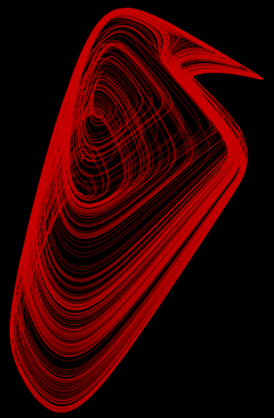
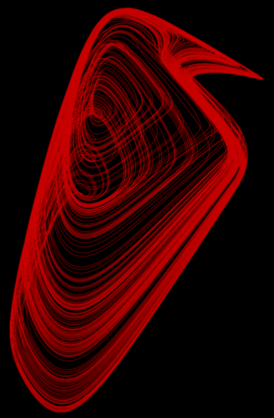


Fisica y Musica

Gabriel Mindlin
gabo@df.uba.ar, gabo.mindlin@gmail.com
www.lsd.df.uba.ar

Vos, usted, Gabriel Gabo o profe.



Fisica y Musica

Gabriel Mindlin
gabo@df.uba.ar, gabo.mindlin@gmail.com
www.lsd.df.uba.ar

Vos, usted, Gabriel Gabo o profe.

Auxiliares

JTP. Fede Sevlever
Ayudante. Lean Fernandez

Objetivos:

Estudiar el fenomeno musical desde la perspectiva de la fisica
(en un sentido amplio: se mete por ahi la neurociencia computacional)

Generar un espacio academico para que puedan explorar un tema que
queremos mucho, desde la perspectiva de lo que aprendemos en la carrera

Objetivos:

Estudiar el fenomeno musical desde la perspectiva de la fisica
(en un sentido amplio: se mete por ahi la neurociencia computacional)

Generar un espacio academico para que puedan explorar un tema que queremos mucho, desde la perspectiva de lo que aprendemos en la carrera

Regimen de aprobacion:

1. Cursada: entrega individual de la carpeta de ejercicios resueltos
2. Final: presentacion de un proyecto original, en equipo.

Clase 1	Repaso de la ecuacion de ondas, repaso de la descomposicion modal. La octava y la quinta como intervalos madre para la parcelacion del espectro acustico Escala Pentatonica
Clase 2	Generando una parcelacion mas fina espectral: las escalas bien formadas. La escala de doce notas. La escala bien temperada. Abandonando el esquema Pitagorico. La serie armonica. Disonancias.
Clase 3	El origen de la riqueza timbrica en las fuentes sonoras. La cuerda frotada. Modelo dinamico para la cuerda frotada. Coeficientes de roce estaticos y dinamicos. Resinas. Repaso de la descomposicion de Fourier. Condiciones de borde realistas y sus consecuencias timbricas.

Clase 4	Cuerdas pulsadas. Espectro de las oscilaciones en funcion de la geometria inicial. Descomposicion de la cuerda golpeada. Comparaciones timbricas. Modos de Helmholtz. Teoria lineal de fuente y filtro. Convolucion.
Clase 5	El origen de la notacion musical. Reconstruyendo la musica del siglo 14 BC, la musica del mundo griego. Notacion tibetana, notacion occidental. Tecnologias analogicas y digitales para el registro de lo sonoro. Espectrogramas. El origen dinamico de los contenidos espectrales. Notacion del canto armonico y otras expresiones vocales.
Clase 6	Amplificacion del sonido de una fuente. Las tablas en violines y guitarras. Elasticidad, y dinamica espacio temporal de placas elasticas delgadas. Los violines de Cremona.
Clase 7	Resonadores. Repaso de las ecuaciones de la acustica lineal. Conservacion del momento, la masa, y ecuaciones de estado para el regimen adiabatico. Las ecuaciones aproximadas para las distintas partes de un resonador (modelos “agrupados”). Modelos dinamicos para la guitarra y el violin. Modelos de fuente filtro para instrumentos de cuerda.

Clase 8	Ritmo. Musica y baile. Acople sensorimotor. Marco evolutivo, especies capaces de llevar un ritmo. Osciladores neuronales en la corteza. Subarmonicos en osciladores neuronales no lineales forzados. Pulso y metrica en el contexto de acoples dinamicos. Sincronizacion anticipada. Cuantificaciones espectrales del ritmo.
Clase 9	Acople fuente-filtro en instrumentos de bronce. La trompeta. Dinamica labial (extrayendo dinamica a partir de peliculas). Bifurcaciones en sistemas con retrasos temporales. Los armonicos en la trompeta. Un sistema abierto-cerrado, no cilindrico. Las valvulas en la trompeta. Dinamica del clarinete.
Clase 10	Acople fuente-filtro, parte 2. Las flautas. Inestabilidades de Rayleigh, acopladas a un filtro. Elaboracion de un modelo agrupado. Ecuaciones para la elaboracion de un modelo agrupado; sintesis.
Clase 11	Radiacion y entorno. Distinto tipo de fuentes sonoras. Radiacion de la esfera pulsante. Radiacion del dipolo. Musica y entornos acusticos. Calculo de la reverberacion.

Clase 12	Musica y cerebro. Arquitectura neuronal del sistema auditico. La coclea y el procesamiento no linear de la informacion acustica. Modelos de osciladores neuronales acoplados en las rutas auditivas. Las consecuencias dinamicas de la arquitectura del sistema auditivo en terminos de la tonalidad. Genetica y/o cultura?
Clase 13	Guitarra electrica. El nacimiento del sonido “fuerte”. Campos magneticos en presencia de cuerdas. La estructura del pickup. Contenido espectral de la señal en un pick up. La cuerda horizontal, la cuerda vertical. Las ecuaciones para la arquitectura de un pick up, y la de dos pick ups opuestos. El sonido de la Les Paul, el de la strat.
Clase 14	La voz humana. El canto de las aves.
Clase 15	Musica en la naturaleza? La naturaleza en la musica. El canto de las aves en Beethoven, Bartok, Messiaen. Cuantificando musicalidad. Hay musica en la naturaleza? Y en el habla humana?

Explicaciones en las practicas

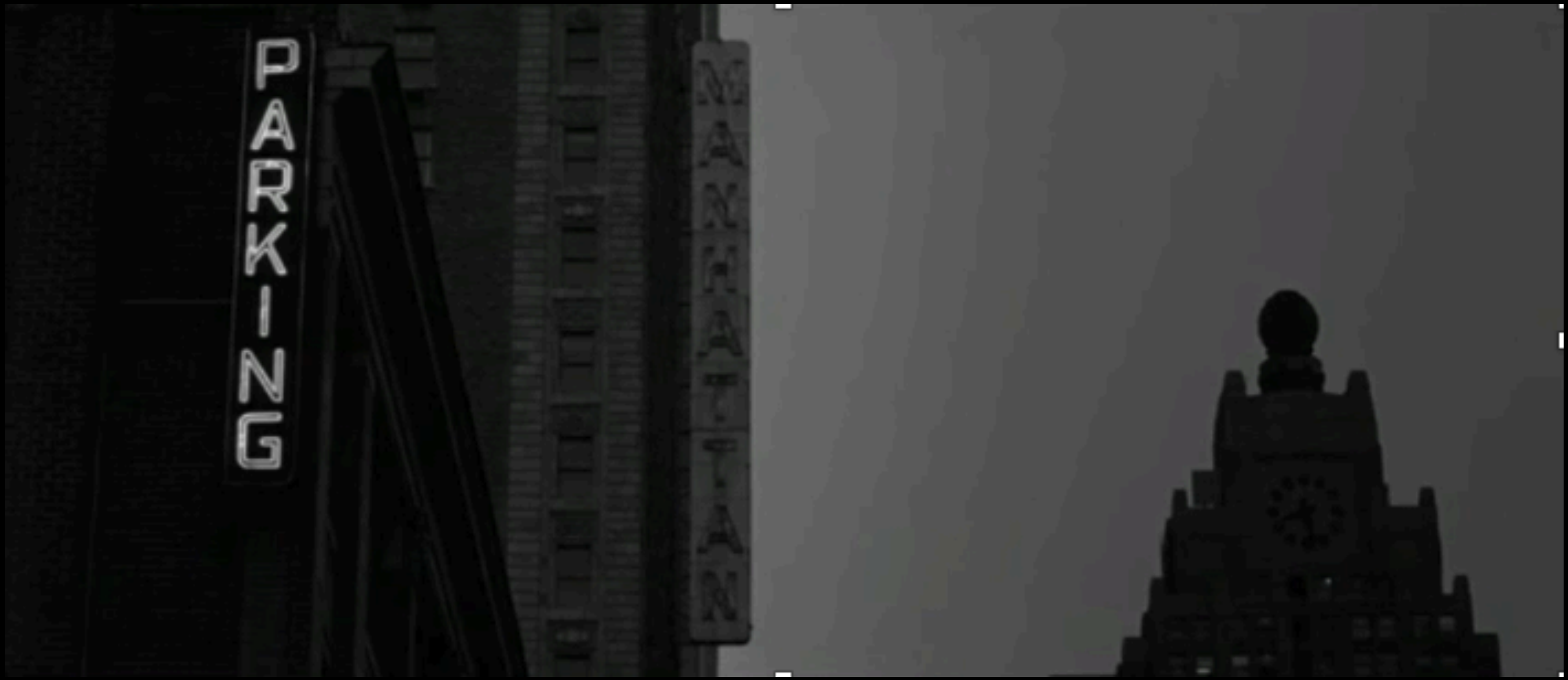
1. Software para el analisis de sonido, Praat
2. Integracion de ecuaciones diferenciales ordinarias, Pyhton
3. Teoria de bifurcaciones, nacimiento de oscilaciones en sistemas no lineales
4. De las peliculas a los espacios de fase.

Invitados especiales

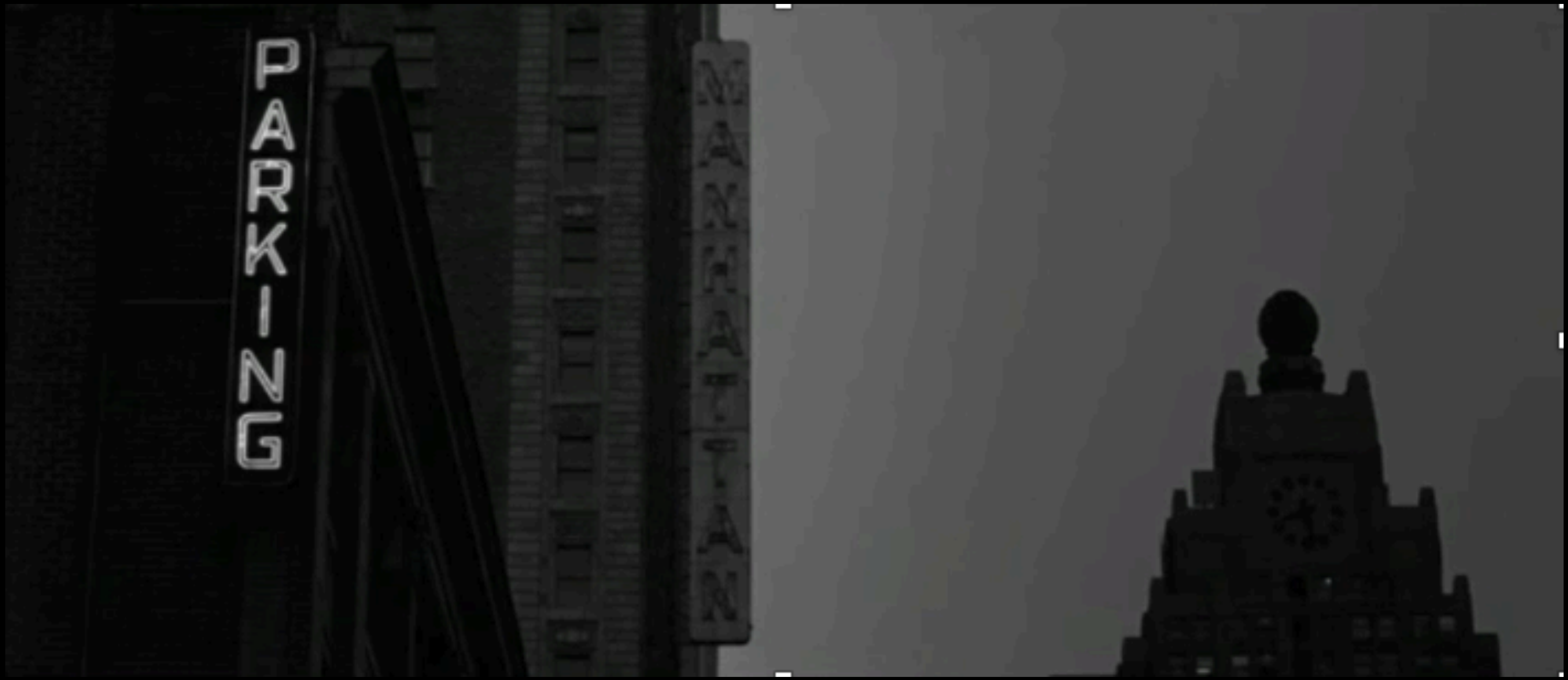
Hugo Dominguez

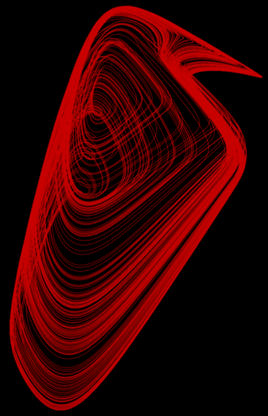
Jonatan Szer


SUBSCRIBE



Claro que es musica





Claro que es musica

Aunque estos primeros segundos, ya nos plantean un desafio.

Solemos hacer musica con notas, "discretizando el espectro"

“No es tan dificil: hay que entrar a tiempo
Y tocar la nota que va”

Maestro al que no mandare al frente

"No es tan dificil: hay que entrar a tiempo
Y tocar la nota que va"

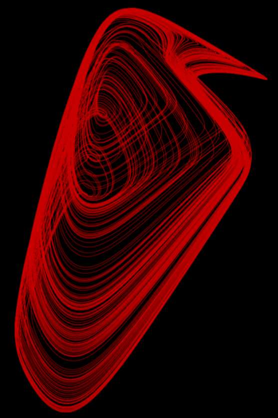
Maestro al que no mandare al frente

Pese a lo laconico, hay cosas muy interesante en la frase

1. la musica se desarrolla en dos variables discretizadas:

- discretizacion temporal
- discretizacion en el espacio de frecuencias

2. En el marco de una actividad coordinada



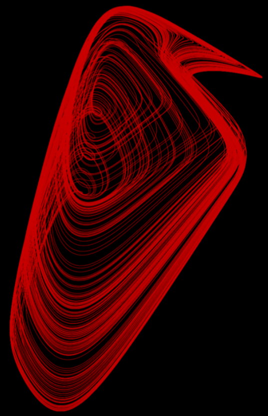
¿Por que usamos notas?
¿Cuantas notas hay?
¿Cuales son?
¿Hay razones fisicas para elegir unas y no otras?
¿Son elecciones arbitrarias?
¿Son elecciones esteticas? ¿Culturales?

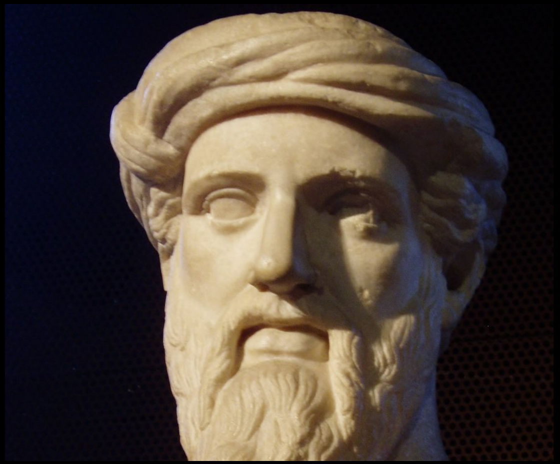
¿Por que se repite el patron de notas cada 12?
¿Por que blancas y negras?
¿Por que las negras agrupadas de a dos y tres?

Por que este modo extraño de modificar el instrumento para tocar un re?

Comencemos por el principio:

primera ley del mundo natural
expresada en lenguaje matematico



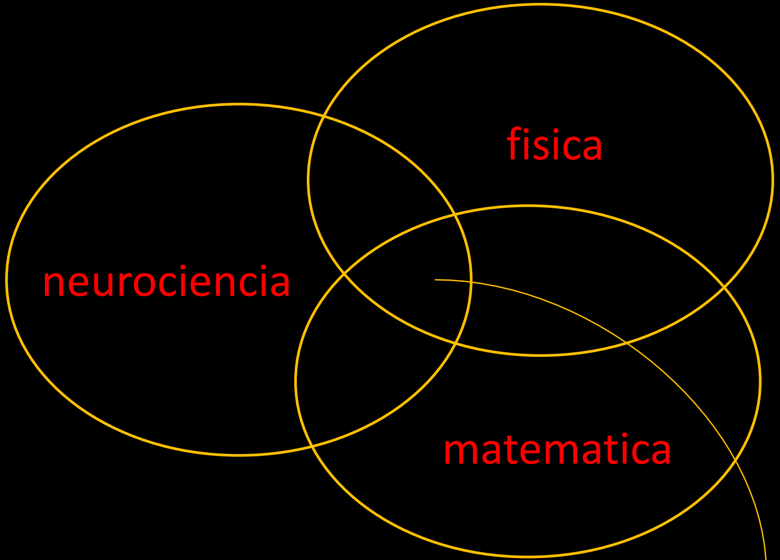


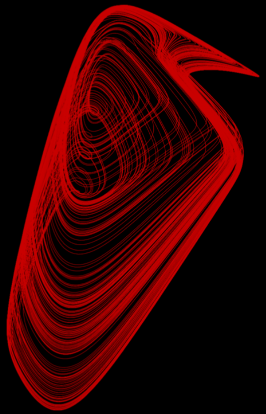
Pitagoras (570-490 AC)

L

L/2

Estas dos cuerdas, tocadas simultaneamente,
suenan bien al oido humano

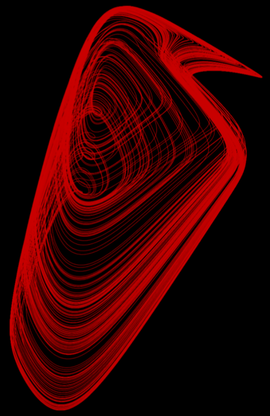


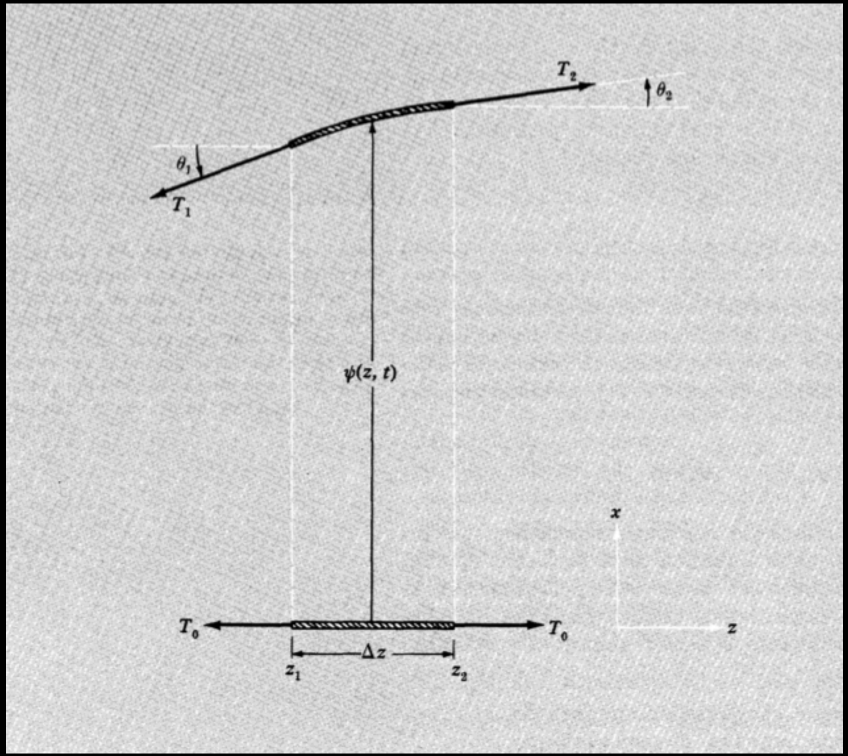


Estas dos cuerdas, tocadas simultaneamente, suenan bien

repaso

Para avanzar en la comprension del por que, vamos a repasar
La fisica detras de las oscilaciones de una cuerda.

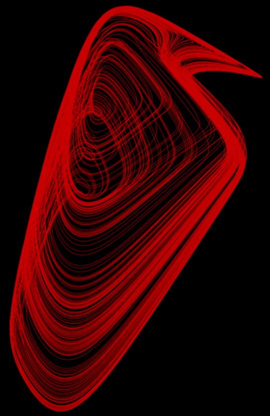


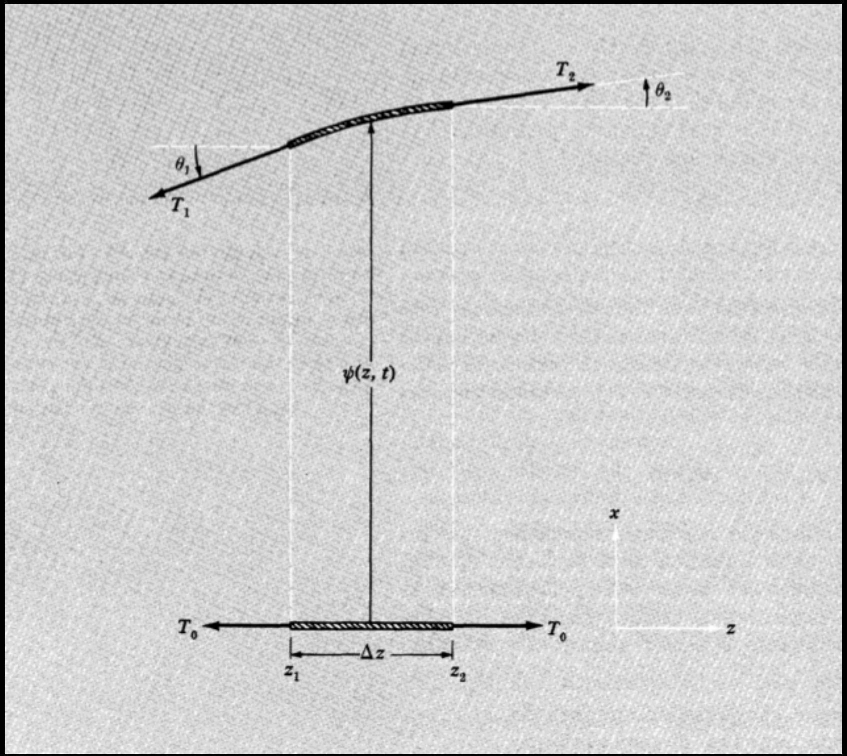


$$F_x(t) = T_2 \sin(\theta_2) - T_1 \sin(\theta_1)$$

repaso

Para avanzar en la comprension del por que, vamos a repasar
La fisica detras de las oscilaciones de una cuerda.





$$F_x(t) = T_2 \sin(\theta_2) - T_1 \sin(\theta_1)$$

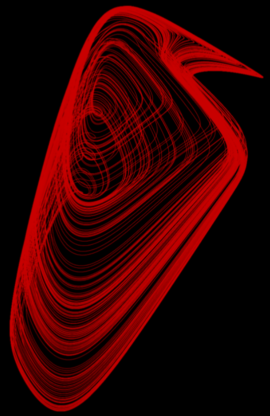
$$F_x(t) = T_2 \tan(\theta_2)\cos(\theta_2) - T_1 \tan(\theta_1) \cos(\theta_1)$$

$$= T_0 \tan(\theta_2) - T_0 \tan(\theta_1)$$

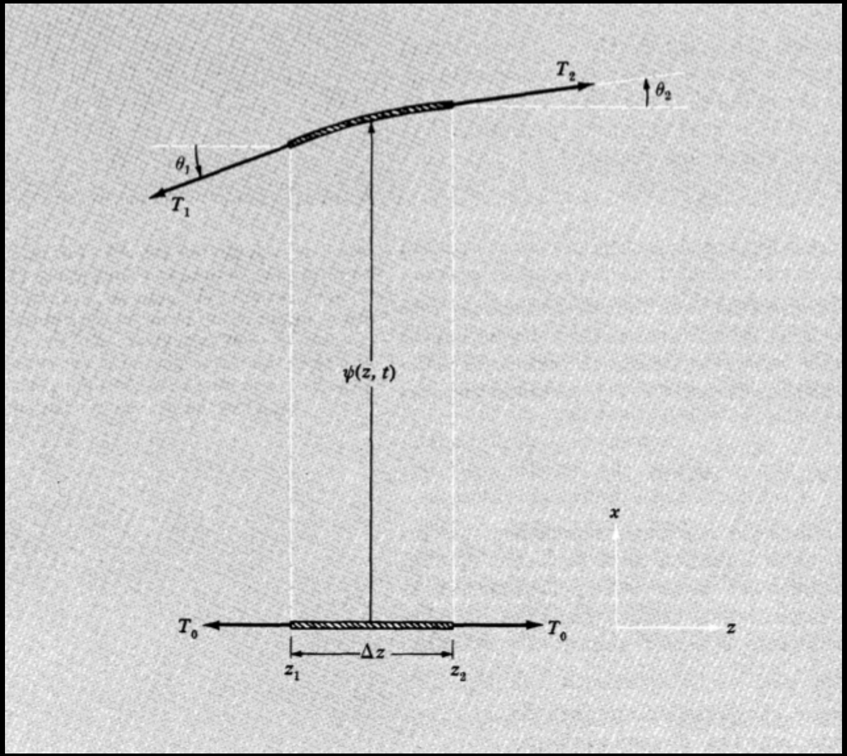
(por cuanto mas estirada la cuerda al
estar fuera del equilibrio:

$T_i = T_0/\cos(\theta_i)$)

repaso



Para avanzar en la comprension del por que, vamos a repasar
La fisica detras de las oscilaciones de una cuerda.



$$F_x(t) = T_2 \tan(\theta_2)\cos(\theta_2) - T_1 \tan(\theta_1)\cos(\theta_1)$$

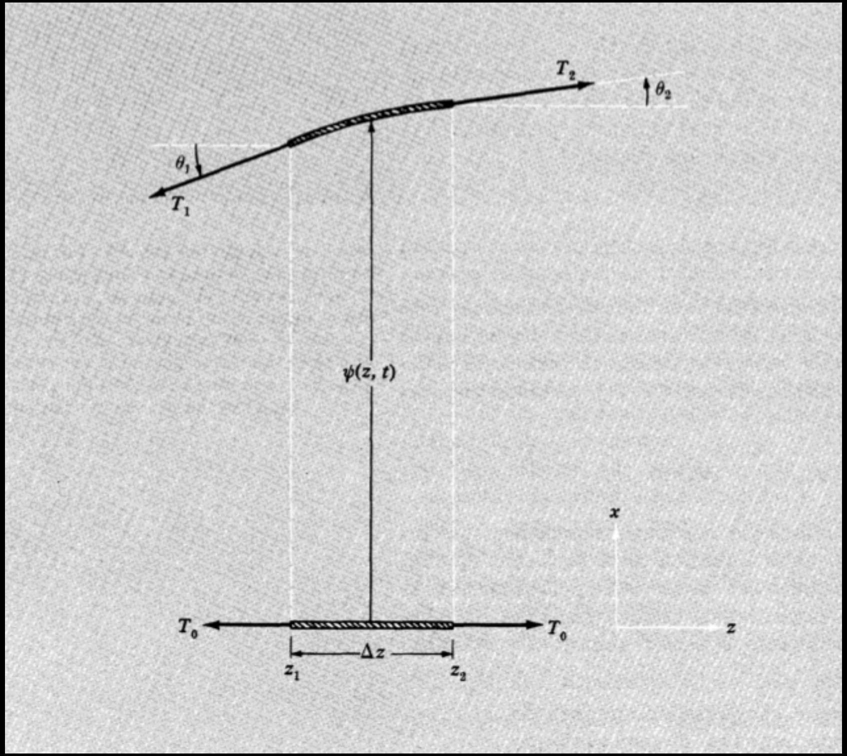
$$= T_0 \tan(\theta_2) - T_0 \tan(\theta_1)$$

$$= T_0 \left(\frac{\partial \psi}{\partial z}\right)_2 - T_0 \left(\frac{\partial \psi}{\partial z}\right)_1 \sim T_0 \Delta z \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$$

haciendo una expansion de Taylor

repaso

Para avanzar en la comprension del por que, vamos a repasar
La fisica detras de las oscilaciones de una cuerda.



$$F_x(t) = T_2 \tan(\theta_2)\cos(\theta_2) - T_1 \tan(\theta_1)\cos(\theta_1)$$

$$= T_0 \tan(\theta_2) - T_0 \tan(\theta_1)$$

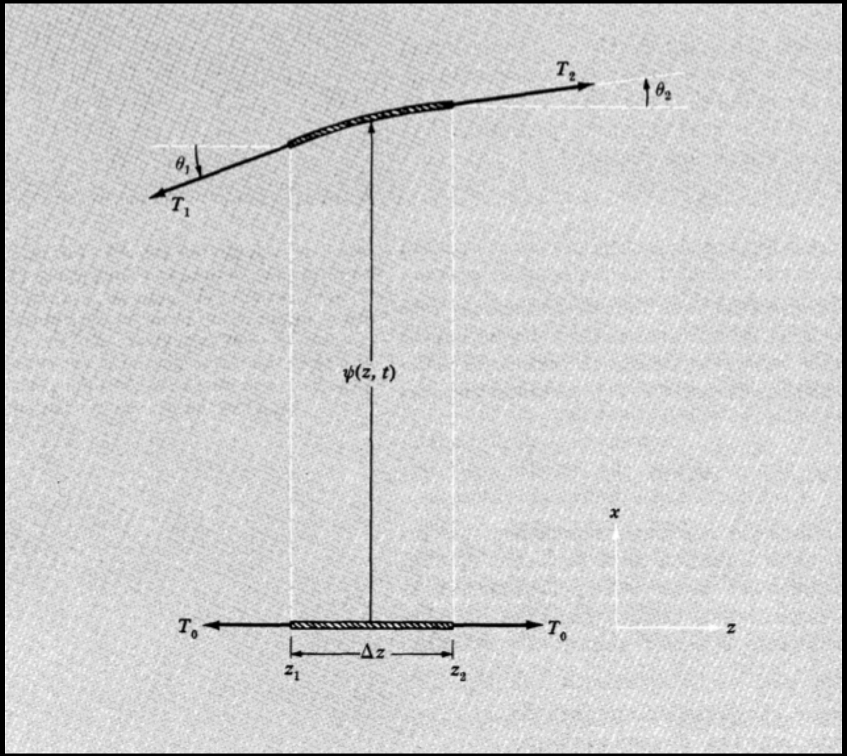
$$= T_0 \left(\frac{\partial\psi}{\partial z}\right)_2 - T_0 \left(\frac{\partial\psi}{\partial z}\right)_1 \sim T_0 \Delta z \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}$$

$$\rho_0 \Delta z \frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = T_0 \Delta z \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}$$

$$\boxed{\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = \frac{T_0}{\rho_0}\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}}$$

repaso

Para avanzar en la comprension del por que, vamos a repasar
La fisica detras de las oscilaciones de una cuerda.



$$F_x(t) = T_2 \tan(\theta_2)\cos(\theta_2) - T_1 \tan(\theta_1)\cos(\theta_1)$$

$$= T_0 \tan(\theta_2) - T_0 \tan(\theta_1)$$

$$= T_0 \left(\frac{\partial \psi}{\partial z}\right)_2 - T_0 \left(\frac{\partial \psi}{\partial z}\right)_1 \sim T_0 \Delta z \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$$

$$\rho_0 \Delta z \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = T_0 \Delta z \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \frac{T_0}{\rho_0} \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$$

repaso

Las soluciones de esta ecuacion, (recordar separacion de variables en ecs lineales)

$$\varphi(z,t) = \cos(\omega t + \varphi)\left(A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right) + B\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right)\right)$$

repaso

$$\varphi(z,t) = \cos(\omega t + \varphi)\left(A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right) + B\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right)\right)$$

Que al plantear las condiciones de contorno,
(desviacion cero en 0 y en L) , nos da:

$$\varphi(z,t) = A\cos(\omega t + \varphi)\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right)$$

con

$$\frac{2\pi}{\lambda_n}L = \pi, 2\pi, 3\pi, \ldots, n\pi, \ldots$$

repaso

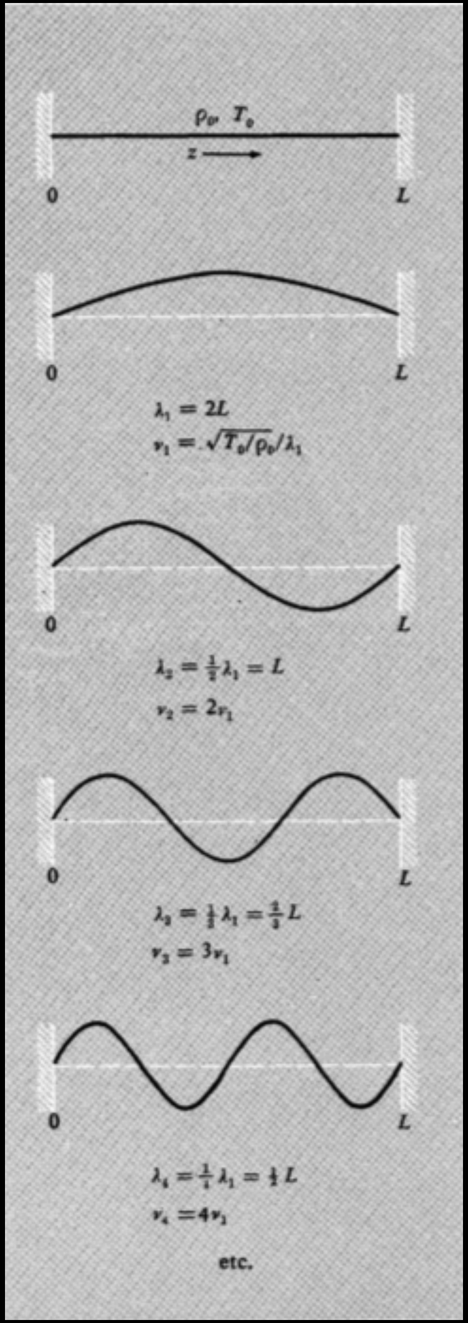
$$\varphi(z,t) = \cos(\omega t + \varphi)(A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right) + B\cos(\frac{2\pi}{\lambda}z))$$

Que al plantear las condiciones de contorno,
(desviacion cero en 0 y en L) , nos da:

$$\varphi(z,t) = A\cos(\omega t + \varphi)\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right)$$

con

$$\frac{2\pi}{\lambda_n}L = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots, n\pi, \dots$$



repaso

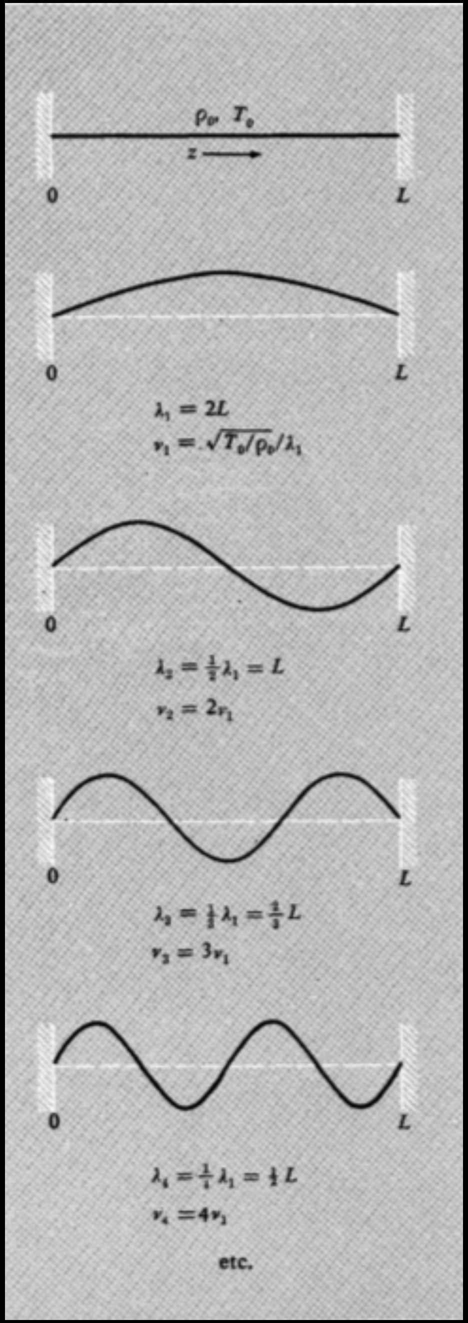
$$\varphi(z,t) = \cos(\omega t + \varphi)\left(A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right) + B\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right)\right)$$

Que al plantear las condiciones de contorno,
(desviacion cero en 0 y en L) , nos da:

$$\varphi(z,t) = A\cos(\omega t + \varphi)\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right)$$

con

$$\frac{2\pi}{\lambda_n}L = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots, n\pi, \dots$$



repaso

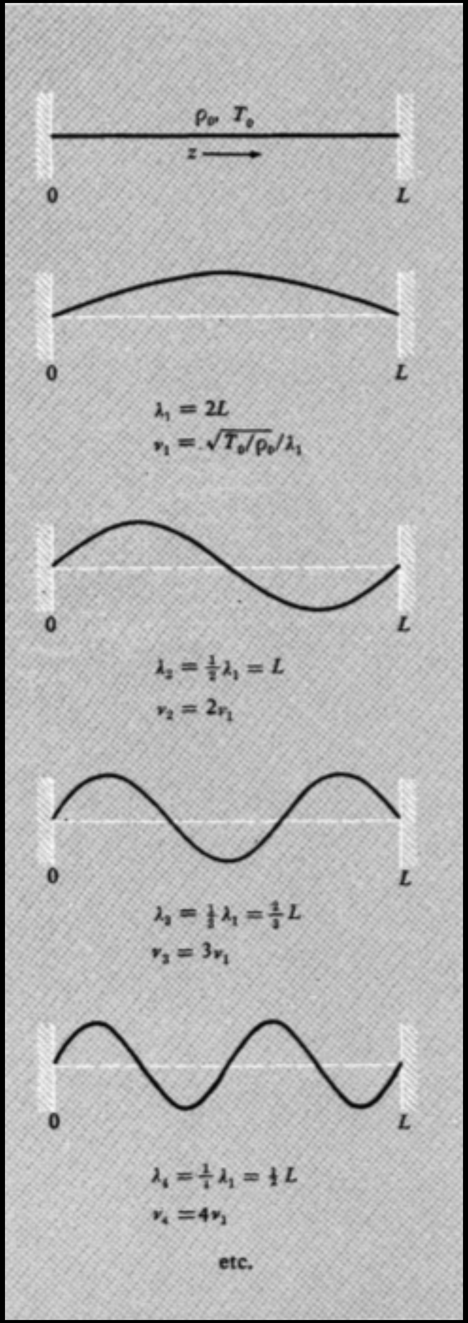
$$\varphi(z,t) = \cos(\omega t + \varphi)\left(A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} z\right) + B\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} z\right)\right)$$

Al plantear que esto debe cumplir la ecuacion diferencial,
Ademas se establece una relacion entre los λ_n y las $\omega=\omega_n$

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda_n}\right)^2 = {\omega_n}^2 \left(\frac{\rho_0}{T_0}\right)$$

$$\lambda\nu = constante$$

Esto genera las relaciones armonicas entre las frecuencias, que para cuerdas reales como las de violin o piano son aproximaciones razonables.



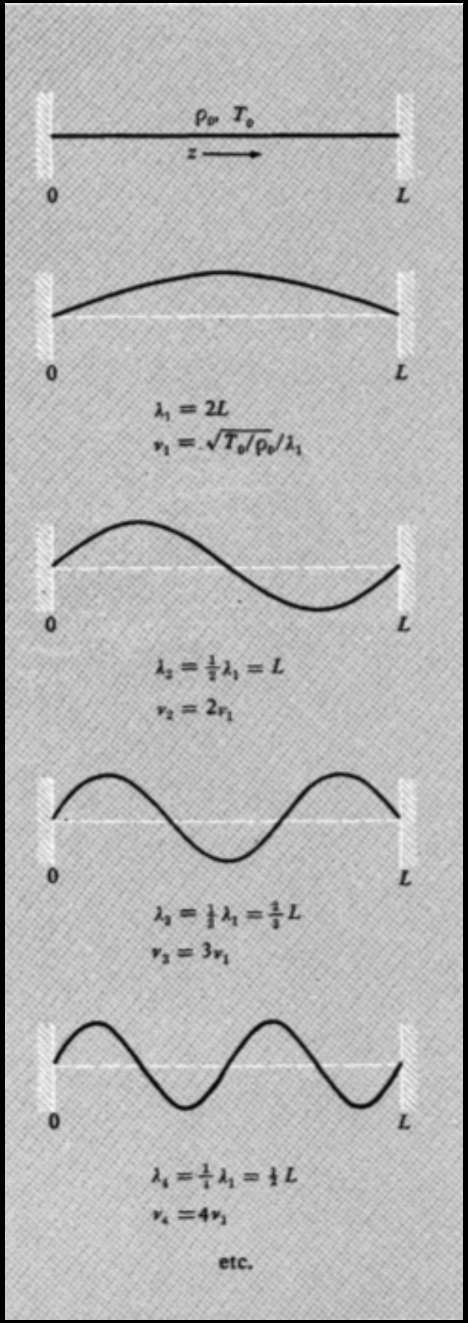
repaso

$$\varphi(z,t) = \cos(\omega t + \varphi)\left(A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right) + B\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}z\right)\right)$$

Al plantear que esto debe cumplir la ecuacion diferencial,
Ademas se establece una relacion entre los λ_n y las ω=ω_n

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda_n}\right)^2 = {\omega_n}^2\left(\frac{\rho_0}{T_0}\right)$$

$$\lambda\nu = constante$$



ν_1

$2\nu_1$

$3\nu_1$

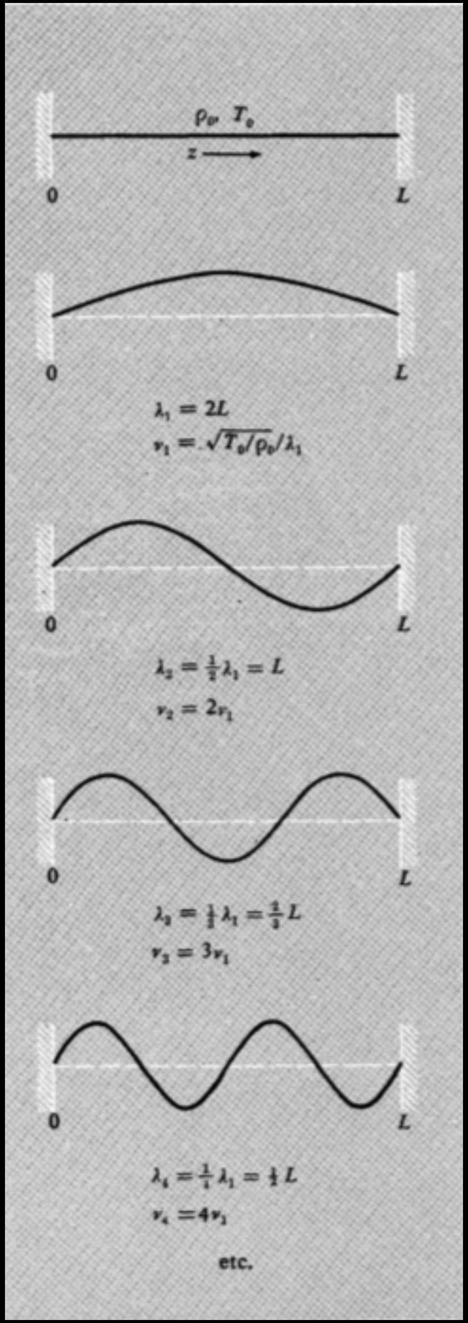
$4\nu_1$

Una particion posible del espectro…

Un tema mas a repasar antes de volver a la observacion de Pitagoras…

El estado de movimiento mas general de una cuerda continua uniforme puede describirse como una superposicion de estos modos, con amplitudes A_1, A_2,… y fases $\varphi_1, \varphi_2, \ldots$

$$\varphi(z,t) = A_1 \sin(k_1) \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(k_2) \cos(\omega_2 t + \varphi_2) + \cdots$$



Un tema mas a repasar antes de volver a la observacion de Pitagoras…

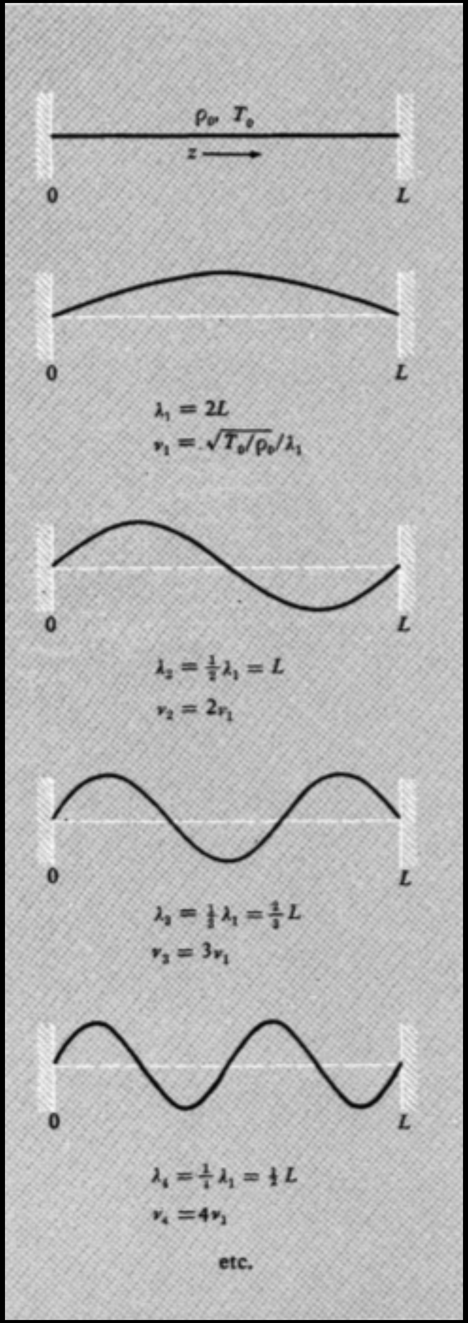
El estado de movimiento mas general de una cuerda continua uniforme puede describirse como una superposicion de estos modos, con amplitudes A_1, A_2,… y fases $\varphi_1, \varphi_2, \ldots$

$$\varphi(z,t) = A_1 \sin(k_1)\cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(k_2)\cos(\omega_2 t + \varphi_2) + \cdots$$

Y si partimos de t=0 con una deformacion estacionaria f=f(z). (velocidad nula)

$$\boxed{\varphi(z,t) = A_1 \sin(k_1)\cos(\omega_1 t) + A_2 \sin(k_2)\cos(\omega_2 t) + \cdots}$$

$$\boxed{\varphi(z,0) = A_1 \sin(k_1) + A_2 \sin(k_2) + \cdots}$$

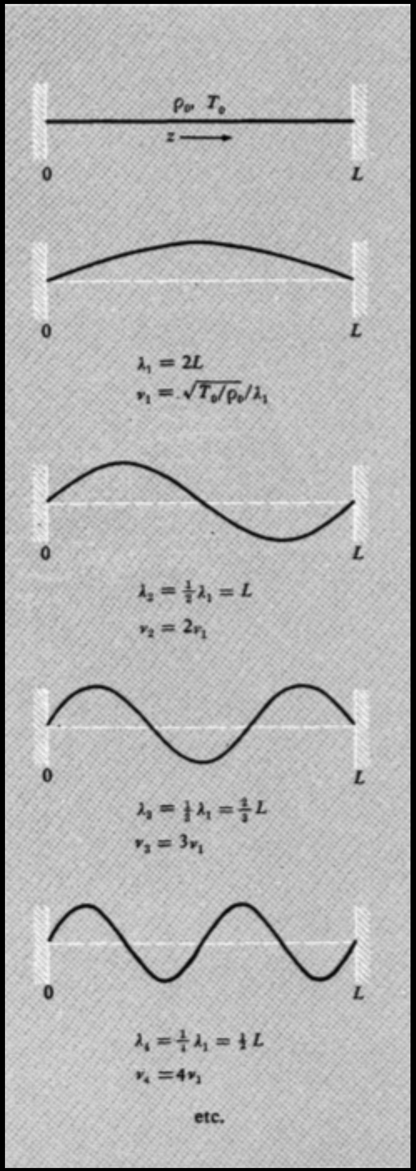


Ya volveremos sobre el calculo de los coeficientes A_i, pero por ahora señalemos, a tono con la observacion Pitagorica,

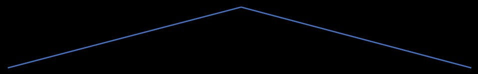
A_1

A_2

A_3



=

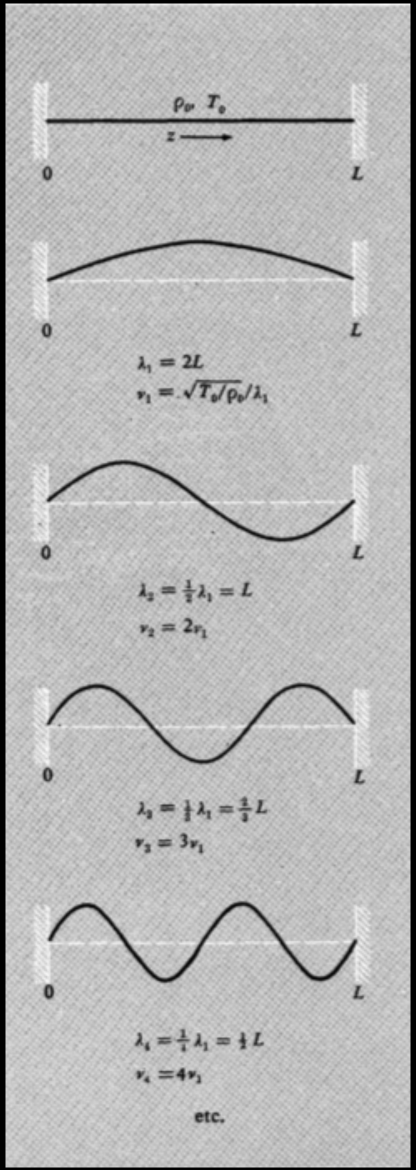


0 L

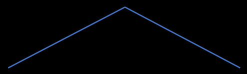
A'_1

A'_2

A'_3



=

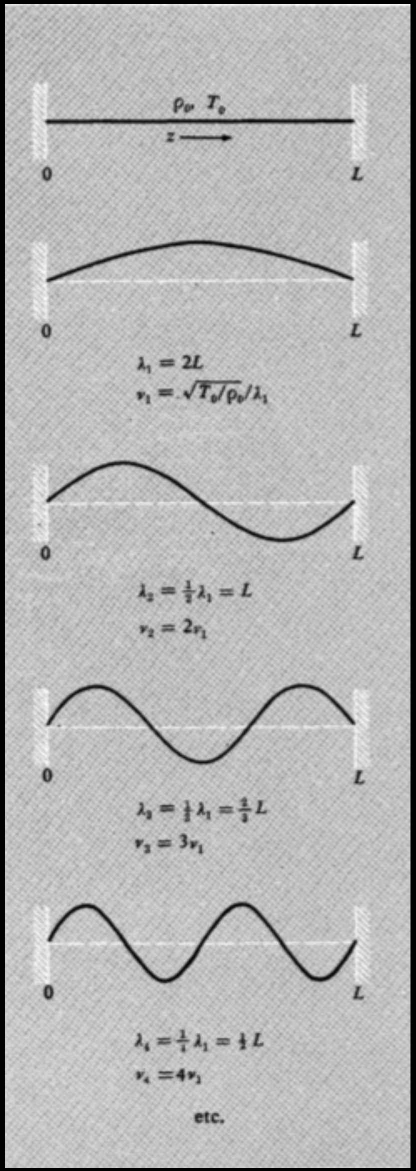


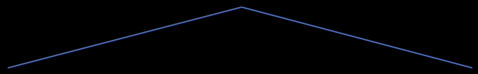
0 L/2

A_1

A_2

A_3



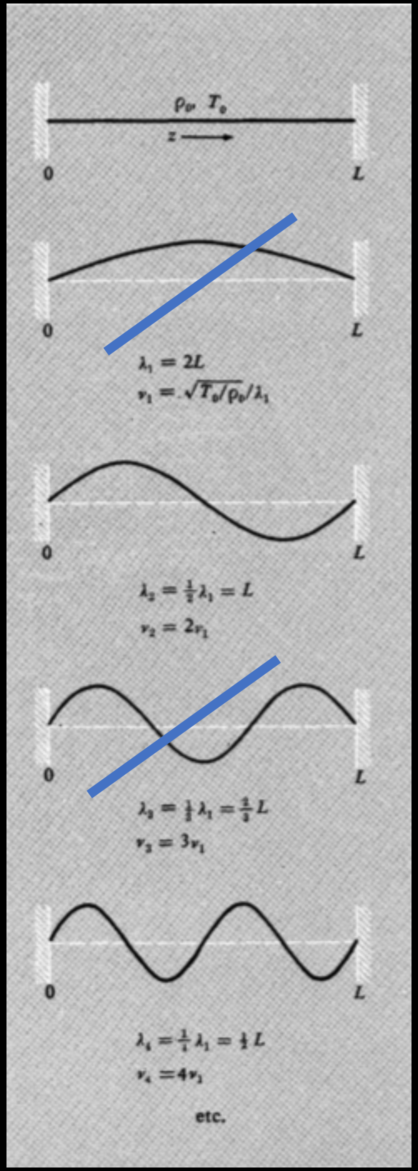


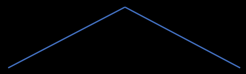
0 L

$A'_1 = 0$

A'_2

$A'_3 = 0$



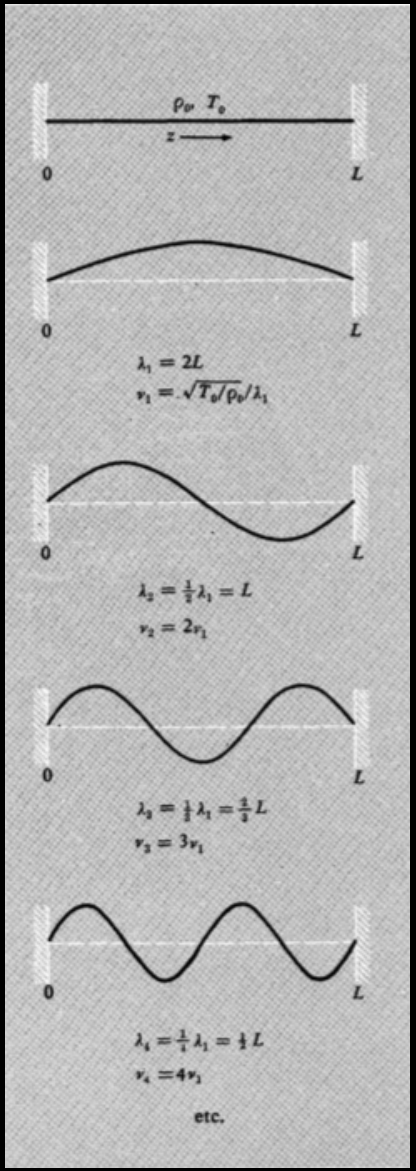


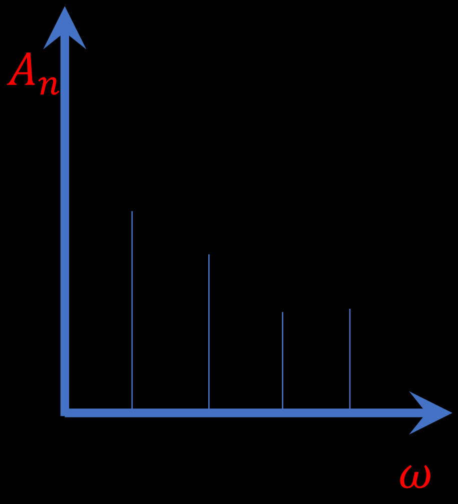
0 L/2

A_1

A_2

A_3

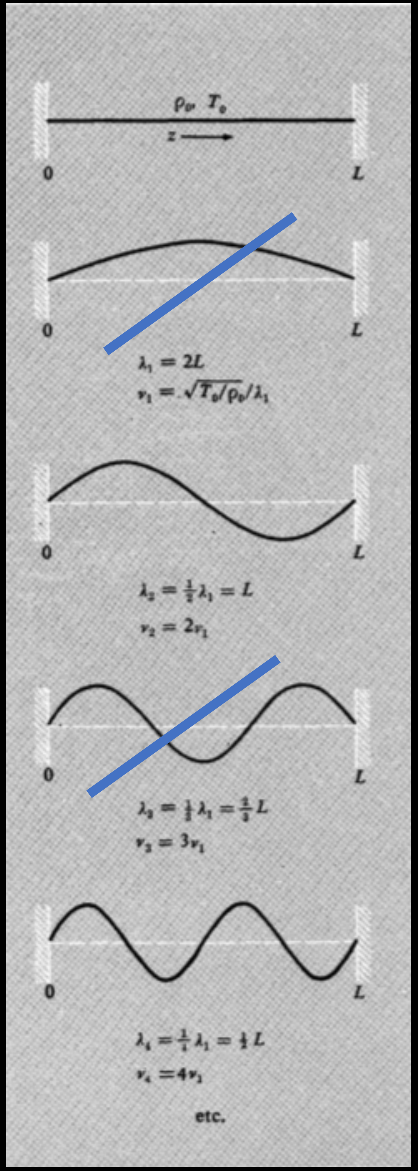


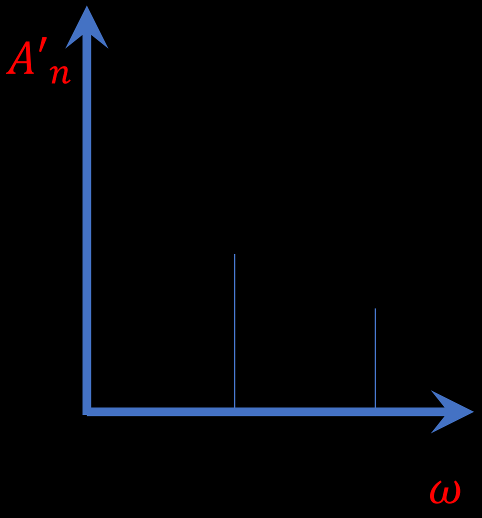


$A'_1 = 0$

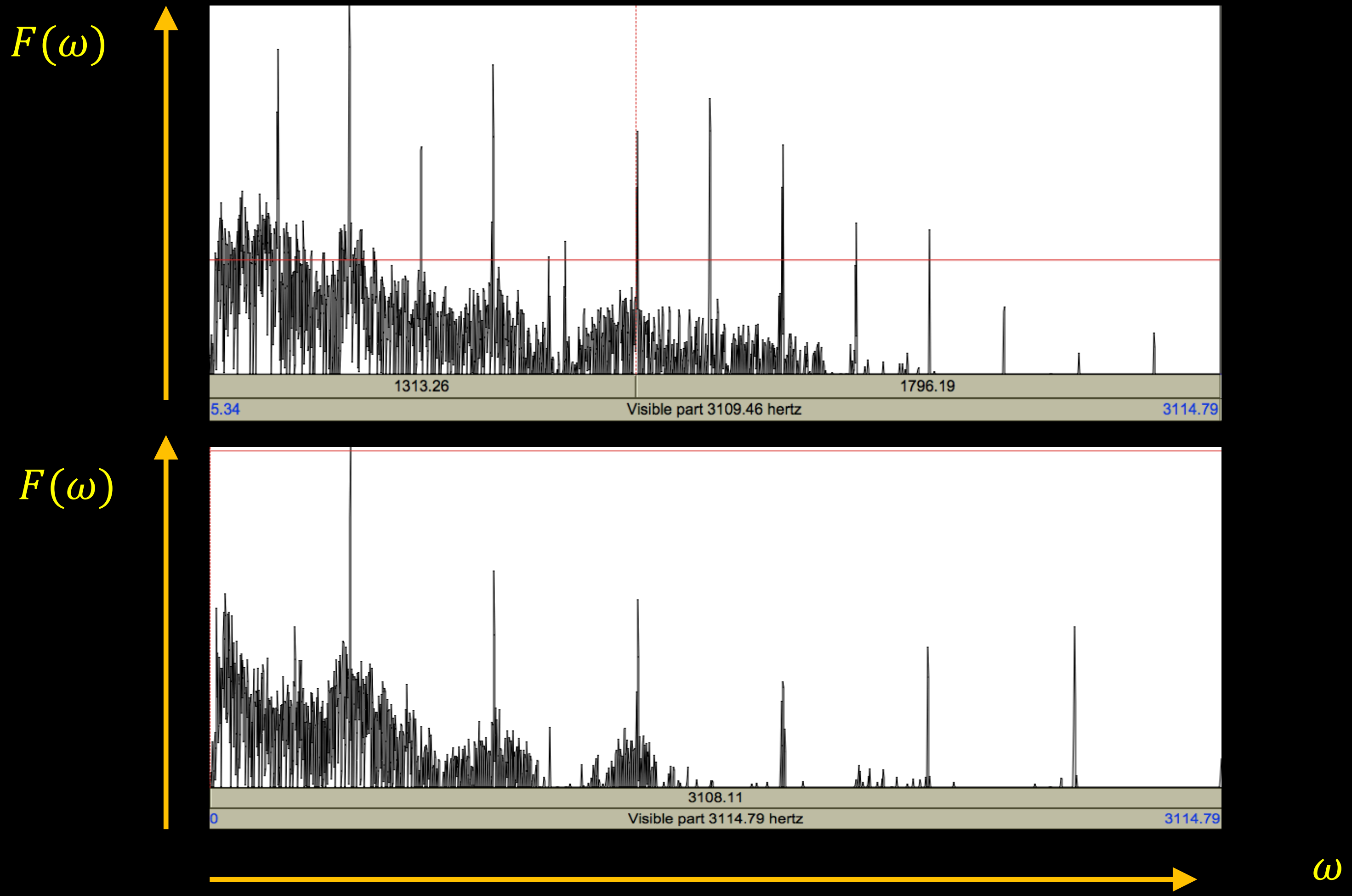
A'_2

$A'_3 = 0$

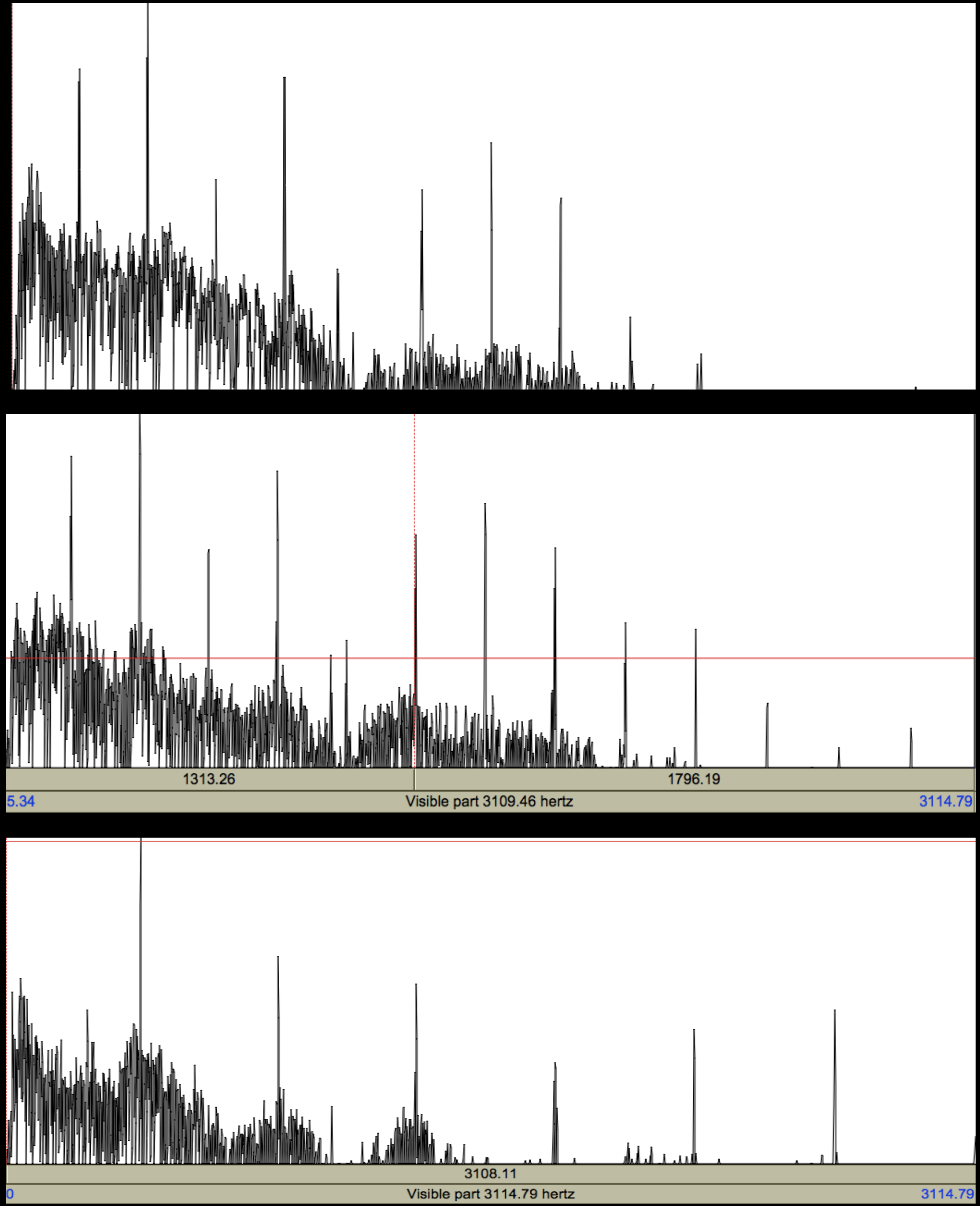




Las frecuencias presentes
Son un subconjunto de
Frecuencias que ya detectamos



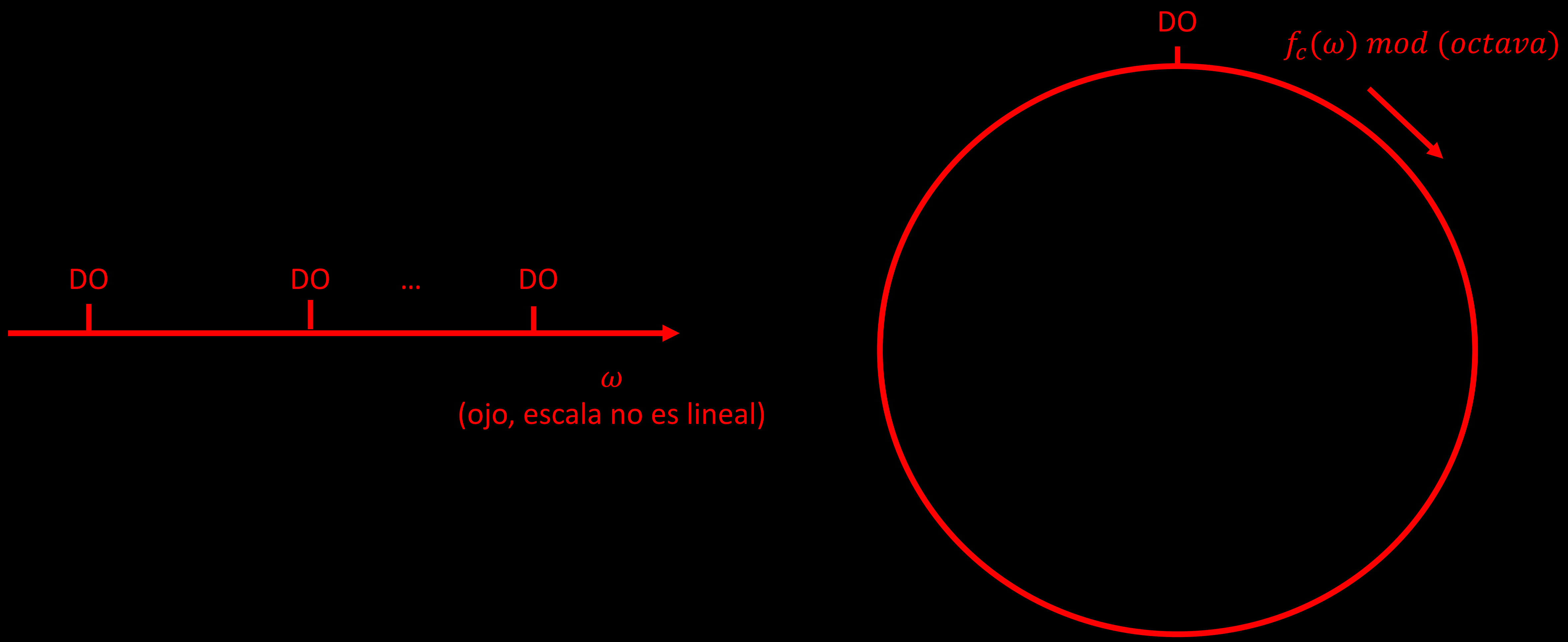
$F(\omega)$
1313.26
1796.19
5.34
Visible part 3109.46 hertz
3114.79
$F(\omega)$
3108.11
0
Visible part 3114.79 hertz
3114.79
ω



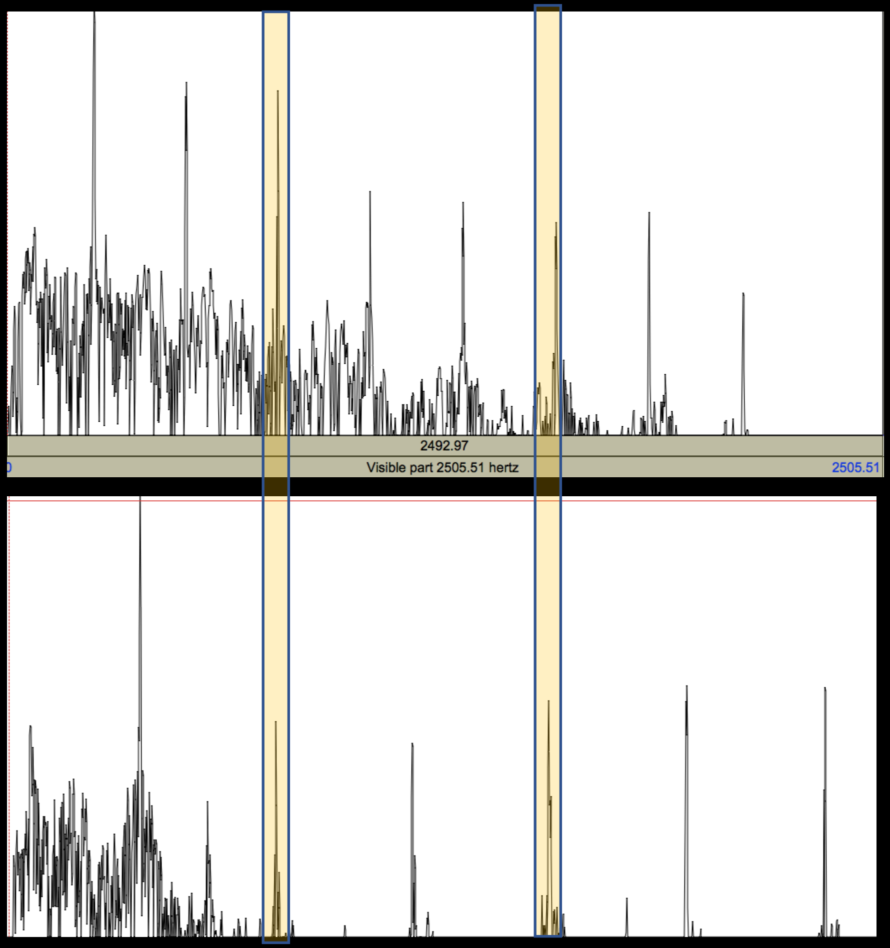
Los dos la tocados
Simultaneamente

Apenas se nota que el peso de los armonicos pares en el espectro es mas alto que en el caso del primer ”La”

Es esa “facilidad perceptual” la que lleva plantearnos una “simetria de fase” en el problema



Y si queremos algo "realmente" nuevo?



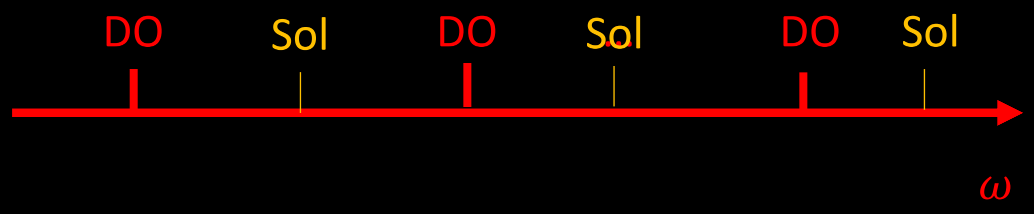
Do

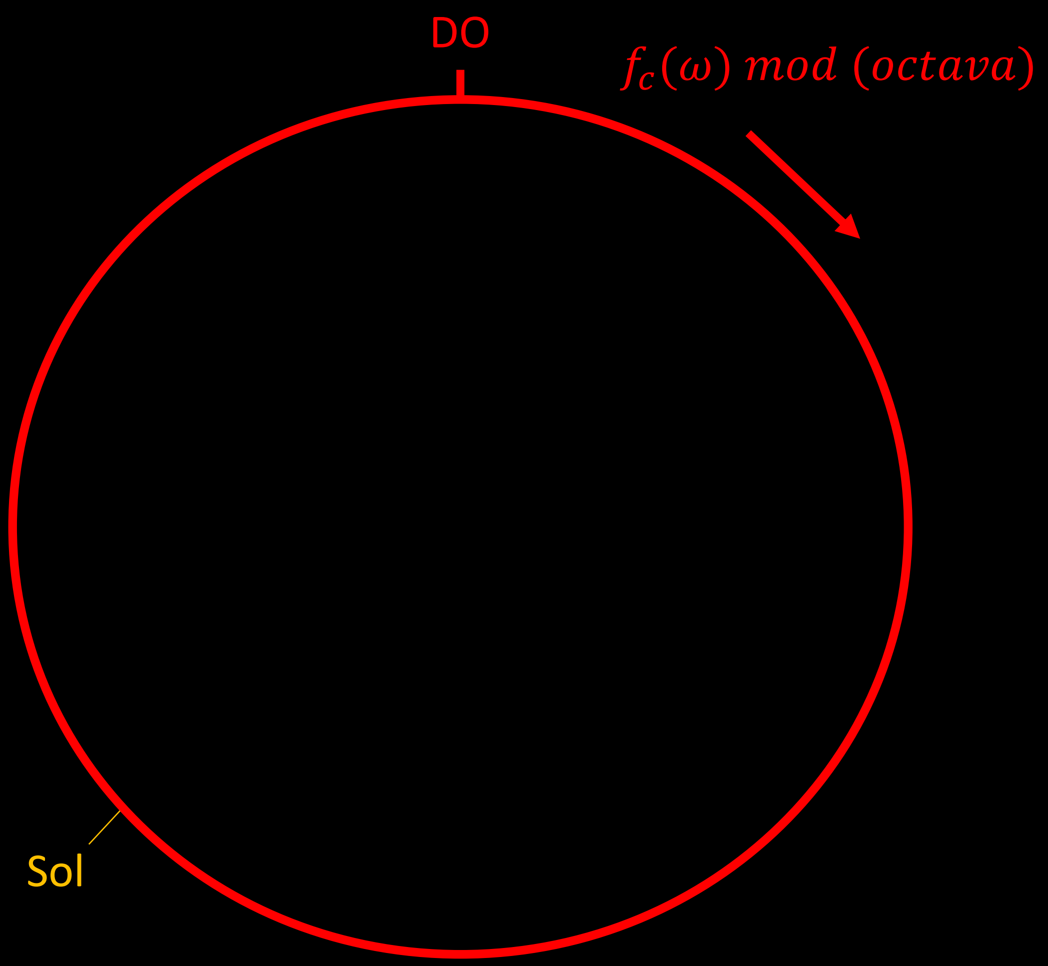
Sol

En la cuarta octava,
Do=261 Hz
Sol=392 Hz

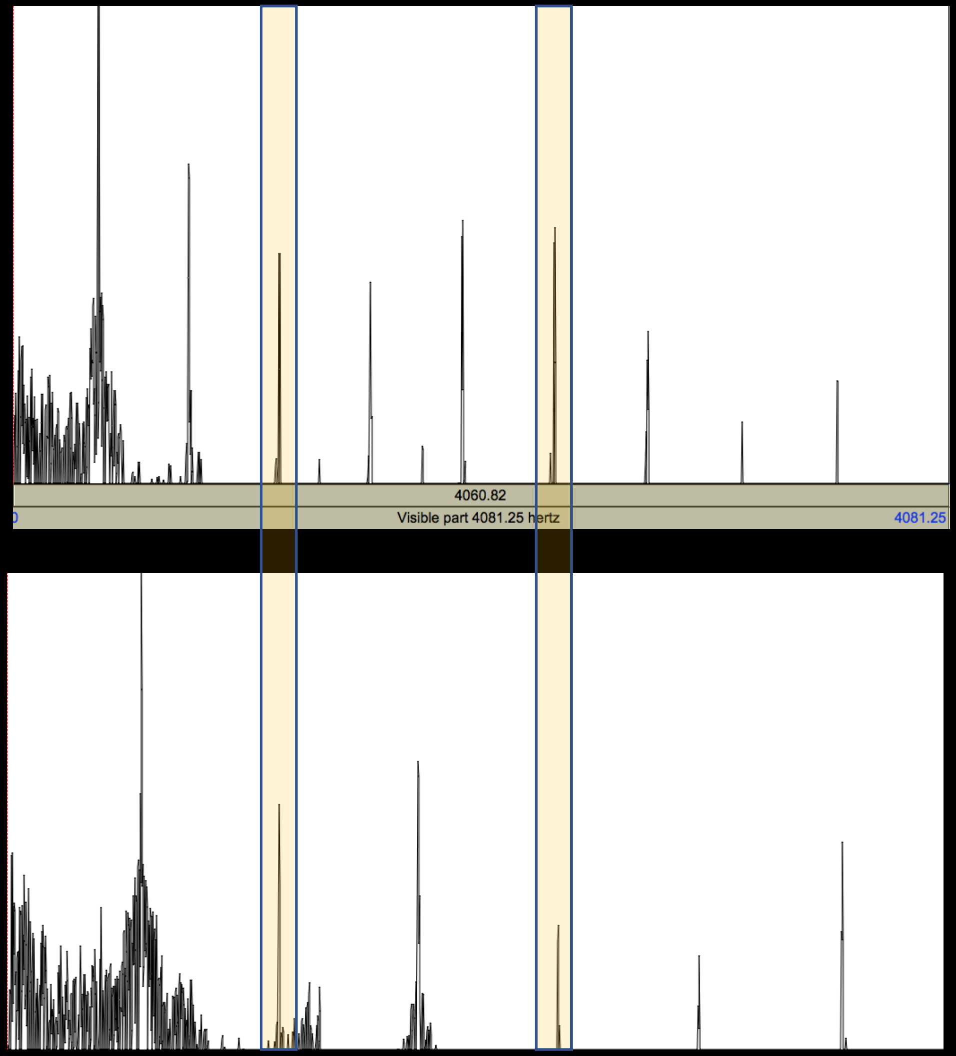
Con la quinta aparecen cosas nuevas... pero tampoco tantas!

Es esa “facilidad perceptual” la que lleva plantearnos una “simetria de fase” en el problema





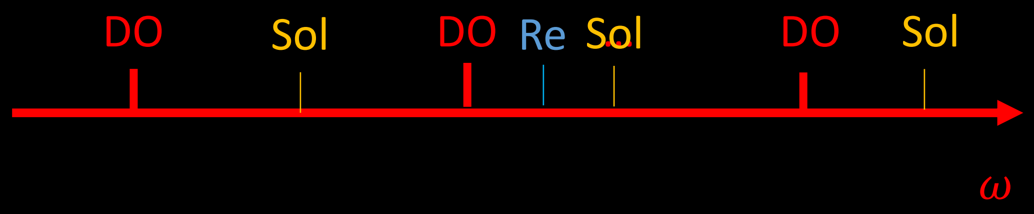
Y si queremos algo
“igual de nuevo”, pero
A partir del sol
que acabamos de agregar?

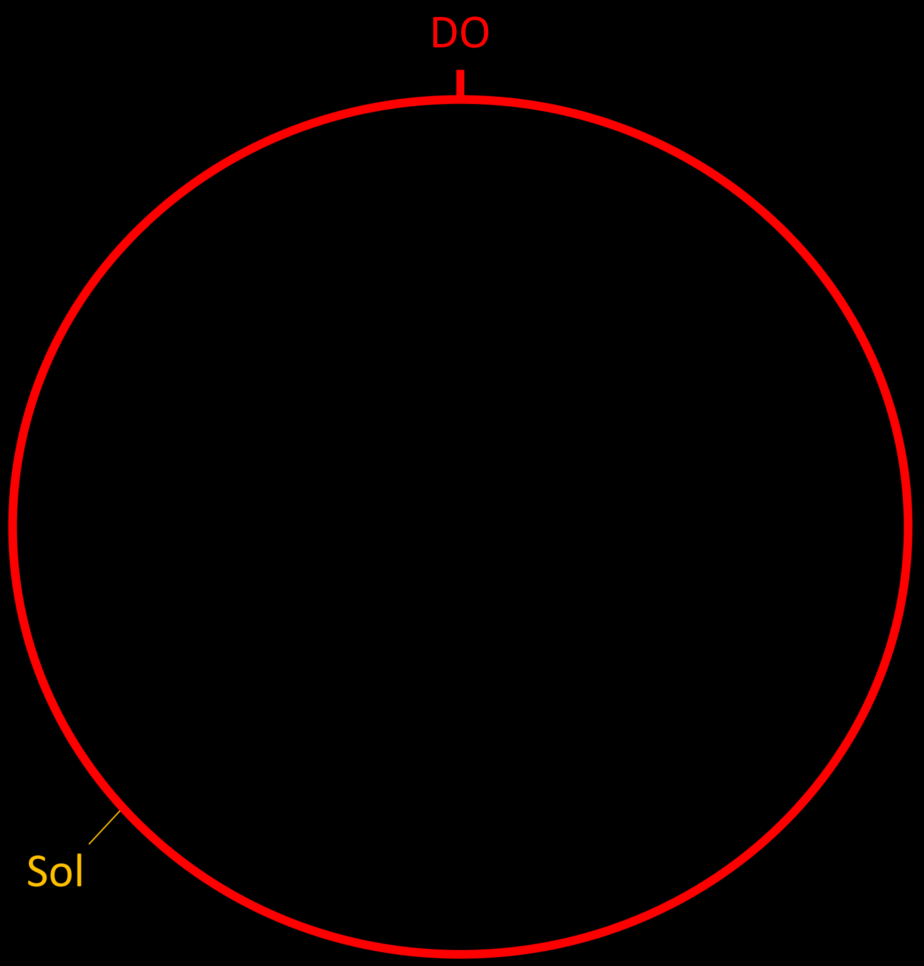


Sol

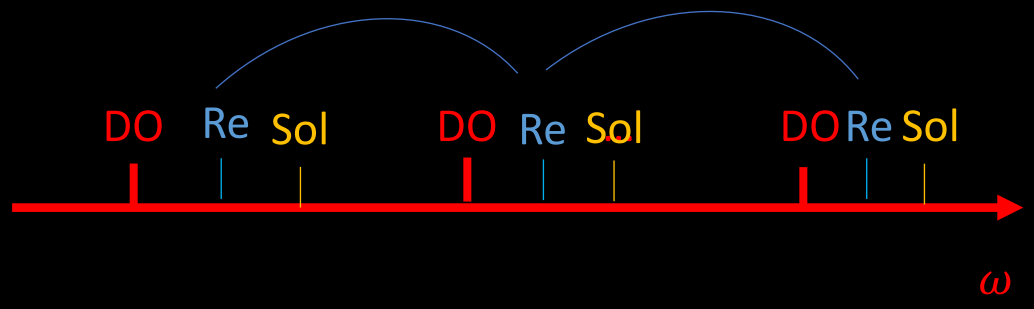
Re

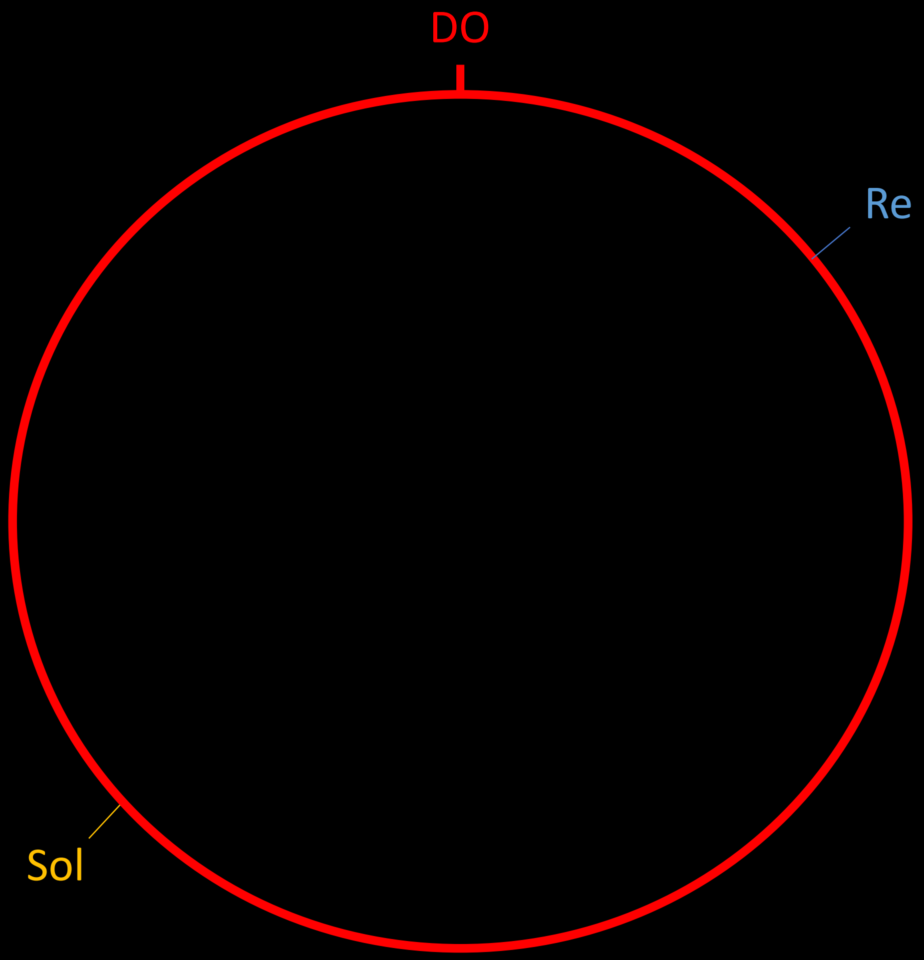
Es esa “facilidad perceptual” la que lleva plantearnos una “simetria de fase” en el problema



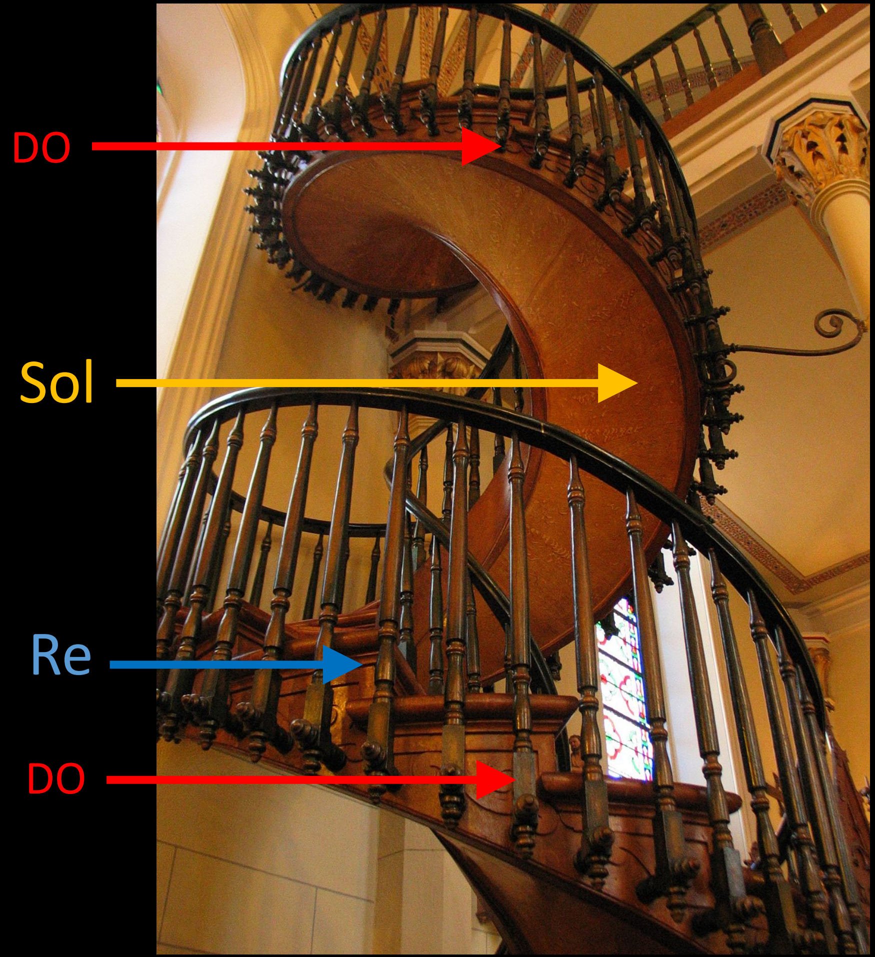


Es esa “facilidad perceptual” la que lleva plantearnos una “simetria de fase” en el problema



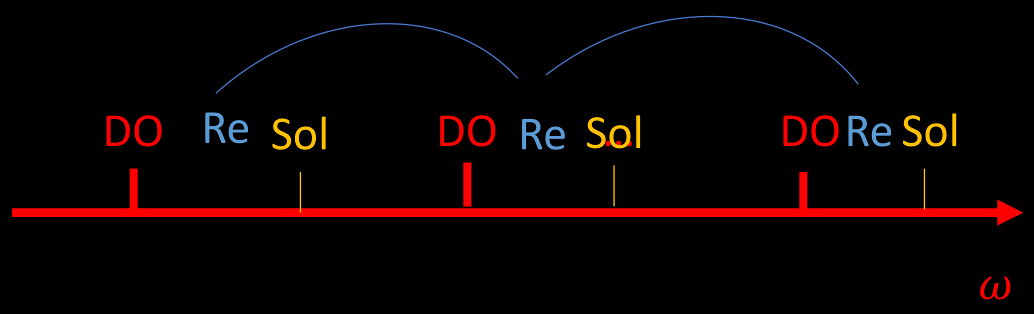


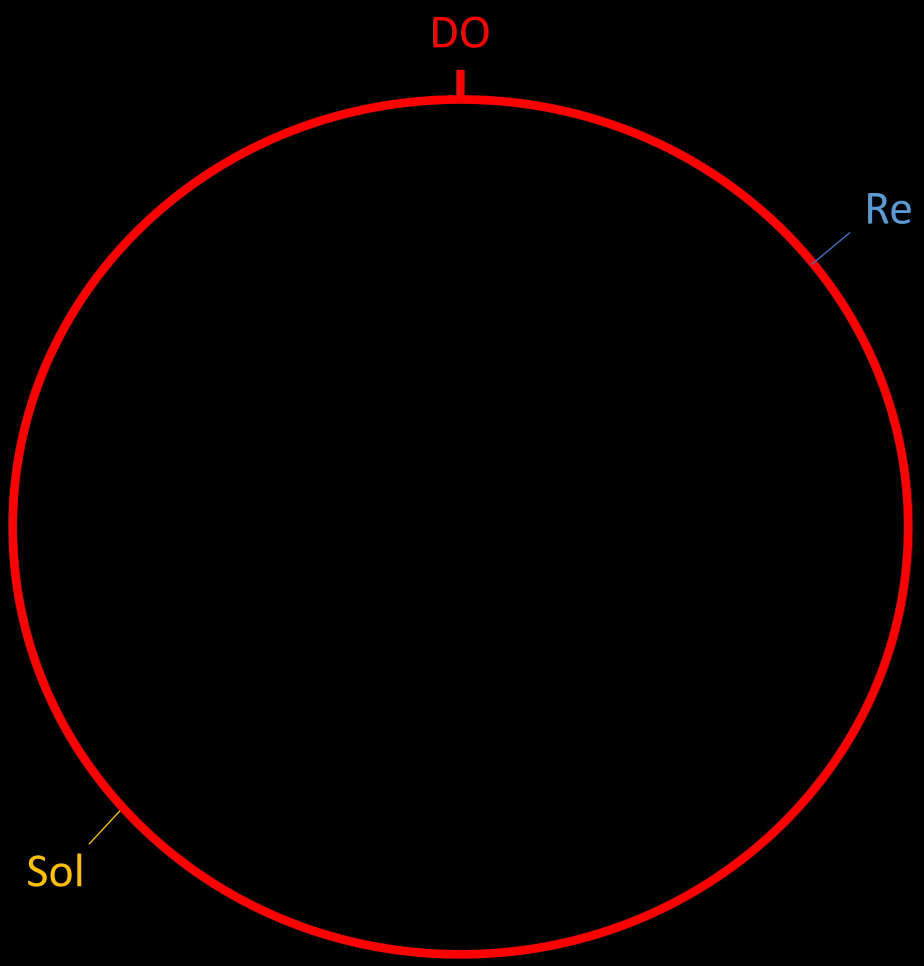
Tener, ya tenemos una escala…

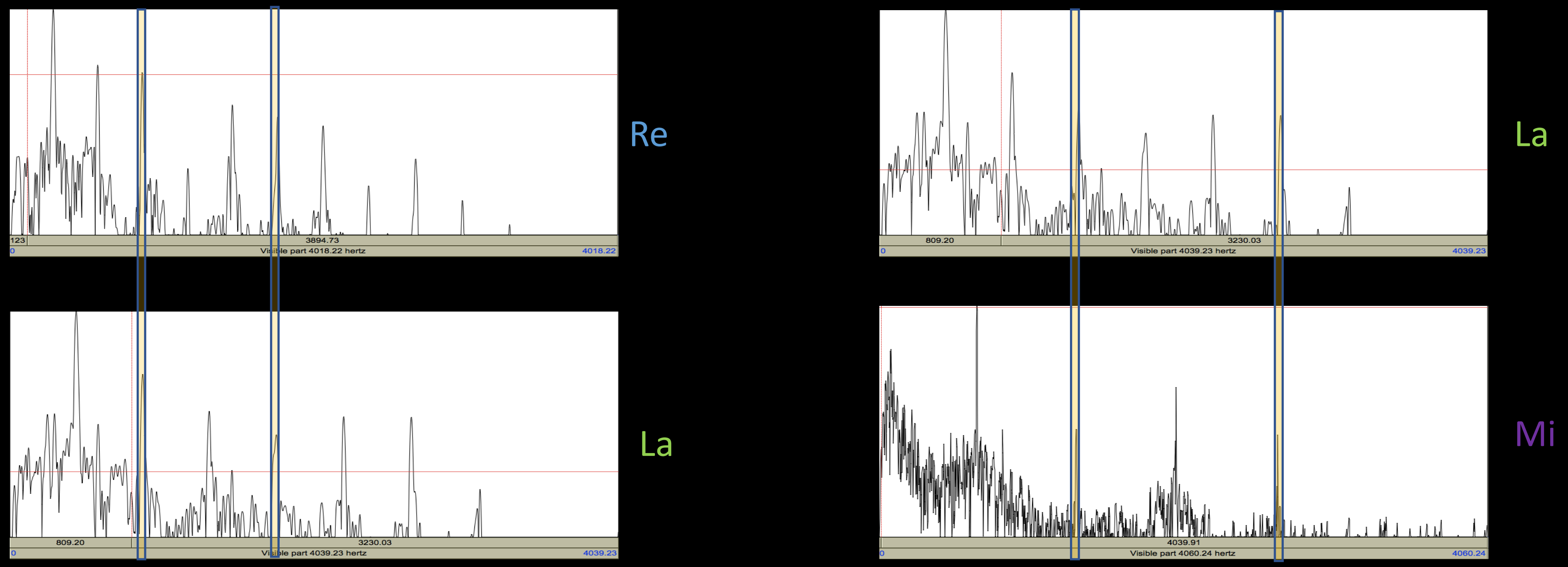


Anda a subirla…

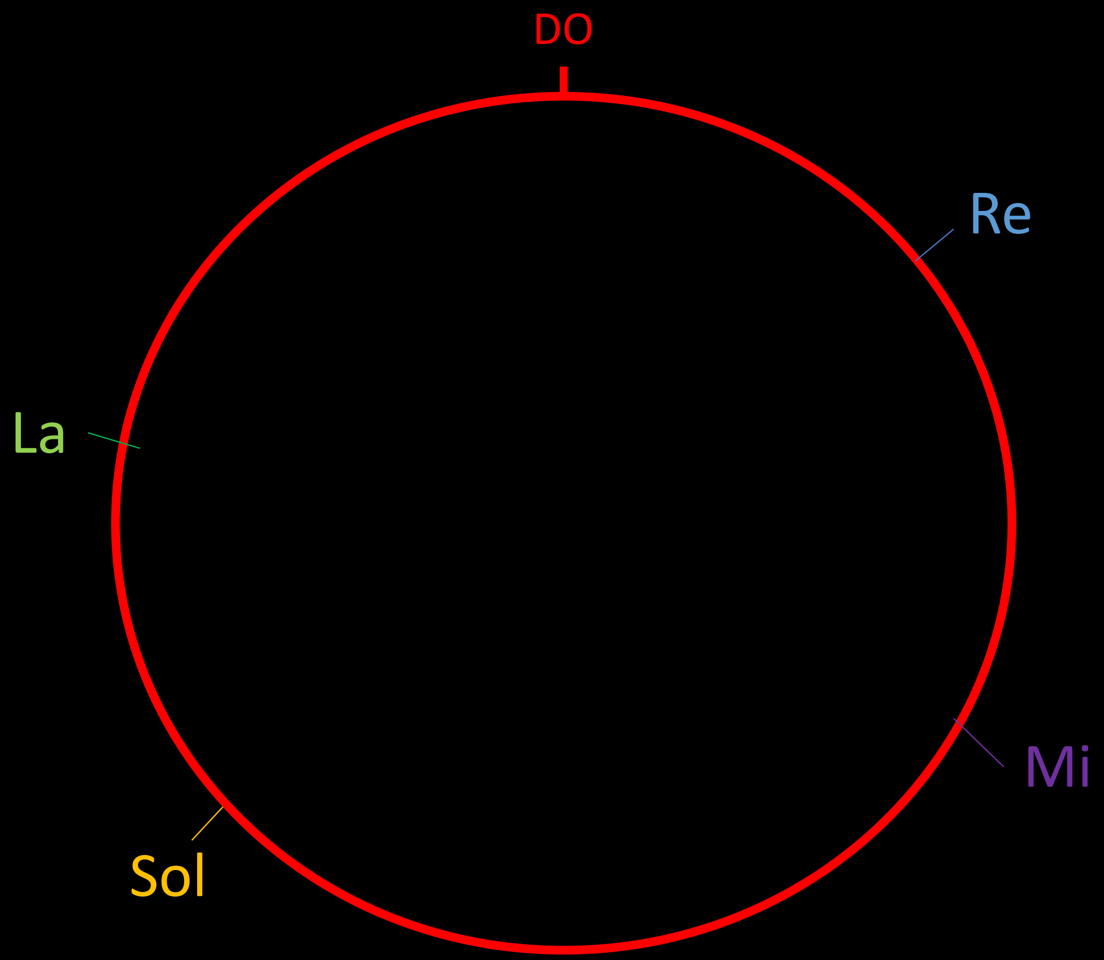
Pongamos mas escalones





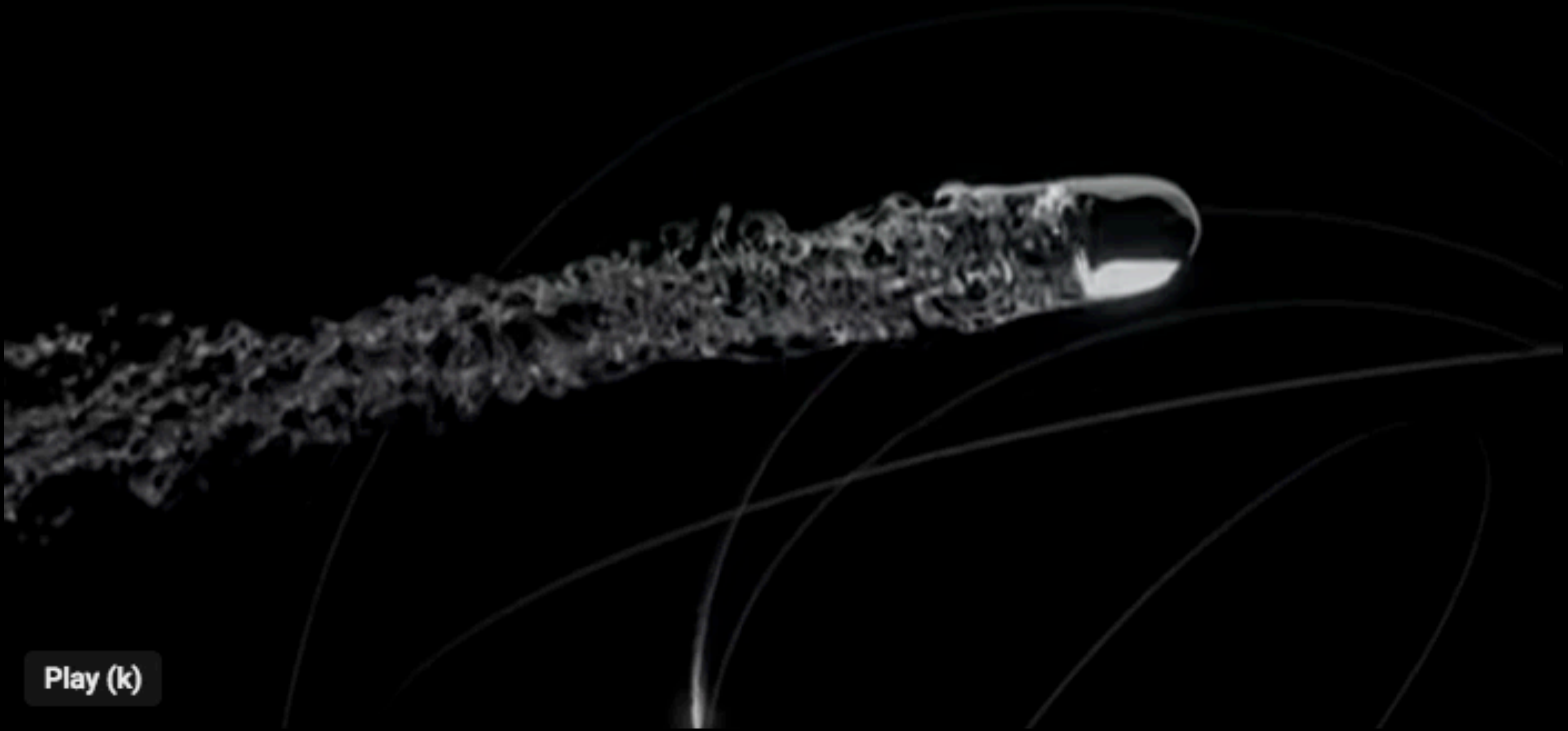

Re
123
3894.73
Visible part 4018.22 hertz
4018.22
La
809.20
3230.03
Visible part 4039.23 hertz
4039.23
La
809.20
3230.03
Visible part 4039.23 hertz
4039.23
Mi
4039.91
Visible part 4060.24 hertz
4060.24

Pongamos mas escalones...



Una escala pentatonica.
Esta escala se empleo, historicamente,
en asia menor, por siglos.

Bobby McFerrin



Elementos que jugaron un papel en como parcelar el espectro continuo

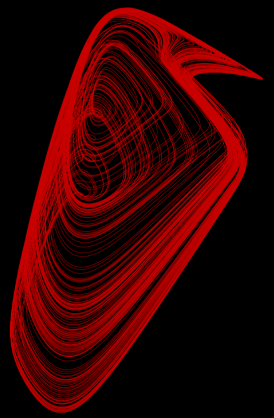
1. Que dos instrumentos juntos “suenen bien”

2. Que el sonar bien este asociado a una “economia”

3. Que los instrumentos generen notas con contenido espectral mas alla de la altura

¿De donde sale la es escala de 7 notas que la novicia rebelde le enseña a los pibes que cuida?

¿Por que tiene 12 notas el piano?



¿Por que usamos notas?
¿Cuantas notas hay?
Cuales son?
¿Hay razones fisicas para elegir unas y no otras?
¿Son elecciones arbitrarias?
¿Son elecciones esteticas? Culturales?

Trampita… son 17 notas, en realidad,
las del comienzo de Rhapsody in blue,
tocadas por un clarinete

Ejercicio: bajar los primeros compases de la obra,
y analizarlas con el Praat. Es una nota que se deforma
continuamente? Son 17? Como funciona un clarinete?

Repasando

Sonido: vibraciones propagables por aire u otro medio, capaces de ser detectados un sistema auditivo animal

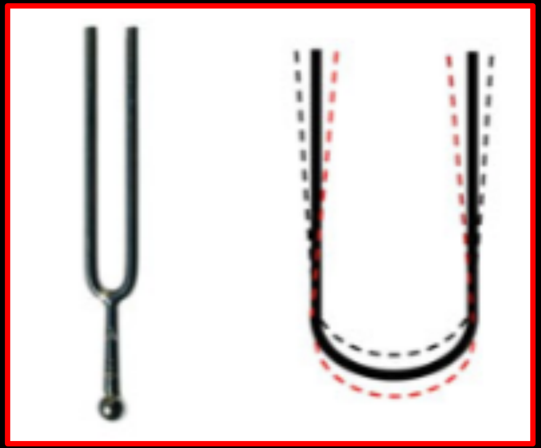
Como toda señal temporal, plausible de ser descompuesta en terminos de funciones sinusoidales, de distintas frecuencias.

La frecuencia mas baja (en verdad, MCM) da cuenta de la altura del sonido

La amplitud, de si intensidad

El resto del contenido espectral… timbre

La complejidad espectral de instrumentos reales, junto a la necesidad de tocar de a varios, condicionan poderosamente la estructura en la parcelamos el espectro acústico



Para modos puros… recien en 1711, John Shore

Ajustado como referencia, A4=440 Hz en 1939