental, así como de sus intensidades y frecuencias".

En las últimas décadas, mediante aparatos electrónicos muy especiales como los filtroanalizadores, se pueden retirar de un sonido uno o varios armónicos con lo que se altera poco o mucho el timbre del sonido; contrariamente, mediante otros llamados sintetizadores, se pueden componer sonidos de cualquier timbre mediante la adición adecuada de armónicos; estos dispositivos electrónicos son cada vez más frecuentes en la vida cotidiana del hombre. El único dispositivo que emite un sonido puro, esto es el que comprende únicamente el armónico fundamental, es el diapasón; absolutamente todos los demás artefactos musicales, así como la voz humana, emiten sonidos compuestos o complejos cuya onda resultante tiene formas bastante complicadas y que matemáticamente pueden ser re-



presentadas mediante los llamados "desarrollos en serie de Fourier".

La figura 2.2.5.1 muestra las frecuencias temporales constitutivas y sus amplitudes relativas para algunas notas musicales emitidas por cuatro instrumentos musicales diferentes; son los "espectros de frecuencias". Observe cómo las frecuencias temporales constitutivas son siempre múltiplos enteros de la frecuencia fundamental que corresponde al armónico fundamental y cómo la naturaleza elige las frecuencias y amplitudes en forma caprichosa y misteriosa.



F i g u r a 2 . 2 . 5 . 1

## LISTADO DE ANIMACIONES

### **a) Conceptuales:**

OO225C1

OO225C2

OO225C3

### **b) Ejercitativas:**

OO225E1

OO225E2

### **c) Lúdica:**

OO225L1

## ANIMACIÓN DE MUESTRA

Modellus - C:\MODELLUS\ACUSTICA\00225C3.mdl

File Edit Case Window Help

Animation 1

Cases: [ ]

Control

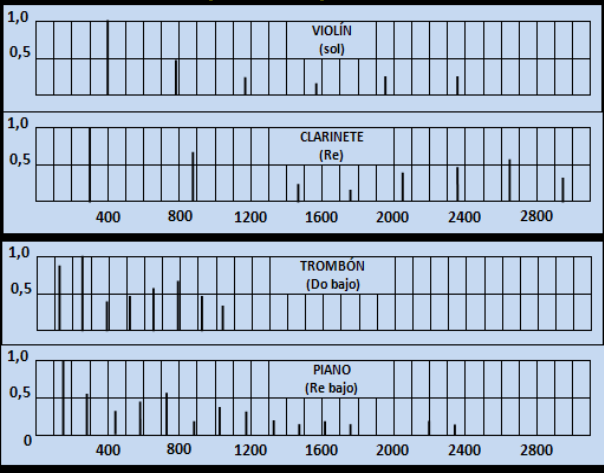
t = 100.00

0 100

Options...

### TONO Y TIMBRE

Las siguientes figuras muestran las frecuencias temporales constitutivas y sus amplitudes relativas para algunas notas musicales emitidas por cuatro instrumentos musicales diferentes; son los "espectros de frecuencias". Aquí podemos observar cómo las frecuencias constitutivas son siempre múltiplos enteros de la frecuencia fundamental que corresponde al armónico fundamental.




VIOLÍN (sol)

CLARINETE (Re)

TROMBÓN (Do bajo)

PIANO (Re bajo)



Pulse "Comenzar" y observe los espectros de frecuencias de algunos instrumentos musicales...

Inicio

TESIS-ANGÉLICA

TESIS [Modo de comp...

Modellus - C:\MODEL...

MI PC

23:28

## MODELO MATEMÁTICO

$$L1 = 30$$

$$L2 = -1000$$

$$L3 = 93$$

$$L4 = -1000$$

$$L5 = 100$$

$$L6 = -1000$$

$$L7 = 94$$

$$L8 = -1000$$

x

$$x = 8*t$$

$$\text{if}(t > 1)\text{then}(L8 = 140)$$

$$\text{if}(t > 20)\text{then}(x = 200)$$

y

$$y = 8*t - 200$$

$$\text{if}(t > 21)\text{then}(L6 = 140)$$

$$\text{if}(t > 40)\text{then}(y = 200)$$

z

$$z = 8*t - 300$$

if( $t > 41$ )then( $L4 = 140$ )

if( $t > 60$ )then( $z = 200$ )

a

$a = 8 * t - 450$

if( $t > 61$ )then( $L2 = 140$ )

if( $t > 80$ )then( $a = 200$ )

$L9 = 180$

$L10 = 30$

$L11 = 10$

$L12 = 700$

$L13 = -230$

$L14 = 30$

$L15 = 100$

$L16 = -140$

$L17 = 40$

$L18 = 250$

## 2.2.6 RESONANCIA

Las vibraciones u ondas estacionarias que se producen en una cuerda tensa y fija en sus extremos así como las que ocurren en una columna de aire son ondas o vibraciones "localizadas" y tenues. Para generar un sonido que se propague en el aire es necesario que dicha onda perturbe el aire circundante; pero esto resulta apenas detectable por lo que se hace necesario amplificar el sonido mediante la utilización de cuerpos-base que tengan la misma frecuencia de oscilación para de este modo lograr que el sistema oscilante y el de base entren en resonancia. Por esta razón los instrumentos musicales tienen las bases y/o complementos que tienen. De hecho, siempre que apliquemos a un cuerpo vibraciones forzadas de frecuencia muy próxima a la de sus vibraciones propias, la amplitud de las mismas aumentará considerablemente.

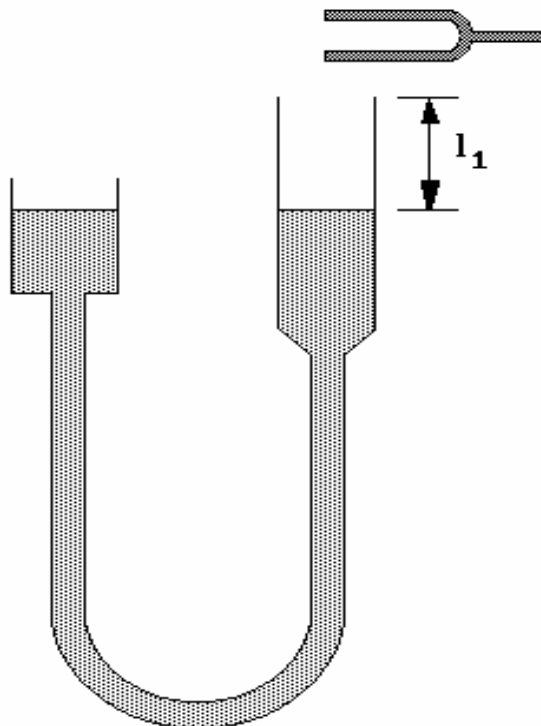


Figura 2.2.6.1

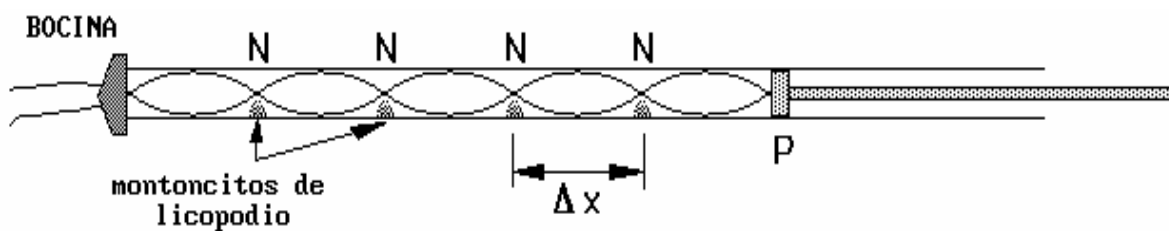
En la figura 2.2.6.1 se muestra un sencillo experimento que pone de relieve la resonancia entre las ondas sonoras procedentes de un diapasón y las ondas estacionarias generadas en una columna de aire; éste constituye un sencillo y excelente método para medir la velocidad del sonido en el aire. La longitud de la columna de aire se puede ajustar subiendo o bajando el nivel del agua. Al vibrar el diapasón e ir bajando gradualmente el depósito percibiremos un gran incremento en la intensidad  $I$  del sonido cuando la longitud de la columna de aire alcance la longitud  $l_1$ ; luego se repetirá en  $l_2$  (éstas corresponden respectivamente a  $\lambda/4$  y  $3\lambda/4$ ); en estas condiciones se tiene:

$$\lambda = 2(l_2 - l_1)$$

y:

$$v = 2f(l_2 - l_1) \quad (2.2.6.1)$$

en donde  $f$  es la frecuencia temporal fundamental del diapasón.



F i g u r a 2 . 2 . 6 . 2

Un método alternativo, pero similar, es el de Kundt, figura 2.2.6.2, en el que una fuente conveniente (generalmente una bocina o parlante conectada a un generador de audiofrecuencia de gran potencia) envía al interior del tubo una onda acústica de frecuencia temporal  $f$  que agita al polvo ultraliviano de li-

copodio; el pistón P se ajusta hasta que las ondas en el interior sean estacionarias, en cuyo caso el polvo de licopodio se amontona en los nodos; entonces se toman las lecturas necesarias para determinar la velocidad del sonido mediante la ecuación:

$$v = 2f \Delta x \quad (2.2.6.2)$$

en donde  $\Delta x$  es la distancia media entre dos nodos consecutivos (esto es, entre dos montoncitos consecutivos de licopodio) y  $f$  es la frecuencia temporal de la fuente sonora. Si en el tubo se encuentra otro gas, la ecuación anterior permite determinar la velocidad del sonido en dicho gas en las condiciones de presión y temperatura deseadas.



## LISTADO DE ANIMACIONES

### **a) Conceptuales:**

OO226C1

OO226C2

OO226C3

### **b) Ejercitativas:**

OO226E1

OO226E2

OO226E3

### **c) Lúdica:**


OO226L1

## ANIMACIÓN DE MUESTRA

Modellus - C:\MODELLUS\ACUSTICA\OO226E1.mdl

File Edit Case Window Help

Animation 1

Cases: 

**EJERCICIO DE RESONANCIA**

La resonancia de una columna de aire limitada por un nivel de agua ajustable cuando sobre ella se coloca un diapasón de 1056 Hz se halla a las longitudes de columna de 7,5 cm y 22,5 cm. Halle la velocidad del sonido.

**DATOS:** **FÓRMULA:**

$f = 1056 \text{ Hz}$

$l_1 = 7,5 \text{ cm} = 0,075 \text{ m}$   $v = 2f(l_2 - l_1)$

$l_2 = 22,5 \text{ cm} = 0,225 \text{ m}$

$v = ?$

**DESARROLLO:**

$v = 2f(l_2 - l_1)$   $v = 2(1056 \text{ Hz})(0,225 \text{ m} - 0,075 \text{ m})$

$v = 2(1056 \cdot 1/s)(0,15 \text{ m})$   $v = 316,8 \text{ m/s}$  **Respuesta**



Control

t = 98,00

0 98

Options...

Pulse "comenzar" para observar la resolución del ejercicio propuesto...

Inicio

TESIS-ANGÉLICA

TESIS [Modo de comp...

Modellus - C:\MODEL...

MI PC

23:31

## MODELO MATEMÁTICO

$$L1 = 40$$

$$L2 = 80$$

$$L3 = 70$$

$$L4 = 90$$

$$L5 = 110$$

$$L6 = 105$$

$$L7 = -50$$

$$L8 = 100$$

$$L9 = 180$$

$$L10 = 835$$

$$L11 = 100$$

$$L12 = -135$$

$$L13 = -40$$

$$L14 = 25$$

$$L15 = 230$$

$$L16 = -1000$$

$$L17 = 250$$

$$L18 = -1000$$

$$L19 = 200$$

$$L20 = -1000$$

$$L21 = 280$$

$$L22 = -1000$$

$$L23 = -1000$$

$$L24 = -1000$$

$$L25 = 150$$

$$L26 = -1000$$

$$L27 = 180$$

$$L28 = -1000$$

$$L29 = 150$$

$$L30 = 100$$

$$L31 = -1000$$

$$L32 = 100$$

$$L33 = 615$$

$$L34 = 60$$

$$L36 = -1000$$

$$L37 = 90$$

$$x = (10000 - y^2)$$

$$y = t$$

if( $t > 10$ )then(L26 = -10)

if( $t > 17$ )then(L24 = 230)

if( $t > 28$ )then(L31 = -10)

if( $t > 32$ )then(L28 = -90)

if( $t > 39$ )then(L23 = 250)

if( $t > 46$ )then(L20 = -10)

if( $t > 55$ )then(L22 = -10)

if( $t > 66$ )then(L16 = -13)

if( $t > 74$ )then(L18 = -13)

if( $t > 77$ )then(L36 = 30)

## 2.2.7 ESCALAS MUSICALES

Desde los albores de la humanidad el hombre ha buscado estímulos satisfactorios para sus sentidos, entre ellos el oído. Fue entonces descubriendo y creando sonidos que le resultaban agradables mediante artefactos bastante rudimentarios, los que se fueron perfeccionando gradualmente dando paso al nacimiento de los instrumentos musicales, los cuales han evolucionado mucho en los últimos siglos. Actualmente disponemos de instrumentos de cuerda, de viento, de percusión y los electrónicos, que imitan todo lo que se desee. Pero dentro de este proceso ha sido necesario crear y aceptar mundialmente conjuntos de sonidos que sirvan de base para la creación de música: son las llamadas "escalas musicales" que en un principio eran absolutamente pobres, rústicas y mal "afinadas". En aquellos tiempos se hacía música en escalas monofónica, trifónica y tetrafónica. En los dos últimos milenios se han utilizado las escalas pentafónica y hexafónica y solamente en los últimos siglos se ha dado paso a la escala heptafónica que al incluir los "semitonos" pasó a convertirse en la escala dodecafónica, esto es, una escala que comprende doce sonidos diferenciados y que se repiten sucesivamente, es la "escala diatónica". Para los doce sonidos se utilizó, y aún se lo hace con frecuencia, la siguiente nomenclatura: DO, DO#, RE, RE#, MI, FA, FA#, SOL, SOL#, LA, LA#, SI, en la que el referencial fue el DO (inicialmente UT).

Para la creación de una escala musical se elige al azar una frecuencia temporal referencial y a partir de ella se eligen o definen arbitrariamente los intervalos para obtener los demás

sonidos. A los sonidos obtenidos se les da el nombre de "notas musicales", siendo la referencial la "nota clave". En nuestra cultura occidental y prácticamente en todo el mundo se utiliza actualmente la nueva escala dodecafónica (siete tonos y cinco semitonos) que, aunque todavía presenta ligeros desacuerdos, se define de la siguiente manera:

1- Se elige la frecuencia base o referencial de  $440 \text{ Hz}$  a la que se le da el nombre de A (que aproximadamente corresponde a la nota LA de la vieja escala).

2- A partir de ella salen los demás tonos y semitonos, ascendentes y descendentes, mediante el intervalo normalizado  $\sqrt[12]{2}$ ; esto significa que las frecuencias temporales ascendentes (por encima de A) se encuentran multiplicando la frecuencia inmediatamente anterior por  $\sqrt[12]{2}$ ; igualmente, las frecuencias descendentes (por debajo de A) se encuentran dividiendo la frecuencia inmediatamente posterior para  $\sqrt[12]{2}$ .

El porqué del intervalo  $\sqrt[12]{2}$  es arbitrario y convencional y significa que: a) la escala comprende doce sonidos, b) la frecuencia de la "octava" de un sonido (aunque debería llamarse "treceava") es exactamente el doble que el de la escala anterior. A esta escala se le conoce con el nombre de "escala cromática" o de "igual temperamento". Los nombres y frecuencias de las notas musicales de esta escala y su relación aproximada con los de la vieja escala diatónica se muestran en la tabla 2.2.7.1.

Al combinar dos o más notas se superponen sus respectivos sonidos, o más exactamente sus ondas y por lo mismo sus frecuencias, produciendo un sonido compuesto llamado "acor-

de" que puede resultar "consonante" o "disonante", según sea la relación de las frecuencias de los sonidos superpuestos. Entre las consonancias destacan los acordes mayores, los menores, las séptimas mayores, las séptimas menores, las disminuidas, etc. Sin embargo esto es subjetivo: hay quienes se sienten estimulados con ciertas disonancias y poco satisfechos con ciertas consonancias.

Es preciso destacar e insistir en que una escala musical es absolutamente arbitraria y convencional; claro que la más utilizada en el mundo actual es la dodecafónica basada en la nota A de 440 Hz, la cual se ha internacionalizado gracias al comercio internacional de instrumentos musicales.

<b>A</b>	<b>A#</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>C#</b>	<b>D</b>	<b>D#</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>F#</b>	<b>G</b>	<b>G#</b>
<b>LA</b>	<b>LA#</b>	<b>SI</b>	<b>DO</b>	<b>DO#</b>	<b>RE</b>	<b>RE#</b>	<b>MI</b>	<b>FA</b>	<b>FA#</b>	<b>SOL</b>	<b>SOL#</b>
440,0	466,2	493,9	523,3	554,4	587,3	622,3	659,3	698,5	740,0	784,0	830,6
<b>A</b>	<b>A#</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>C#</b>	<b>D</b>	<b>D#</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>F#</b>	<b>G</b>	<b>G#</b>
<b>LA</b>	<b>LA#</b>	<b>SI</b>	<b>DO</b>	<b>DO#</b>	<b>RE</b>	<b>RE#</b>	<b>MI</b>	<b>FA</b>	<b>FA#</b>	<b>SOL</b>	<b>SOL#</b>
880,0	932,3	987,8	1046,5	1108,7	1174,7	1244,5	1318,5	1396,9	1480,0	1568,0	1661,2

**T a b l a 2 . 2 . 7 . 1**



## LISTADO DE ANIMACIONES

### **a) Conceptuales:**

OO227C1

OO227C2

OO227C3

### **b) Ejercitativas:**

OO227E1

OO227E2

OO227E3

### **c) Lúdica:**


OO227L1

## ANIMACIÓN DE MUESTRA

Modellus - C:\MODELLUS\ACUSTICA\00227E1.mdl

File Edit Case Window Help

Animation 1

Cases: 

Control

t = 150.00

0 150

Options...

### EJERCICIO DE ESCALAS MUSICALES

Para crear una escala musical se dan las dos siguientes condiciones:

- 1) la frecuencia referencial es 500 Hz y corresponde a la quinta nota.
- 2) los intervalos de frecuencia son "9raíz(3)", por lo que la escala tiene nueve notas musicales.


Determine las frecuencias de las nueve notas de dicha escala.

De acuerdo al intervalo que nos dan son nueve notas y la quinta nota es la referencial cuya frecuencia es 500 Hz, entonces la tabla de la escala musical nos queda de la siguiente manera:

A	B	C	D	E	F	G	H	I
306,8	346,7	391,7	442,5	500,0	564,9	638,3	721,1	814,7

y en las condiciones también se nos indica que la "décima" nota musical tiene frecuencia triple a la de la "primera" nota musical y en la siguiente tabla constataremos lo dicho:

A	B	C	D	E	F	G	H	I
920,5	1040,0	1175,1	1327,6	1500,0	1694,7	1914,8	2163,4	2444,2



Resuelva en su cuaderno de ejercicios el problema propuesto y luego pulse "Comenzar" para comparar respuestas...

Inicio

TESIS-ANGÉLICA

TESIS [Modo de comp...

Modellus - C:\MODEL...

Mi PC

23:49

## MODELO MATEMÁTICO

$$L1 = 30$$

$$L2 = -1000$$

$$L3 = 120$$

$$L4 = -1000$$

$$L5 = 50$$

$$L6 = -1000$$

$$L7 = 120$$

$$L8 = -1000$$

x

$$x = 5*t$$

$$\text{if}(t > 1)\text{then}(L8 = -40)$$

$$\text{if}(t > 15)\text{then}(x = 60)$$

y

$$y = 5*t - 200$$

$$\text{if}(t > 40)\text{then}(L6 = 140)$$

$$\text{if}(t > 70)\text{then}(y = 180)$$

z

$$z = 5*t-300$$

$$\text{if}(t>80)\text{then}(L4 = -180)$$

$$\text{if}(t>100)\text{then}(z = 210)$$

a

$$a = 5*t-550$$

$$\text{if}(t>120)\text{then}(L2 = 140)$$

$$\text{if}(t>145)\text{then}(a = 180)$$

$$L9 = 150$$

$$L10 = 30$$

$$L11 = 10$$

$$L12 = 700$$

$$L13 = -240$$

$$L14 = 30$$

$$L15 = 100$$

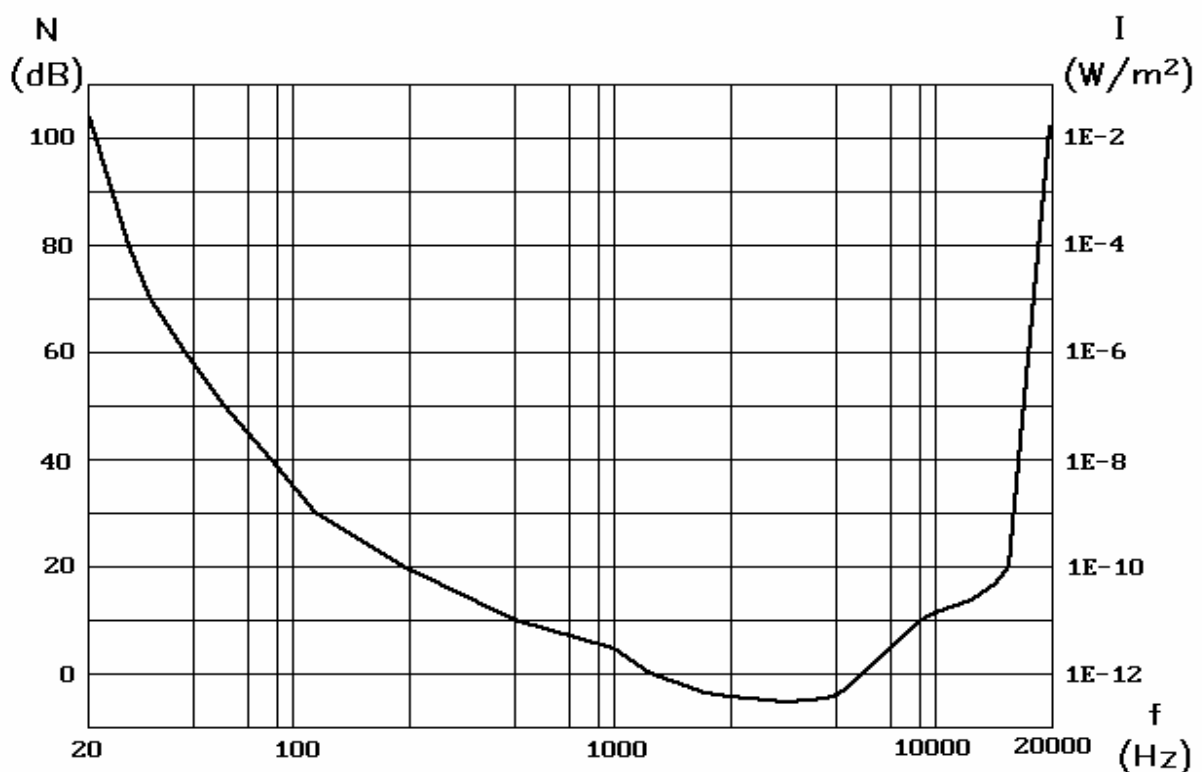
$$L16 = -140$$

$$L17 = 50$$

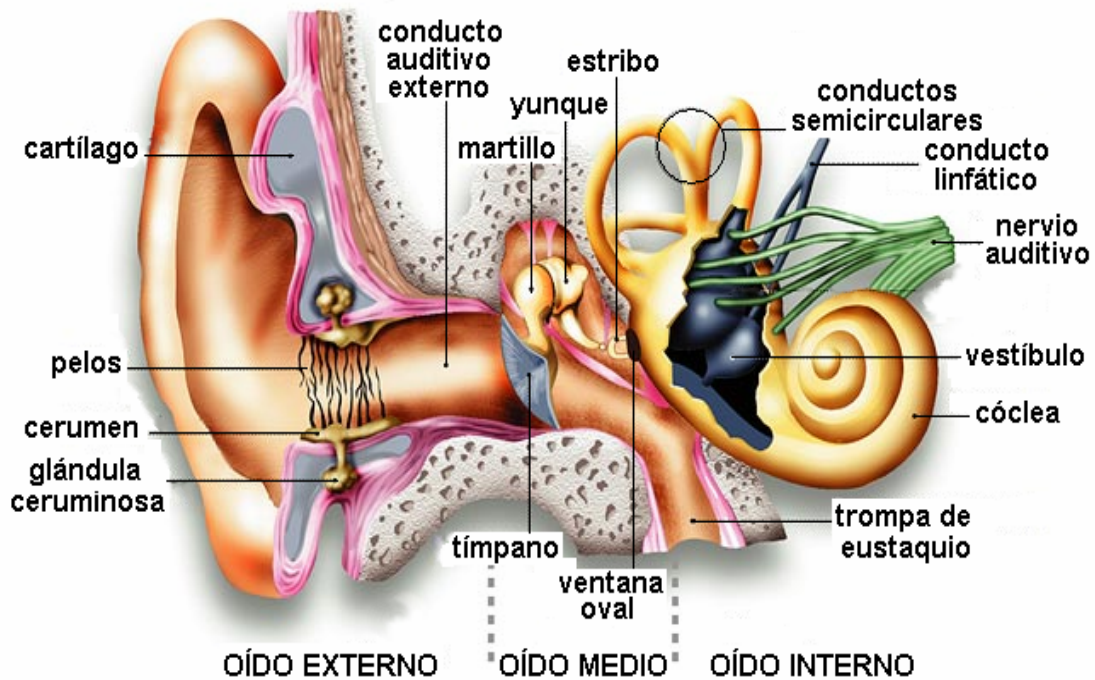
$$L18 = 150$$

## 2.2.8 EL OÍDO HUMANO

El oído es el órgano humano encargado de convertir las ondas de presión en sensaciones acústicas. El campo de frecuencias varía, para el oído normal medio, entre  $20 \text{ Hz}$  y  $20\,000 \text{ Hz}$  y la sensibilidad depende de la frecuencia, como se muestra en la figura 2.2.8.1. La sensibilidad del oído es realmente admirable: a un nivel sonoro de  $0 \text{ dB}$  corresponde una amplitud de la onda de presión de apenas  $3E-5 \text{ Pa}$ , la cual debe superponerse a la presión atmosférica local, que para el caso de Cuenca es de alrededor de  $75\,000 \text{ Pa}$ , y aún así, el oído percibe dicha insignificante presión adicional.



F i g u r a 2 . 2 . 8 . 1



F i g u r a 2 . 2 . 8 . 2

La presión antes indicada corresponde a una amplitud de desplazamiento tan pequeña que no supera las dimensiones moleculares de la materia; por ello no es exagerado decir que el oído humano casi puede escuchar el ruido producido por la agitación molecular de tipo térmico.

La figura 2.2.8.2 muestra las partes de un oído humano; entre ellas destacan: el canal auditivo, el tímpano, los huesecillos del oído medio, las ventanas oval y redonda, los conductos semicirculares, el vestíbulo, la trompa de Eustaquio, la cóclea, el nervio coclear y el nervio vestibular. Juega un papel muy importante la cóclea, figura 2.2.8.3, que comprende los canales coclear, vestibular y timpánico, las membranas basilar y de Reissner, el órgano de Corti y el nervio auditivo. El canal coclear está lleno de un líquido llamado endolinfa. A lo largo de la membrana basilar existen unas 30 000 terminales nerviosas.

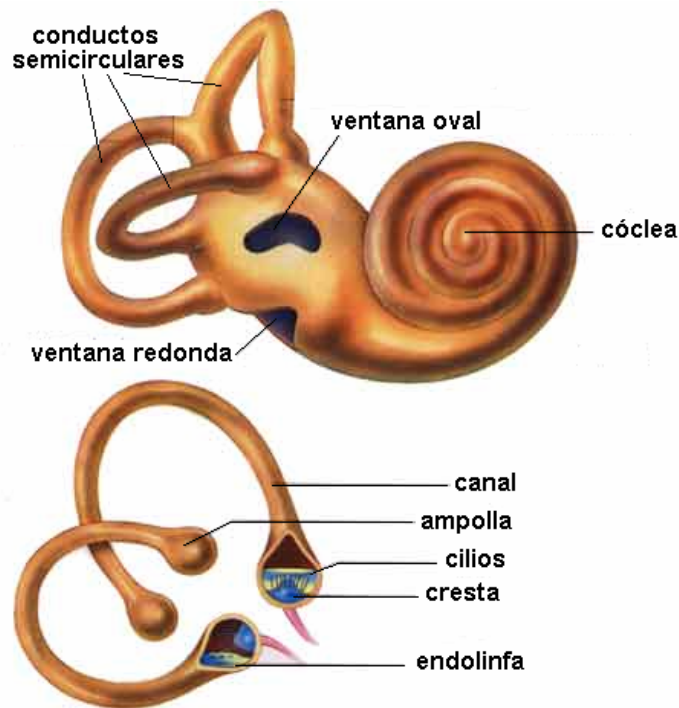


Figura 2.2.8.3

El aparato vestibular, figura 2.2.8.4, constituido por los conductos semicirculares ubicados en planos normales, es el encargado de controlar el equilibrio, movimientos de la cabeza y dirección de la mirada.

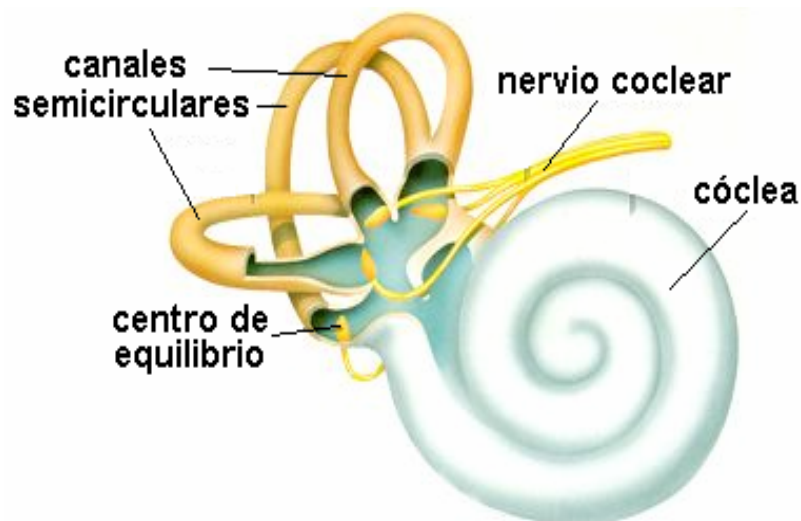


Figura 2.2.8.4

El oído es, en definitiva, un dispositivo sensible a las variaciones de presión, y su diseño anatómico es tal que permite en su interior realizar al menos tres amplificaciones de la onda incidente.



## LISTADO DE ANIMACIONES

### **a) Conceptuales:**

OO228C1

OO228C2

OO228C3

### **b) Ejercitativas:**

OO228E1

OO228E2

### **c) Lúdica:**

OO228L1

## ANIMACIÓN DE MUESTRA

Modellus - C:\MODELLUS\ACUSTICA\00228C3.mdl

File Edit Case Window Help

Cases: [ ]

Control

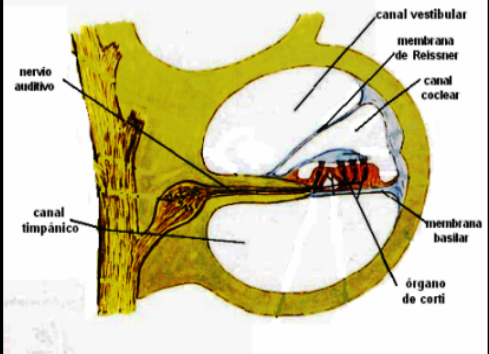
t = 55.00

0 55

Options...

### EL OÍDO HUMANO

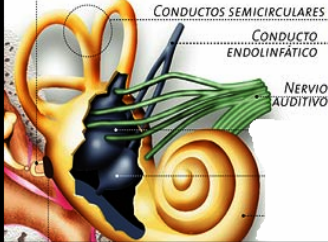
Un papel muy importante juega la cóclea, que comprende de algunas partes importantes como vemos en el siguiente gráfico. El canal coclear está lleno de un líquido llamado endolinfa. A lo largo de de la membrana basilar existen unas 30000 terminales nerviosas.



nervio auditivo  
canal vestibular  
membrana de Reissner  
canal coclear  
membrana basilar  
órgano de corti  
canal timpánico

**Pulse "Comenzar" para observar y estudiar las demás partes del oído...**

El parato vestibular, constituido por los conductos semicirculares, es el encargado de controlar el equilibrio, movimiento de la cabeza y dirección de la mirada.



CONDUCTOS SEMICIRCULARES  
CONDUCTO ENDOLINFÁTICO  
NERVIO AUDITIVO

En conclusión, el oído es un dispositivo sensible a las variaciones de presión, y su diseño anatómico es tal que permite en su interior realizar al menos tres amplificaciones de la onda incidente.

Inicio

TESIS-ANGÉLICA

TESIS [Modo de comp...]

Modellus - C:\MODEL...

MI PC

23:42

## MODELO MATEMÁTICO

$$L1 = 280$$

$$L2 = 10$$

$$L3 = 120$$

$$L4 = 80$$

$$L5 = 950$$

$$L6 = 70$$

$$L7 = 1000$$

$$\text{if}(t > 50) \text{then}(L7 = -750)$$

$$L8 = 95$$

$$L9 = 1000$$

$$\text{if}(t > 40) \text{then}(L9 = -200)$$

$$L10 = 100$$

$$L11 = -710$$

$$L12 = 145$$

$$L13 = 1000$$

$$\text{if}(t > 20) \text{then}(L13 = -220)$$

$$L14 = 150$$

$$L15 = -710$$

L16 = 30

L17 = -600

L18 = 1000

L19 = 1000

if(t>25)then(L19 = -30)

if(t>2)then(L18 = -20)

## 2.2.9 MECANISMO DE LA AUDICIÓN

El oído es en esencia un dispositivo sensible a la presión y aprecia específicamente fluctuaciones sistemáticas de la presión del aire. El canal auditivo resuena ligeramente para frecuencias temporales comprendidas entre 3 000 y 4 000 Hz y la presión en el tímpano es quizá el doble que en el exterior. Este efecto de resonancia explica que la mayor sensibilidad del oído corresponda a frecuencias comprendidas en este intervalo. Las fluctuaciones de presión en el tímpano son todavía muy pequeñas y es necesaria una amplificación adicional. Los huesecillos del oído medio, considerados como un sistema de palancas, tienen una ventaja mecánica comprendida entre dos y tres (cociente entre la fuerza resistente y la fuerza potente). Los músculos que los unen a las paredes del oído medio actúan como una especie de "control automático de volumen"; cuando se produce un sonido fuerte los diversos músculos tuercen ligeramente los huesos de modo que gire el estribo y se separe de la ventana oval; además la acción muscular hace más rígido el propio tímpano. Todas estas acciones sirven para proteger al oído de posibles daños; por desgracia hay un retardo en esta acción protectora y todo sonido fuerte muy rápido puede causar lesión al oído medio.

La amplificación principal tiene lugar en el oído medio y se basa en el hecho de que la ventana oval es de 20 a 30 veces más pequeña que el tímpano, figura 2.2.9.1. La energía de la vibración del aire exterior al tímpano es comunicada por los huesecillos a la perilinfa situada dentro del canal vestibular. La fuerza que mueve al tímpano queda multiplicada por la ventaja mecánica de los huesecillos convirtiéndose en una fuerza dos o

tres veces mayor, que es la que ejerce el estribo sobre la ventana oval y, en consecuencia, la presión detrás de la ventana oval es entre cuarenta y noventa veces mayor que la presión en el tímpano. Con la multiplicación doble producida por el canal auditivo, ello significa que los sonidos de frecuencias comprendidas entre 3 000 y 4 000 Hz pueden ser amplificadas hasta 180 veces en casos favorables; ésta es la amplificación de presión. La amplificación de intensidad es el cuadrado de ésta, o sea unas 32 000 veces. La razón de las áreas del tímpano y de la ventana oval proporcionan también la esencial igualación de impedancias sin la cual la elevada amplificación sería infructuosa.

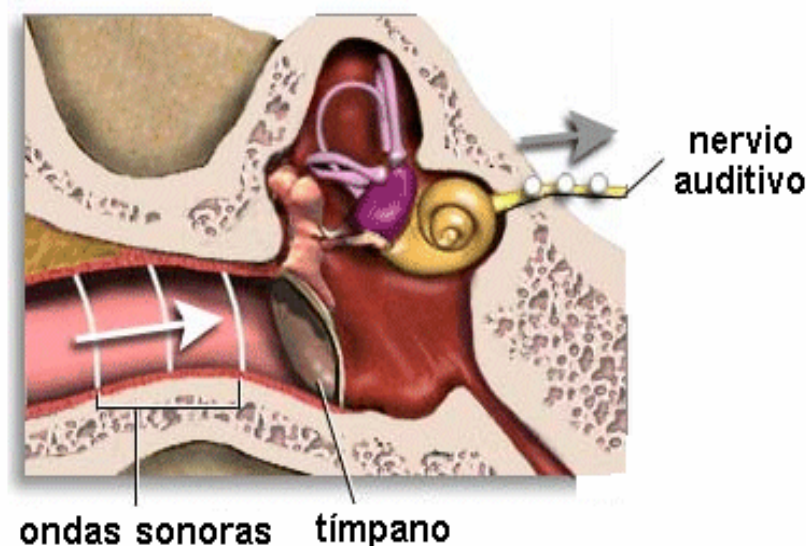


Figura 2.2.9.1

Dentro de la cóclea, la onda de presión inicial en el aire se ha convertido en una onda de presión en un líquido, pero la cóclea es tan estrecha que la viscosidad de la perilinfa desempeña el papel principal y la sencilla teoría del movimiento ondulatorio estudiado resulta inapropiada. Lo que realmente sucede aquí es que la onda de presión produce en la membrana basilar una ola análoga a una onda. Esta membrana es ligera y es-

tá sometida a una tensión considerable cerca de la ventana oval, pero se hace cada vez más gruesa y menos tirante cuando se avanza a lo largo de los canales y se vuelve a la ventana redonda. El estudio general de propagación de ondas en hilos nos conducirá a esperar que las porciones ligeras y tirantes respondiesen mejor a las vibraciones de alta frecuencia; esto es de hecho lo que sucede y la región particular de la membrana basilar que es estimulada depende de la frecuencia de la onda sonora inicial. Éste es el fundamento de la distinción de frecuencias por el oído.

La perturbación de la membrana basilar toma la forma de una joroba en una estrecha región para cada frecuencia componente de un sonido complejo y esto produce deformación cortante en el órgano de Corti el cual convierte la energía mecánica en eléctrica y envía la información al cerebro a lo largo de los nervios auditivos.

El órgano de Corti es una estructura gelatinosa de unas 7 500 partes con acción recíproca; contiene una masa de fibras, fijas por ambos extremos, cuyas complejas deformaciones elásticas estimulan las terminaciones de los nervios auditivos. Los mensajes eléctricos codificados enviados a la corteza auditiva son traducidos allí de un modo desconocido y convertidos en la sensación de audición. El sistema de comunicación entre el órgano de Corti y la corteza auditiva es de doble vía y el cerebro puede suprimir estímulos no deseados. De este modo los obreros que trabajan en lugares particularmente ruidosos alcanzan pronto un estado en el cual los ruidos que les rodean no les llegan en absoluto al cerebro.

El hombre tiene dos oídos de modo que cuando una onda sonora le llega, por lo general no le afecta por igual a los dos; si

el sonido viene lateralmente, las ondas que llegan a sus oídos diferirán en tres aspectos: diferirán en la sensación de sonoridad que producen, ya que uno de sus oídos está parcialmente resguardado; diferirán en fase, puesto que ambas ondas han recorrido distancias distintas; diferirán en el instante de llegada de la onda, debido a la diferencia de recorridos. Dependiendo de un modo complejo de la frecuencia temporal del sonido, el cerebro interpreta estas diferencias de tal modo que el hombre puede localizar muy bien el foco sonoro; los ciegos utilizan esta facultad innata con gran resultado, y cuando se produce sordera de un oído, se pierde casi por completo la facultad de localizar la fuente de los sonidos.



## LISTADO DE ANIMACIONES

### **a) Conceptuales:**

OO229C1

OO229C2

OO229C3

### **b) Ejercitativas:**

OO229E1

OO229E2

### **c) Lúdica:**

OO229L1

## ANIMACIÓN DE MUESTRA

Modellus - C:\MODELLUS\ACUSTICA\00229C2.mdl

File Edit Case Window Help

Cases: [icon]

Control

t = 85.00

0 85

[play] [stop] [back] [forward] Options...

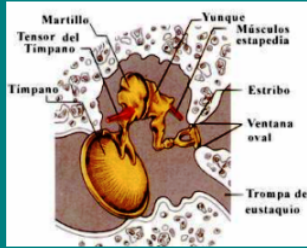

### MECANISMO DE LA AUDICIÓN

La amplificación tiene lugar en el oído medio y esto se debe a que la ventana oval es de 20 a 30 veces más pequeña que el tímpano, como se observa en la figura. La energía de la vibración del aire exterior al tímpano es comunicada por los huesecillos a la perilinfa situada dentro del canal vestibular.

La fuerza que mueve el tímpano queda multiplicada por la ventaja mecánica de los huesecillos convirtiéndose en una fuerza dos o tres veces mayor, que es la que ejerce el estribo sobre la ventana oval.

La presión detrás de la ventana oval es entre cuarenta y noventa veces mayor que la presión en el tímpano.

lo que significa que los sonidos de frecuencias comprendidas entre 3000 y 4000 Hz pueden ser amplificadas hasta 180 veces en casos favorables y a esto se le conoce como la amplificación de presión. En cambio la amplificación de la intensidad es el cuadrado de ésta, o sea unas 32 000 veces.

Pulse  
"Comenzar"  
para analizar la  
amplificación  
del sonido...

Inicio

TESIS-ANGÉLICA

TESIS [Modo de comp...

Modellus - C:\MODEL...

Mi PC

23:52

## MODELO MATEMÁTICO

$$L1 = 120$$

$$L2 = -1000$$

$$\text{if}(t>60)\text{then}(L2 = 40+30*\text{Sin}(25*t))$$

$$L3 = 60$$

$$L4 = -1000$$

$$\text{if}(t>50)\text{then}(L4 = 40+30*\text{Sin}(25*t))$$

$$L5 = 120$$

$$L6 = -1000$$

$$\text{if}(t>35)\text{then}(L6 = 40+30*\text{Sin}(25*t))$$

$$L7 = 160$$

$$L8 = -1000$$

$$\text{if}(t>2)\text{then}(L8 = 40+30*\text{Sin}(25*t))$$

$$L9 = 15$$

$$L10 = 790$$

$$L11 = 60$$

$$L12 = 200$$

$$L13 = 80$$

$$L14 = -80$$

$$L15 = -190$$

$$L16 = 10$$

$$L17 = 650$$

$$L18 = -1000$$

$$\text{if}(t > 18) \text{then}(L18 = 340 + 20 * \text{Sin}(18 * t))$$

## CONCLUSIONES

- ✓ El manejo de herramientas prácticas y sencillas es muy didáctico para la educación.
- ✓ Se puede luchar en contra del desinterés por parte de los estudiantes para con la física de manera divertida y didáctica.
- ✓ El programa Modellus ayuda a desarrollar destrezas mentales, motrices y sobre todo la creatividad.
- ✓ El programa Modellus permite a maestros y estudiantes facilitar la tarea educativa.
- ✓ Se crea una inter-disciplina entre la matemática, la física y la informática.
- ✓ Con el uso de este programa se consigue que el estudiante sea un sujeto activo en la cimentación de su conocimiento.
- ✓ La utilización de programas informáticos para el proceso educativo exige la actualización permanente tanto de los docentes y como de los alumnos.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Es necesario que el usuario antes de utilizar este programa, tenga un conocimiento previo sobre el programa Modellus.
- ✓ Es importante contar con la presencia del profesor para despejar cualquier duda o pregunta que presenten los estudiantes.
- ✓ Se recomienda al usuario leer con atención y correctamente las instrucciones antes de ejecutar la orden.
- ✓ Para la creación de una animación primero se la realizará en su cuaderno de trabajo y a continuación se la hará en el computador.
- ✓ Es fundamental entender bien el significado de las palabras clave, ya que serán muy utilizadas en el transcurso de la obra.

## BIBLIOGRAFÍA

AVECILLAS JARA, Alberto Santiago, *Oscilaciones y Ondas*, Colección de obras científico – didácticas, Cuenca-Ecuador.

PÉREZ MIÑANA, José, *Compendio práctico de Acústica*.

ESCUADERO MONTOYA, Francisco, *Electroacústica Aplicada*.

ROJO, Alonso, *Mecánica y Termodinámica*, Addison-Wesley, Iberoamericana, Estados Unidos, 1986.

BAQUERO, R. (2002). Del experimento escolar a la experiencia educativa. La transmisión educativa desde una perspectiva psicológica situacional. *Perfiles Educativos*, 24 (96-97), pp. 57-75.

CLAUS, J. y OGDEN, C. (1999). An empowering, transformative approach to service. En J. Claus y C. Ogden (Eds.), *Service learning for youth empowerment and social change* (pp. 69-94). Nueva York: Peter Lang.

DÍAZ B., F. y HERNÁNDEZ R., G. (1999). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. McGraw Hill, México.

## DIRECCIONES EN INTERNET

[www.monografias.com](http://www.monografias.com)

[www.laondaeducativa.com](http://www.laondaeducativa.com)

[www.sistemanervoso.com/neurofisiología](http://www.sistemanervoso.com/neurofisiología)

[www.pediatraldia.cl/anat\\_fun\\_oido.htm](http://www.pediatraldia.cl/anat_fun_oido.htm)

[http://redie.uabc.mx.vol\\_5,Núm\\_2\\_Cognicion\\_situada\\_y\\_estrategias\\_para\\_el\\_aprendizaje\\_significativo.mht](http://redie.uabc.mx.vol_5,Núm_2_Cognicion_situada_y_estrategias_para_el_aprendizaje_significativo.mht)