

# Análisis tímbrico y pedales de efecto D.I.Y.



Albert Peláez Carrera  
2º de Bachillerato  
INS Terres de Ponent,  
Mollerussa  
Dirigido por RamonBergadà

INS TERRES DE PONENT

# Análisis tímbrico y pedales de efecto D.I.Y.

---

Trabajo de investigación dirigido por Ramon Bergadà

Albert Peláez Carrera  
Mollerussa

## ÍNDIX

<b>PRESENTACIÓN, MOTIVACIONES Y OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN: PROPIEDADES DEL SONIDO .....</b>	<b>7</b>
1. EL TONO .....	7
1.2 Las octavas.....	8
2. EL TIMBRE .....	8
2.1 El timbre y la envolvente ADSR .....	11
2.1.1 La envolvente de los instrumentos.....	13
<b>INTERFERENCIAS ARMÓNICAS .....</b>	<b>14</b>
1. ESQUEMA, MODOS DE VIBRACIÓN:.....	15
2. CURIOSIDADES .....	16
3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MODOS DE VIBRACIÓN .....	18
<b>RELACIONES ARMÓNICAS.....</b>	<b>21</b>
1. LOS INTERVALOS MUSICALES .....	21
2. EL MONOCORDIO Y LOS INTERVALOS.....	23
2.1 Los intervalos en la práctica.....	24
3. LOS INTERVALOS EN LOS FENÓMENOS ARMÓNICOS .....	25
4. EJEMPLO.....	27
<b>SERIES DE FOURIER Y FFT .....</b>	<b>28</b>
1. INTRODUCCIÓN ONDAS.....	28
2. LAS SERIES DE FOURIER.....	31
2.1 Las series de Fourier en Geogebra .....	33
3. LA FFT .....	35
<b>ANÁLISIS DE EFECTOS .....</b>	<b>38</b>
1. INTRODUCCIÓN: GLOSARIO DE EFECTOS .....	38
"Compresor" .....	39
"Chorus" (Coro) .....	39
"Delay" (Retardo) .....	39
"Echo Tape" (Eco de cinta) .....	40
Ecuilibradores gráficos .....	40
"Enhancers o Booster" (realzadores).....	40
"Flanger" .....	41
Reverberación .....	41
"Harmonizer"(Armonizador) .....	41
Multiefectos .....	42
Octavador .....	42
Pedal de Volumen.....	42
"Wah – wah" .....	43
"Phaser" .....	43
"Distortion" (Distorsión).....	43
"Overdrive" (Sobrecarga) .....	44
"Tremolo" .....	44
"Vibrato" .....	44

2.	ANÁLISIS .....	45
1.	<i>Rangemaster</i> .....	46
2.	<i>FuzzFace</i> .....	49
3.	<i>Soul Man</i> .....	52
4.	<i>Phaser 90</i> .....	55
	<b>CONCLUSIONES FINALES .....</b>	<b>56</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA .....</b>	<b>57</b>
	<b>ANEXO: CIRCUITOS DE LOS EFECTOS Y PROCESO DE FABRICACIÓN.....</b>	<b>58</b>
1.	CIRCUITO DEL RANGEMASTER.....	58
2.	CIRCUITO DEL FUZZ FACE.....	59
3.	CIRCUITO DEL SOUL MAN (TUBESCREAMER) .....	60
4.	CIRCUITO DEL PHASER 90.....	61
	PROCESO DE FABRICACIÓN .....	62
	<i>Los componentes</i> .....	62
	<i>La PCB</i> .....	62
	<i>Resistencias</i> .....	62
	<i>Condensadores</i> .....	63
	<i>Zócalos</i> .....	63
	<i>Circuitos integrados</i> .....	63
	<i>Potenciómetros</i> .....	64
	<i>Jacks</i> .....	64
	<i>Conmutador</i> .....	64
	<i>Imprimación y pintura</i> .....	65
	<i>Serigrafía</i> .....	65
	<i>Perforado y montaje</i> .....	65
	<i>Resultados finales</i> .....	66

## Presentación, motivaciones y objetivos

Desde pequeño siempre me ha apasionado la tecnología, solía destrozar los juguetes para abrirlos y ver de qué estaban hechos. Al final acumulé un buen stock de motores y cables. Cuando fui mayor probé de reutilizarlos para hacer mis propios juguetes. A esa edad ya empecé a ver que tenía una curiosidad innata por conocer el funcionamiento de los aparatos electrónicos.

Más tarde, al empezar el instituto, también descubrí una de mis grandes aficiones, la música. Me hice con una guitarra eléctrica y ya llevo 5 años tocando. Al finalizar la ESO me aficioné a la electrónica, fue entonces cuando intenté buscar el nexo de unión entre estas dos aficiones y empecé la fabricación de mis propios efectos de guitarra.



Actualmente estoy cursando 2º de Bachiller en la modalidad Tecnológica y mi objetivo es ser Ingeniero de sonido. Durante el bachillerato también he intentado buscar la relación entre lo que estudio y mis aficiones, como ya hice con la electrónica y en la música.

He descubierto que las matemáticas y la física nos rodean y cada día nos topamos con ellas. Es por esto que quise relacionar la música, las matemáticas y la física en este trabajo. Me he propuesto estudiar propiedades de los instrumentos como por ejemplo el timbre, cómo se origina y cómo cambia con el procesado electrónico. Todo esto siempre enfocado desde tres dimensiones, la matemática, la física y la musical. He preferido abarcar las tres disciplinas de forma divulgativa, sin profundizar demasiado en ninguna de ellas.

Me hubiese gustado incidir más en la parte electrónica debido a que también juega un papel muy importante.

Quería justificar también el idioma en que he redactado el trabajo. He aprendido a fabricar mis efectos gracias a comunidades y foros de internet como por ejemplo Gorg (<http://www.guitarrista.com/>) y como agradecimiento he querido redactarlo en castellano para aportar mis modestos conocimientos a estos foros y comunidades de internet de habla castellana, dejando atrás pensamientos ideológicos.

## Agradecimientos



En primer lugar doy las gracias a mi madre por comprarme la primera guitarra eléctrica y apoyarme económicamente y moralmente durante mi aprendizaje en la música, la electrónica y la fabricación de pedales.

También agradecer la labor del tutor de mi trabajo, Ramon Bergadà, el cual se ha esforzado para que éste documento quedase lo mejor posible.

A Ramon Martí, por dejarme el material necesario para realizar los análisis.

A Roberto García de <http://www.thundertomate.com> y Hector Cabrera de <http://www.retroamplis.com> por hacerme las revisiones de los primeros documentos que redacté sobre el tema y animarme a seguir adelante.

Al profesor de FP de La Salle, Aleix Vilalta, por ayudarme desinteresadamente en la parte técnica y la comprensión de los circuitos electrónicos. También a Jordi, técnico de Musical Mollerusa, por ayudarme a encontrar componentes electrónicos y supervisar mi primer pedal.

A Sílvia Rufach, profesora de música de mi instituto, que me guió sobre cómo organizar el trabajo cuando aún no tenía tutor y a Marià Torrent, por hacerme las revisiones del tema de física y mostrar interés. También a Juan Ruiz, mi profesor de matemáticas, por dejarme libros sobre matemáticas y armonía.

Muchísimas gracias a la web de Pisotones ([www.pisotones.com](http://www.pisotones.com)) y al foro Gorg ([www.guitarrista.com](http://www.guitarrista.com)) por compartir tantos conocimientos y ayudarme tanto con los pedales de efecto de manera desinteresada. Sin ellos no habría aprendido a fabricarlos.



También a mi amiga, Anna Pallàs, estudiante de 6º de grado profesional del Conservatorio de Cervera, por ayudarme en la parte musical.

Y finalmente a mis amigos, músicos o no, y familia que me han animado a seguir con mis proyectos.

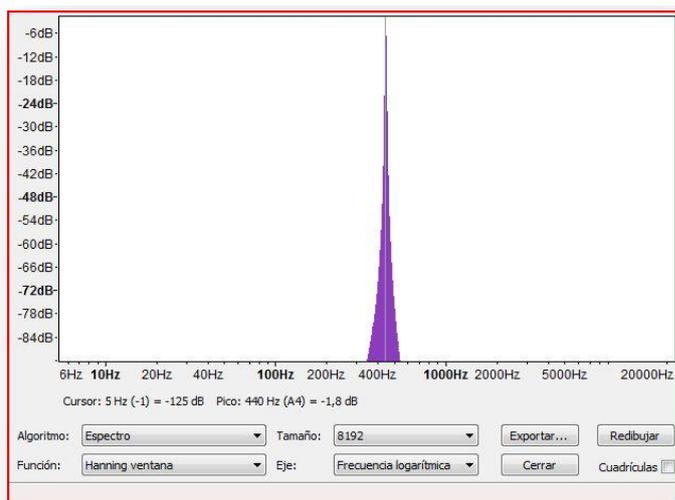
## Introducción: propiedades del sonido

- Cuando producimos un sonido con un instrumento musical o ya sea una voz, éste tiene cuatro propiedades musicales: **el tono, el timbre, la intensidad y la duración**. Nosotros estudiaremos en detalle los dos primeros.

### 1. El tono

Físicamente se define como la frecuencia de un sonido y musicalmente como la nota a la que corresponde dicha frecuencia. Los tonos musicales son las notas que ya conocemos, *Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si*, y sus alteraciones dentro de sus octavas (concepto que introducimos a continuación). Las alteraciones de estos tonos, el bemol y el sostenido, causan un aumento o disminución de la frecuencia.

Ilustración1

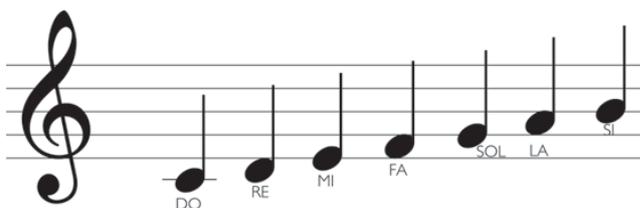


Cuando hablamos de un tono, no podemos olvidar que sólo los diapasones y los generadores de funciones electrónicos son capaces de generar uno puro (sin armónicos).

En el eje “x”: frecuencia, que determina la **nota**.

En el eje “y”: amplitud, que determina la intensidad, el **volumen**.

Esta sería la **gráfica de la frecuencia** del tono generado por un diapasón. Corresponde a la nota  $La_4$  y tiene una frecuencia de  $f=440\text{Hz}$ . La frecuencia de 440Hz junto a la de 442Hz es el estándar actual de afinación, antiguamente en la época barroca se afinaba a 380Hz. Esto significaba que la nota  $La_4$  y las restantes antes eran más graves.



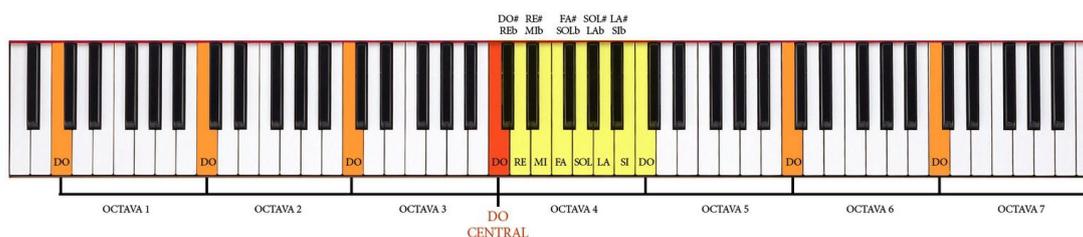
**Tono  $\approx$  Nota  $\approx$  Frecuencia**

Los tonos, como ya hemos dicho, corresponden a las notas musicales. Musicalmente se anotan en los espacios de un pentagrama con un signo que determina su duración, éste puede ser una blanca, una negra, una corchea, etc.

## 1.2 Las octavas

- El subíndice que acompaña las notas representa la octava de éstas.

Ejemplificándolo podemos imaginar las teclas de un piano. Un piano tiene 7 octavas, esto significa que hay 7 escalas de Do que van de más graves a más agudas.



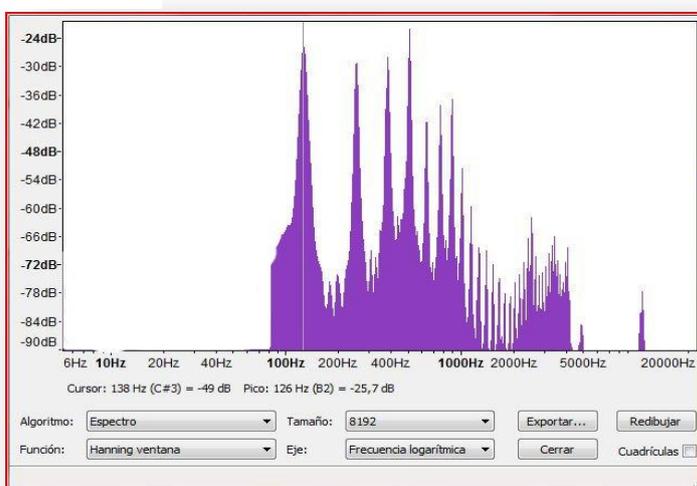
Un  $Do_1$  será el de la primera octava, el  $Do_2$  será el de la segunda octava. Si el  $Do_1$  tiene una frecuencia "f" cualquiera, la del  $Do_2$  será  $2 \cdot f$ . En éste caso  $f_1 = 66\text{Hz}$  y  $f_2 = 132\text{Hz}$ .

## 2. El timbre

El timbre de un instrumento o voz está definido por una serie de notas (tonos) que acompañan la nota ejecutada. Entonces, al producir por ejemplo un *Do* en un piano, después del *Do* sonarán con menos intensidad una serie de notas fruto de la vibración de la cuerda del piano.

Esta serie de notas será diferente en una guitarra, o en la voz de un cantante (recordemos que están ejecutando el mismo tono) y gracias a este curioso fenómeno, cualquier oyente, sean cuales sean sus estudios musicales diferenciará el cantante, la guitarra o el piano. Ejemplo gráfico:

Ilustración2



Este gráfico (*Ilustración 2*) muestra la nota  $B_2$ , que viene a ser un  $Si_2$ . El  $Si_2$  está representado por la primera barra azul de la izquierda señalada con una línea vertical.

A partir de esa línea hacia la derecha, los otros picos azules indican los armónicos del sonido grabado. Estos armónicos originan **el timbre** de este sonido, que en este caso viene a ser una voz masculina de 17 años.

- El timbre cambiará en función del tipo de instrumento que ejecutemos, pero hay relaciones generales entre los armónicos de los instrumentos de un mismo tipo, por ejemplo en los instrumentos de cuerda.
- El patrón que siguen los instrumentos de cuerda son **las relaciones armónicas de Pitágoras**.

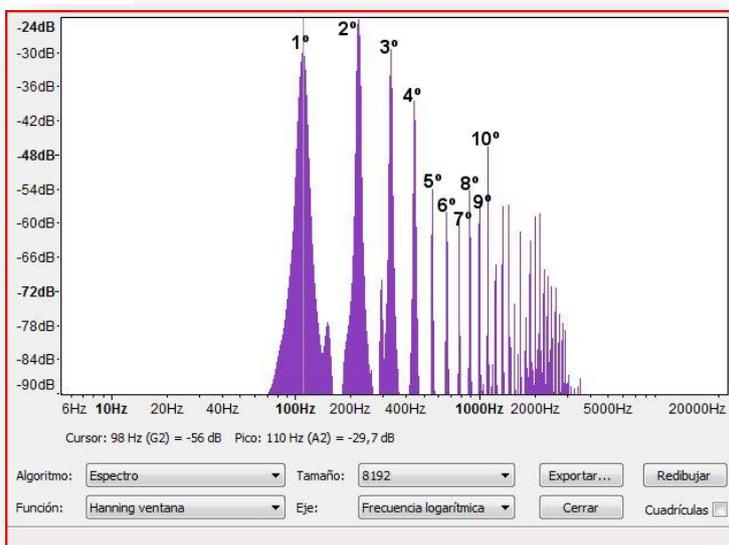
Ilustración 3



- En *la ilustración 3* podemos observar la gráfica de los armónicos de diferentes instrumentos. Un diapasón, un violín y un clarinete. La distancia entre las barras blancas y su altura ponen de manifiesto que la diferencia de frecuencia y de intensidad es notable, por esta razón nunca nadie ha confundido un Clarinete con un Violín.

### Conclusión: Análisis del timbre de una guitarra

Ilustración 4



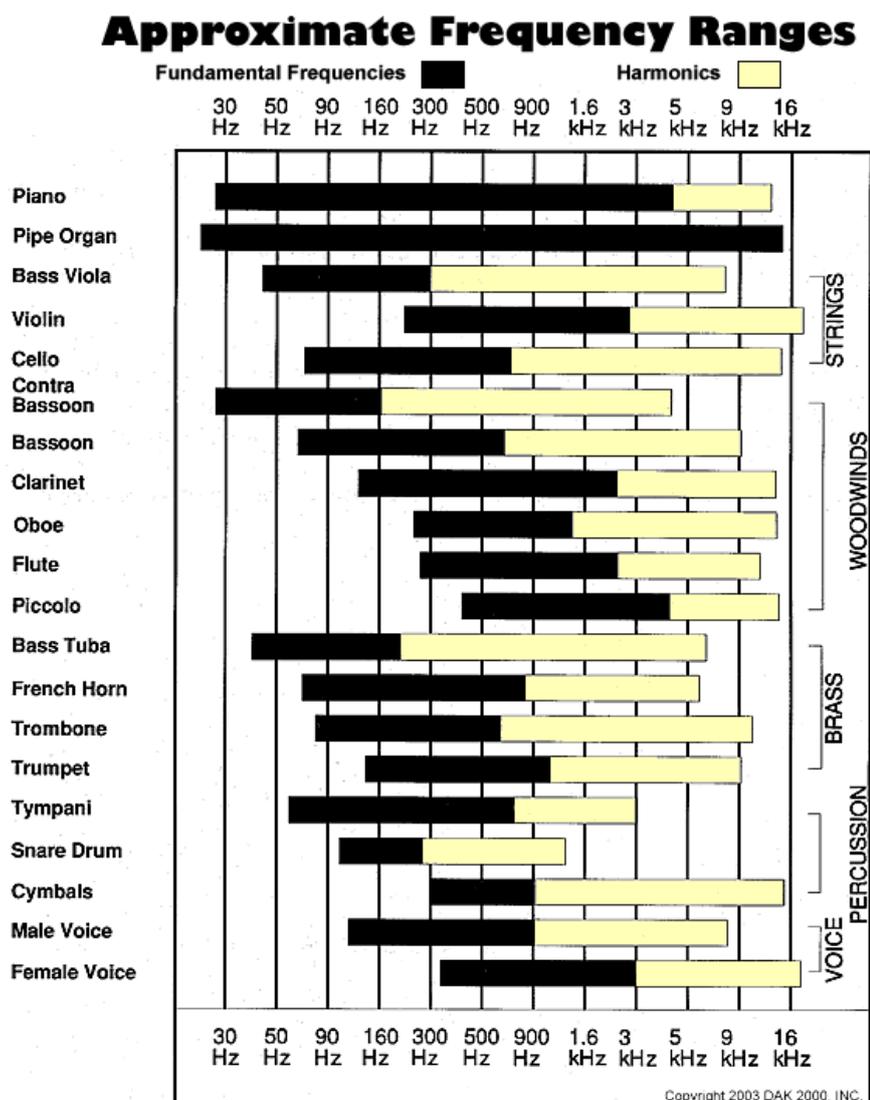
Armónico	Frec.	Nota
1º	110Hz	La <sub>2</sub>
2º	220Hz	La <sub>3</sub>
3º	330Hz	Mi <sub>4</sub>
4º	440Hz	La <sub>4</sub>
5º	550Hz	Do <sup>#</sup> <sub>4</sub>
6º	660Hz	Mi <sub>5</sub>
7º	770Hz	Sol <sub>5</sub>
8º	880Hz	La <sub>5</sub>
9º	990Hz	Si <sub>5</sub>
10º	1100Hz	C <sup>#</sup> <sub>6</sub>

Observando la [ilustración 4](#) visualizamos los armónicos de una guitarra, los cuales determinan su timbre característico. La intensidad de los armónicos varía según el tipo de guitarra, las maderas usadas, el juego de cuerdas montado y muchos otros factores, pero la distancia entre ellos sigue siempre una relación. Solo hace falta observar cómo aumenta la frecuencia.

**Curiosidad:** Un instrumento produce muchísimos armónicos, pero el oído humano sólo percibe tonos de frecuencia entre 20Hz y 20.000Hz, o sea, solo percibirá los armónicos que estén comprendidos entre estas dos frecuencias.

### Gráfica rango de frecuencias de los instrumentos

- En esta gráfica podemos observar entre qué valores están comprendidas las frecuencias de las notas fundamentales y los armónicos que produce un instrumento.



## 2.1 El timbre y la envolvente ADSR

- Al ejecutar una nota en un instrumento musical, ya sabemos que produce unos armónicos que son un conjunto de notas que acompañan a la primera nota ejecutada.
- Pero, ¿Qué pasa con estos armónicos? ¿Continúan sonando siempre con la misma intensidad?

La respuesta viene a ser esta: la **INTENSIDAD** (el volumen) de dichos armónicos **varía en función del tiempo**. Así pues, cuando ejecutamos una nota en un instrumento, los armónicos siguen tres etapas.

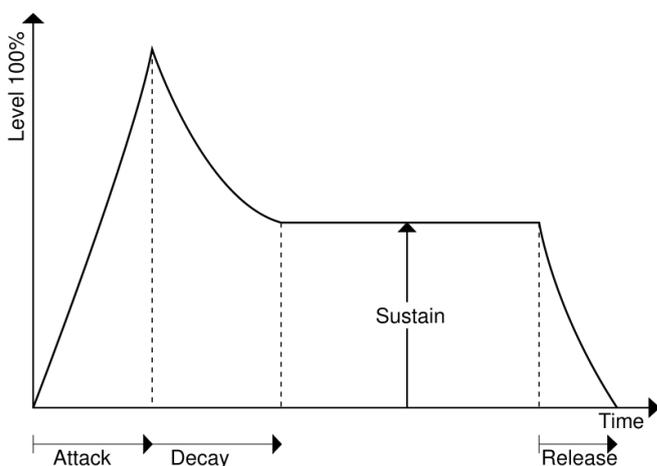
**El ataque (A):** los armónicos aumentan linealmente de intensidad.

**El decaimiento (D):** los armónicos disminuyen logarítmicamente hasta una intensidad constante.

**El sustain (S):** los armónicos se mantienen en una intensidad constante.

**La relajación (R):** los armónicos disminuyen de intensidad hasta extinguirse el sonido.

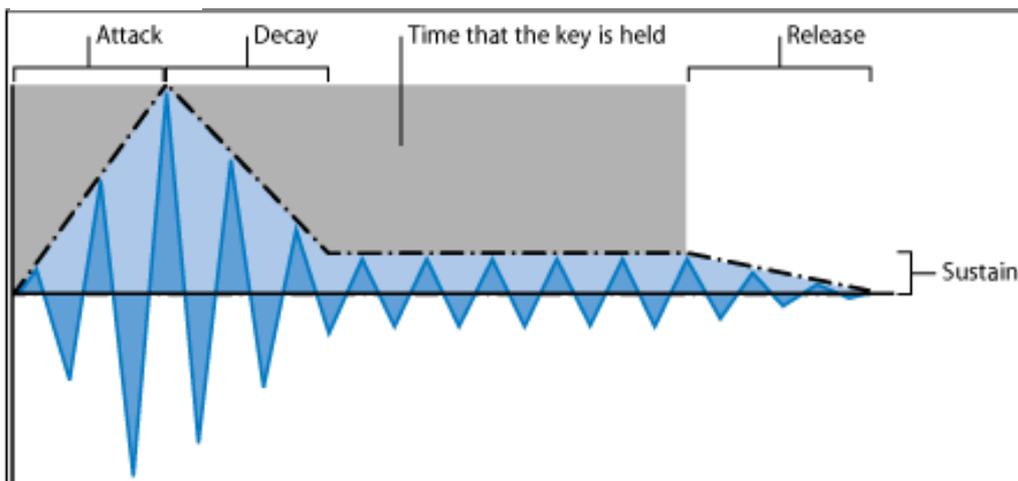
Ilustración 5



El análisis de este fenómeno se llama **envolvente** (Ilustración 5). Se llama así porque está relacionado con la amplitud de la onda de un sonido y en concreto es el gráfico que rodea la amplitud de la onda sonora (Ilustración 6). Más adelante hablaremos de cómo los armónicos forman una onda estudiando **las Series de Fourier**.

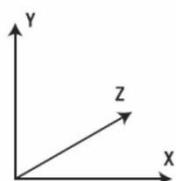
También se llama **ADSR**: Attack, Decay, Sustain, Release y se modifica electrónicamente en instrumentos como los sintetizadores o en procesos de producción musical.

Ilustración 6

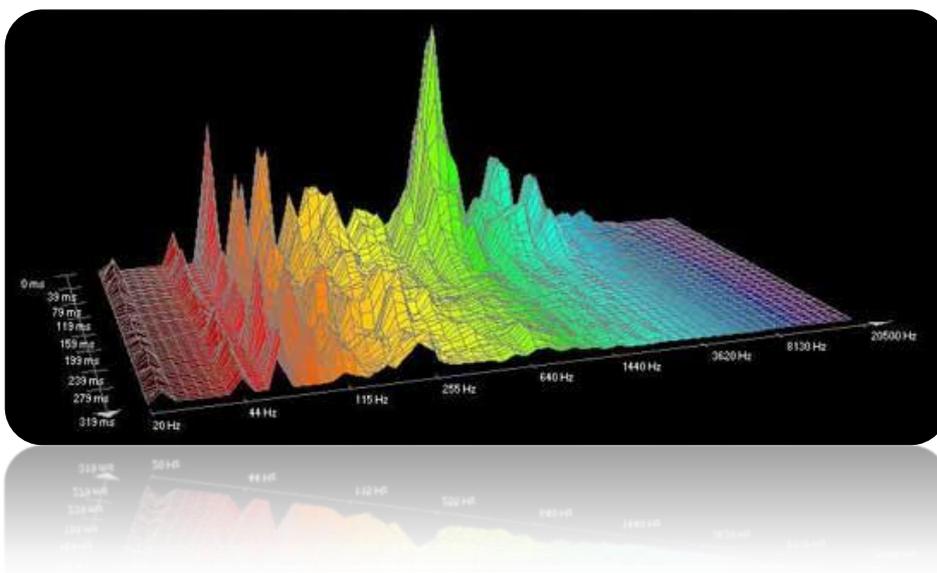


- Software como AUDACITY no servirá para realizar los gráficos de los armónicos y su amplitud (Espectrogramas). Pero con la ayuda de un software de grabación más potente como es WAVELAB podemos analizar la envolvente de un sonido y obtener una gráfica 3D que viene a ser un espectrograma en función del tiempo.

### Ejemplo de Envolvente en WAVELAB:



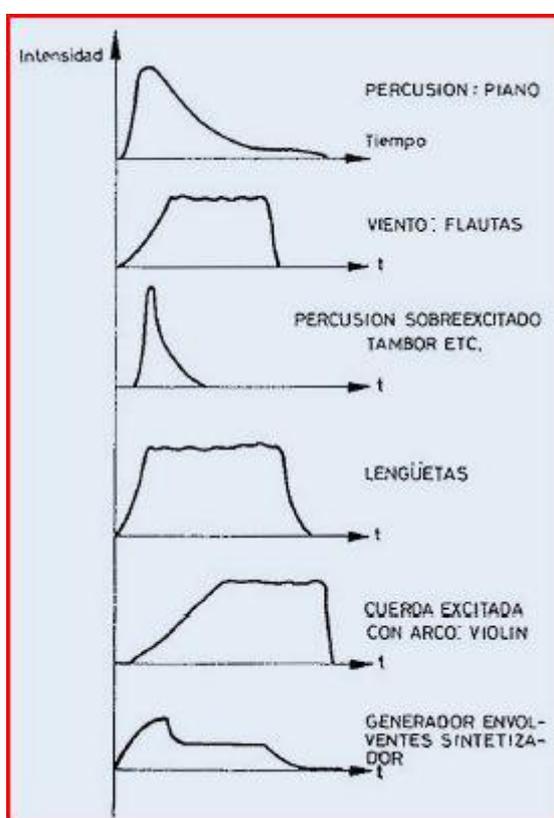
- Amplitud – Eje “y”
- Frecuencia – Eje “x”
- Tiempo – Eje “z”



- Podemos observar en el eje “z” que cuando los ms (milisegundos) aumentan, la altura de los picos (los armónicos) va disminuyendo hasta desaparecer. Con más precisión podríamos analizar las cuatro etapas de una envolvente en este espectrograma en función del tiempo (aunque este análisis se hace normalmente con la forma de la onda y no con un espectrograma en función del tiempo).

### 2.1.1 La envolvente de los instrumentos

Como ya hemos dicho, la envolvente es una característica más del timbre de un instrumento y para analizar dicho instrumento es imprescindible contar con ella. En este gráfico visualizaremos la envolvente (también llamada ADSR: Attack, Decay, Sustain, Release) de 6 instrumentos diferentes.



- Un piano es un instrumento de cuerda y percusión, tiene un ataque rápido y un decaimiento fuerte. No tiene sustain.

- Una flauta, al ser de viento, tiene un ataque lento pero un sustain potente, la relajación es muy brusca y no tiene decaimiento.

- Un tambor produce una ADSR parecida a un impulso, casi no hay sustain.

- Los instrumentos de lengüetas como las harmónicas carecen de decaimiento pero tienen mucho sustain.

- Una cuerda de violín produce un ataque lento y un sustain largo, prácticamente no tiene decaimiento.

Ilustración 7

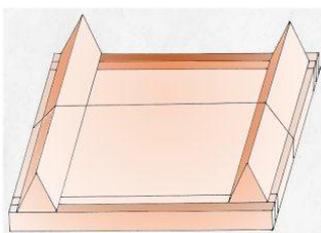
### Conclusión:

¿Para qué nos ha servido estudiar la definición de timbre? Pues en primer lugar, con esto podremos analizar un instrumento y cómo un efecto electrónico varía el sonido en él.

En segundo lugar, podemos explicar cómo un instrumento electrónico como el sintetizador puede emular sonidos de diferentes instrumentos. El sintetizador reproduce los armónicos y la envolvente del instrumento que quiere emular y es así como lo consigue, gracias al **timbre** y la **envolvente**.

## Interferencias armónicas

- En el apartado anterior hemos hablado del timbre de los instrumentos y las características de éste. Pero como en este trabajo vamos a centrarnos en la guitarra (eléctrica), tenemos que poner un énfasis en el origen de sus armónicos (timbre), ¿Cómo se producen?
- Consecuentemente estudiaremos los **modos de vibración de una cuerda** (sus armónicos) y las **frecuencias que producen**. Más adelante, en el siguiente apartado, estudiaremos los intervalos musicales entre estos modos de vibración.



Para empezar, debemos imaginar un instrumento monocordio (Ilustración 8). La cuerda de este instrumento, al ser accionada, producirá una frecuencia principal (llamada fundamental). Ésta depende de la tensión de la cuerda y de su longitud.

Ilustración 8

Entonces como ya sabemos, esta frecuencia fundamental va a estar acompañada por unos armónicos, ya que hablamos de una cuerda y no de un diapasón. Los armónicos que acompañen a la frec. fundamental determinarán el timbre del monocordio.

Pero, ¿Cómo se producen estos armónicos? ¿Cómo es posible que una cuerda al vibrar produzca tantas frecuencias complementarias de la fundamental?

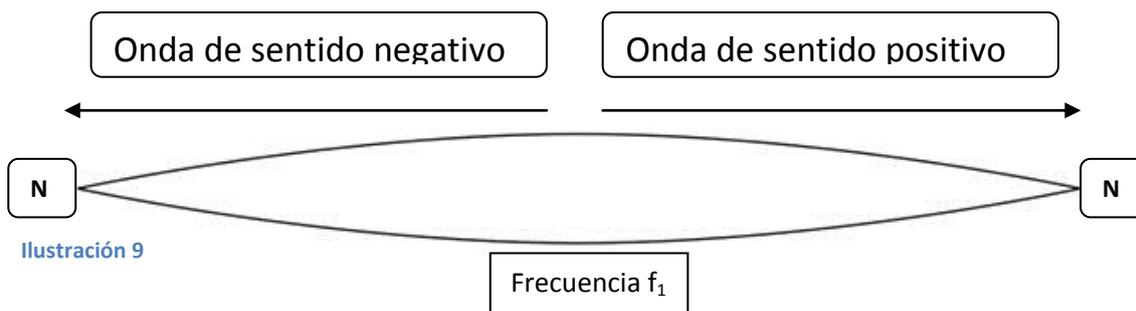


Ilustración 9

La explicación de éste fenómeno es física ya que vamos a hablar de ondas que se propagan por una cuerda. Ondas mecánicas.

- La fuente de la perturbación es nuestro dedo. Para empezar accionamos la cuerda. Con esta acción generamos dos ondas que se propagan por la cuerda en sentido opuesto (Ilustración 9). Este primer estado de vibración se llama armónico fundamental (*se anota  $n=1$* ) y sólo tiene dos nodos que coinciden con la cejilla y el puente de la guitarra (los extremos de la cuerda).

Los puntos N son llamados nodos y tienen la característica de que no vibran

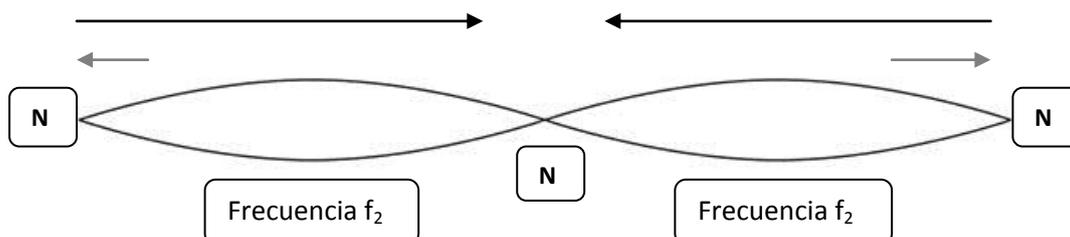


Ilustración 10

- Como la cuerda está cerrada por los dos lados, estas dos ondas colisionan con los extremos (la cejilla y el puente) y “rebotan” cambiando de dirección. Ahora viajan enfrentadas y consecuentemente colisionan (Ilustración 10).
- El resultado de esta colisión es otro nodo y también la creación de una subdivisión en el modo de vibrar de la cuerda en dos partes.
- Ahora vibra independientemente por los dos lados de este nodo. Como vibra independientemente por ambos lados, produce una frecuencia más aguda, y así nace el segundo armónico  $n=2$  que vibra con el doble de la frecuencia fundamental.

Ya sabemos cómo se produce el segundo armónico  $n=2$ . Entonces los siguientes seguirán esta misma mecánica a la hora de interferir y producirse. De hecho, la creación de estos armónicos se llama interferencias armónicas debido a este fenómeno.

### 1. Esquema, modos de vibración:

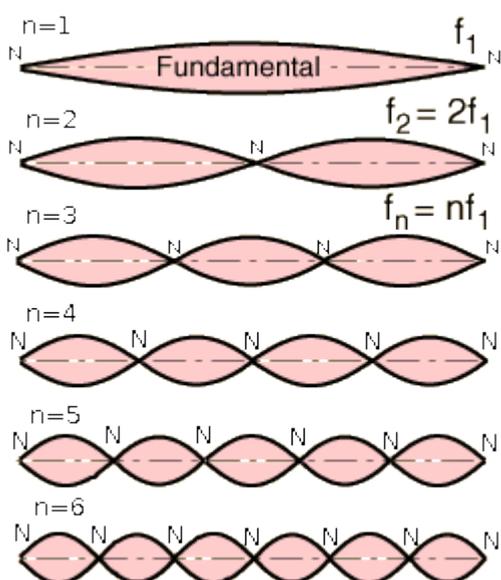


Ilustración 11

En la ilustración 11 podemos observar los modos de vibración correspondientes a los 6 armónicos de una cuerda.

- El número de nodos “N” siempre se relaciona como el número de armónico más uno.

$$N = n + 1$$

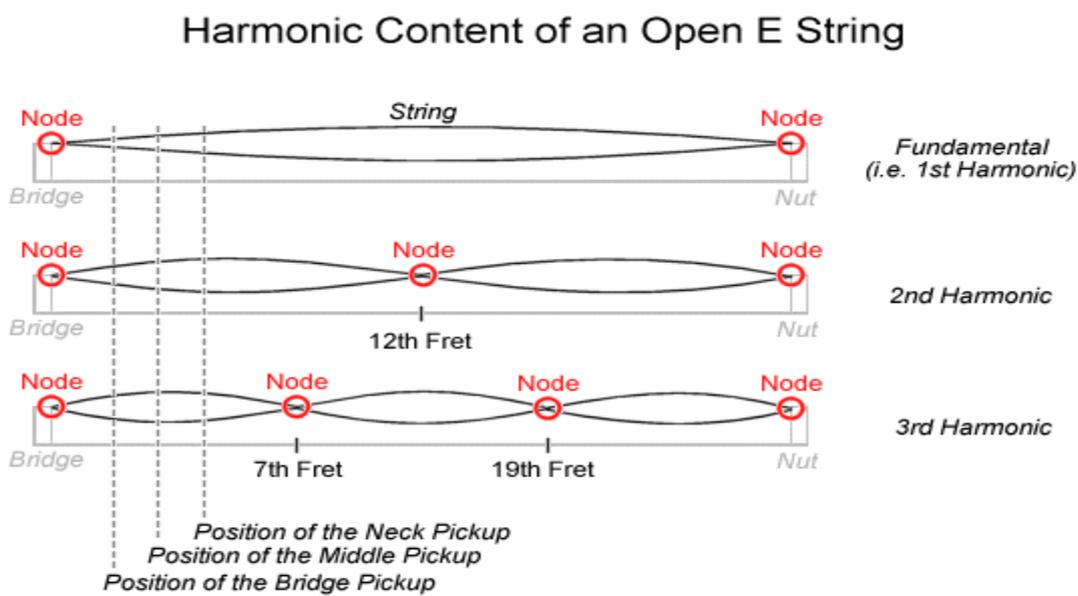
- La frecuencia del armónico es el producto de la frecuencia del armónico fundamental por el número de armónico.

$$f_n = n \cdot f_1$$

## 2. Curiosidades

1. Los nodos en la guitarra coinciden con determinados trastes y accionando la cuerda con el dedo de la mano izquierda reposado encima de estos trastes (sin apretar) podemos oír directamente el segundo o el tercer armónico.

Ilustración 12

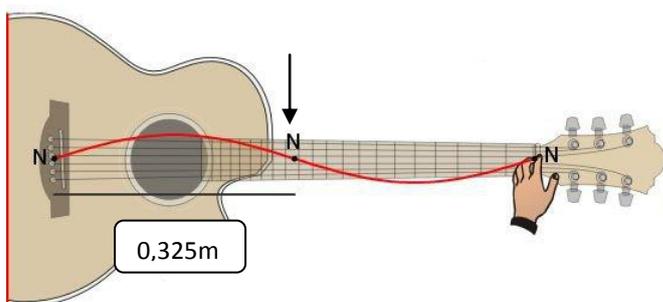


Por ejemplo, el segundo armónico ( $n=2$ ) se puede provocar reposando el dedo en el traste 12, ya que éste coincide con la mitad de la longitud de la cuerda. Entonces:

- La distancia entre nodos ( $X$ ) viene determinada por la división de la longitud total de la cuerda ( $L$ ) entre el número de armónico “ $n$ ”.

$$X = L/n$$

Ejemplo: Comprobamos que en el traste número 12 se encuentra un Nodo del segundo armónico.



Longitud de la cuerda “ $L$ ” = 0,65m

Número de armónico “ $n$ ” = 2

$$X = \frac{0,65}{2} = 0,325m$$



Ilustración 13

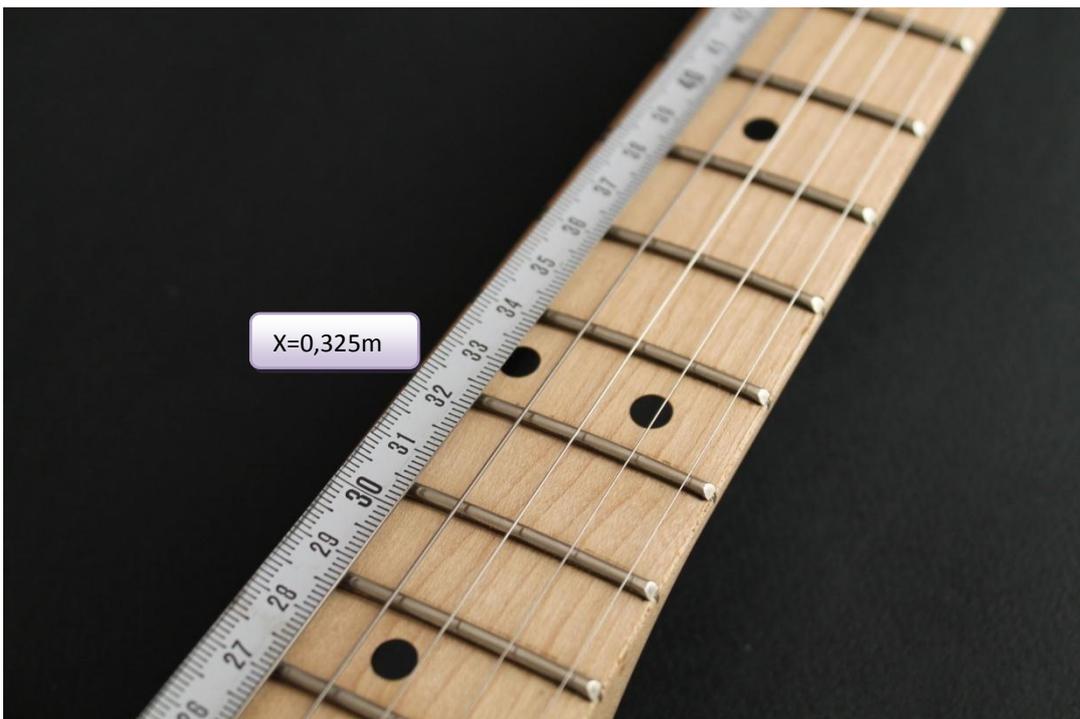
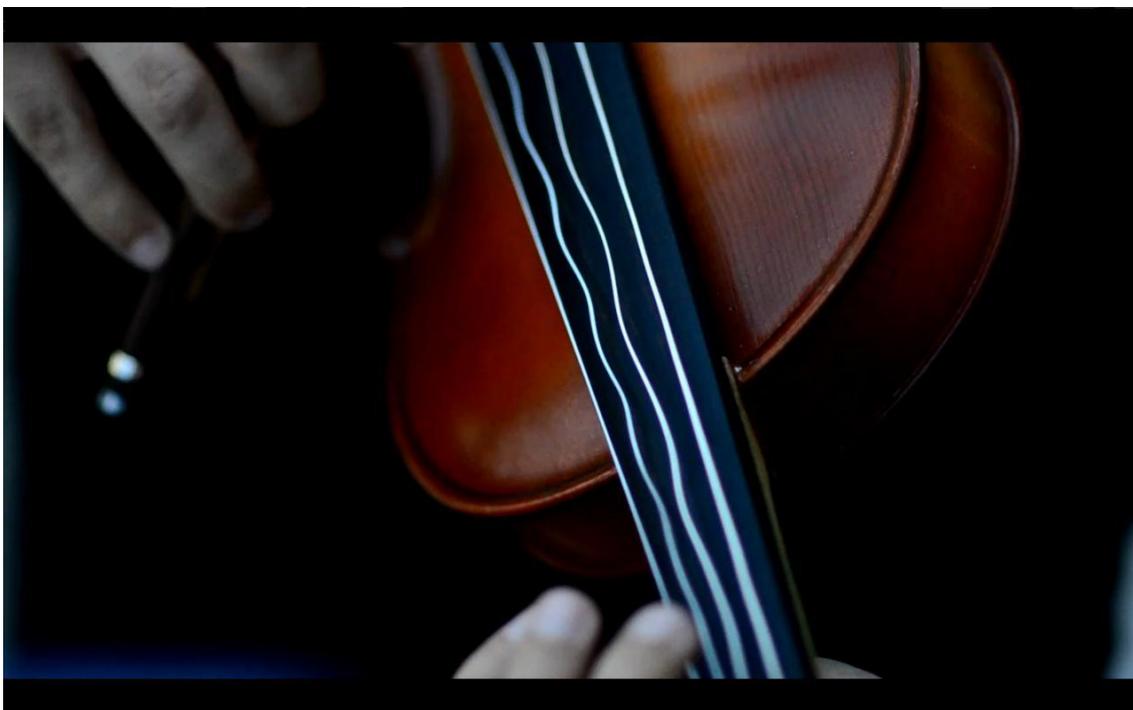


Ilustración 14

Efectivamente, el traste número 12, señalado en la guitarra con dos puntos negros (Ilustración 14), coincide con uno de los nodos del segundo armónico y por eso cuando reposamos el dedo en él y accionamos la cuerda oímos la frecuencia fundamental multiplicada por dos ( $f_2=2 \cdot f_1$ ).

2. Utilizando una cámara especial podemos visualizar los modos de vibración de una cuerda, por ejemplo, en un violín.

Ilustración 15



### 3. Características de los modos de vibración

Para acabar el apartado de interferencias armónicas vamos a relacionar las frecuencias de los armónicos con sus modos de vibración, el número de nodos y la distancia entre ellos en una cuerda de longitud 0,65m y afinada a 110Hz. Pero también debemos recordar que en la práctica ciertos factores pueden influir en los fenómenos armónicos.

- La madera y construcción del instrumento
- La técnica en la ejecución (púa, uñas, etc.)
- La electrónica usada en éste (los fonocaptores o pastillas electromagnéticas).
- Los efectos electrónicos (los cuales estudiaremos en éste trabajo).

Estos factores influirán mayoritariamente en la intensidad de los armónicos ya que teóricamente tiende a disminuir a la vez que los armónicos aumentan. En muchos casos particulares no ocurre así. Ejemplo: en la [Ilustración 16](#) sí ocurre, pero en la [Ilustración 17](#), no. La [Ilustración 16](#) es el espectro de una guitarra acústica, en cambio la [Ilustración 17](#) lo es de una guitarra eléctrica.

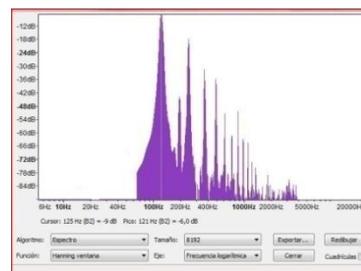


Ilustración 16

Una vez hecha esta puntualización, vamos a relacionar los armónicos que nos muestra un espectrograma y los modos de vibración de la cuerda.

Núm. Armónico	Frecuencia	Núm. de Nodos	Distancia entre Nodos
n=1	$f_1=1 \cdot 110=110\text{Hz}$	$N=1+1=2$	$X=0,65/1=0,65\text{m}$
n=2	$f_2=2 \cdot 110=220\text{Hz}$	$N=1+2=3$	$X=0,65/2=0,325\text{m}$
n=3	$f_3=3 \cdot 110=330\text{Hz}$	$N=1+3=4$	$X=0,65/3=0,217\text{m}$
n=4	$f_4=4 \cdot 110=440\text{Hz}$	$N=1+4=5$	$X=0,65/4=0,1625\text{m}$
n=5	$f_5=5 \cdot 110=550\text{Hz}$	$N=1+5=6$	$X=0,65/5=0,13\text{m}$
n=6	$f_6=6 \cdot 110=660\text{Hz}$	$N=1+6=7$	$X=0,65/6=0,108\text{m}$
n=7	$f_7=7 \cdot 110=770\text{Hz}$	$N=1+7=8$	$X=0,65/7=0,093\text{m}$
n=8	$f_8=8 \cdot 110=880\text{Hz}$	$N=1+8=9$	$X=0,65/8=0,081\text{m}$
n=9	$f_9=9 \cdot 110=990\text{Hz}$	$N=1+9=10$	$X=0,65/9=0,072\text{m}$
n=10	$f_{10}=10 \cdot 110=1100\text{Hz}$	$N=1+10=11$	$X=0,65/10=0,065\text{m}$

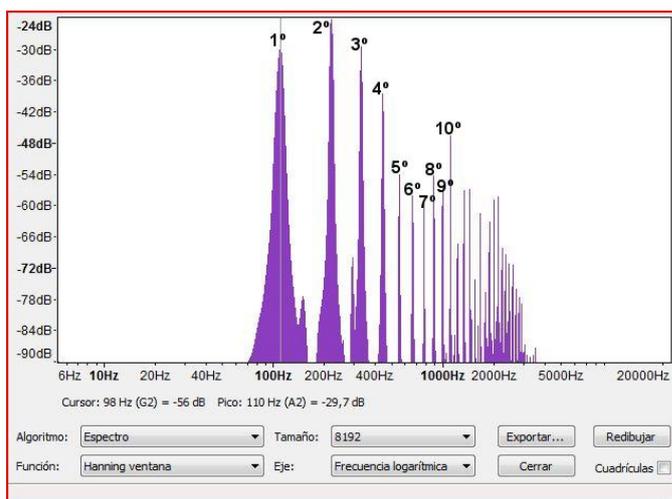


Ilustración 17

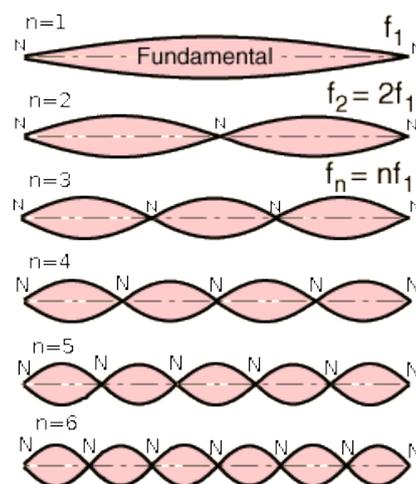


Ilustración 18

- En la **Ilustración 17**, vemos el espectrograma de los armónicos que produce una cuerda de 0,65m de longitud. Ésta está tensada de tal forma que produzca una frecuencia de 110Hz como fundamental ( $n=1$ ). En la **Ilustración 18** observamos el esquema de vibración de esta cuerda. Ambas ilustraciones están relacionadas en la tabla superior.
- Si relacionamos las dos Ilustraciones,  $n=1$  representa el 1º armónico y  $n=2$  el 2º etc, ya que el espectrograma nos muestra la frecuencia de los modos de vibración de la cuerda accionada y también la intensidad sonora en dB (decibelios).

Las subdivisiones de la cuerda causan sus armónicos. Éstos son cada vez más agudos y menos intensos.

### **Conclusión:**

En este apartado hemos descubierto de dónde viene el timbre de un instrumento de cuerda ya que hemos explicado cómo se producen sus armónicos y calculado sus frecuencias siguiendo las fórmulas de las *interferencias armónicas*.

Aunque no podemos determinar exactamente la intensidad de todos los armónicos de éste, si tenemos una relación general. En un instrumento de cuerda la intensidad de los armónicos disminuye progresivamente.

Ahora bien, como hasta ahora sólo hemos hablado de frecuencias, no podemos deducir si estos armónicos suenan con armonía, es decir, suenan agradables o tienen alguna relación musical entre ellos. En el siguiente apartado vamos a estudiar los intervalos musicales que hay entre los armónicos y también cómo se descubrieron.

## Relaciones armónicas

Pitágoras de Samos (Grecia, 580 a.C.- 496 a.C.) fue un gran matemático y filósofo. Este personaje polifacético también se adentró en el mundo de la armonía musical. Con sus descubrimientos en un monocordio se consiguió promover un modelo de escala musical que, con el paso del tiempo, se ha ido corrigiendo y mejorando hasta el modelo actual.



Nosotros usaremos sus teorías de armonía para estudiar los intervalos musicales que hay entre los armónicos estudiados en el apartado anterior.

Antes de nada, debemos entender cómo descubrió la relación o proporción entre los intervalos musicales y la longitud de la cuerda en un monocordio. Después aplicaremos estas teorías a los armónicos. Cabe remarcar que Pitágoras aún desconocía los fenómenos armónicos.

**Nota:** Antes de adentrarnos en estos conceptos debemos definir qué es un intervalo musical.

### 1. Los intervalos musicales

En música, un intervalo musical es una combinación de dos notas cuya distancia se mide en tonos y semitonos.



Ilustración 19

T T S T T S  
DO RE MI FA SOL LA SI DO

Ilustración 20

Usando como modelo la escala de Do M, todas las notas tienen una distancia de un tono con la siguiente menos el *Mi* y el *Si*, las cuales tienen una distancia de un semitono ( $\frac{1}{2}$  tono). Esto significa que de *Mi* a *Fa* hay un semitono, y de *Si* a *Do* hay un semitono (Ilustración 20).

Entonces cuando analicemos un intervalo tendremos que tener en cuenta su grado para denotarlo como 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, (...). El grado lo deducimos contando las notas que hay desde la primera hasta la segunda.

- Por ejemplo: Un intervalo Do-Sol tiene un grado de 5ª, pues contemos desde la primera nota. **Do** (1), **Re** (2), **Mi** (3), **Fa** (4), **Sol** (5). [Ilustración 21](#).

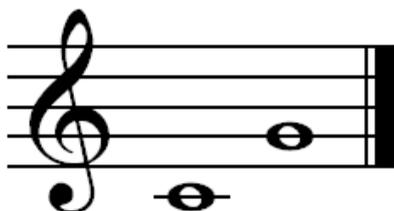


Ilustración 21

Una vez sabemos el grado tenemos que contar la distancia (número de tonos y semitonos). Según la distancia será mayor, menor, justo, aumentado o disminuido.

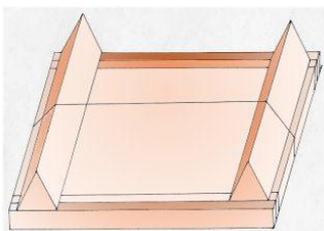
- Por ejemplo: de Do a Sol hay 3 tonos y 1 semitono. Como hay 3 tonos y 1 semitono corresponderá con un intervalo de 5ª justa.

<b>Do-Re</b>	1 tono
<b>Re-Mi</b>	1 tono
<b>Mi-Fa</b>	1 semitono
<b>Fa-sol</b>	1 tono
	3 tonos y 1 semitono

## Tabla de intervalos

<i>Nombre del intervalo</i>	<i>Grado</i>	<i>Distancia</i>
<b>Unísono</b>	1	0
<b>Segunda menor</b>	2	1 semitono
<b>Segunda mayor</b>	2	1 tono
<b>Tercera menor</b>	3	1 tono y 1 semitono
<b>Tercera mayor</b>	3	2 tonos
<b>Cuarta justa</b>	4	2 tonos y 1 semitono
<b>Cuarta aumentada</b>	4	3 tonos
<b>Quinta justa</b>	5	3 tonos y 1 semitono
<b>Sexta menor</b>	6	4 tonos
<b>Sexta mayor</b>	6	4 tonos y 1 semitono
<b>Séptima menor</b>	7	5 tonos
<b>Séptima mayor</b>	7	5 tonos y 1 semitono
<b>Octava justa</b>	8	6 tonos

## 2. El monocordio y los intervalos



Pitágoras experimentó con un monocordio, una simplificación de una guitarra con sólo una cuerda y sin trastes (Ilustración 22).

Ilustración 22

- Entonces al accionar la cuerda, ésta vibraba y producía una nota musical. Vamos a suponer que produce un  $Do_2$ .
- Luego se planteó accionar la cuerda por la mitad de la longitud total, obteniendo la otra mitad vibrando. En este caso se produjo un fenómeno sorprendente, la cuerda vibraba con la misma nota pero **una octava por encima**, por ejemplo con un  $Do_3$  (el doble de frecuencia que un  $Do_2$ ).
- Otra vez quiso disminuir la longitud de la cuerda, esta vez una tercera parte. Obtuvo dos terceras partes vibrando y sonó un *Sol*, formando un **intervalo de quinta**, *Do-Sol*.
- Más tarde redujo la longitud en una cuarta parte obteniendo tres cuartas partes libres. En este caso sonó un **intervalo de cuarta**, o sea un *Do-Fa*.

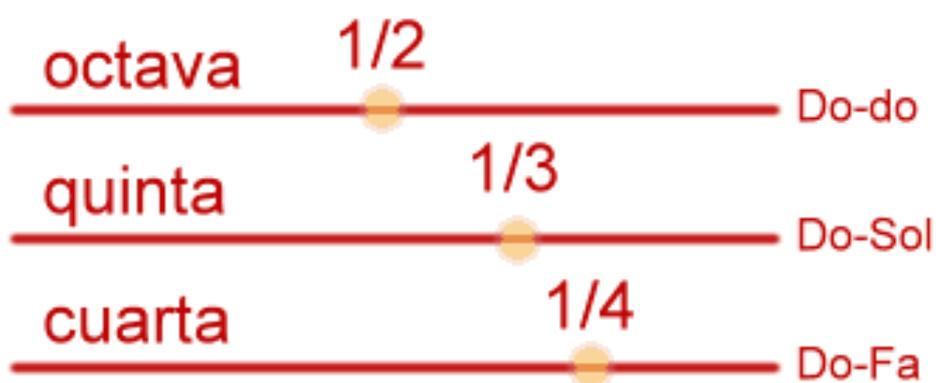


Ilustración 23

De estos fenómenos musicales, se extrajo una **relación matemática**. Esta relación nos permite, por ejemplo, calcular una quinta o una cuarta usando la frecuencia y no la nota. También nos aseguramos de que estos intervalos son agradables y suenan armónicamente.

**Relación:**

$$\frac{n + 1}{n}$$

Dónde “n” es la subdivisión de la cuerda. (Para ½ de la longitud, n=1).

Por ejemplo:

<b>1º</b>	$\frac{1 + 1}{1} = \frac{2}{1}$	<i>intervalo de <b>octava</b></i>	<b>1/2</b> de la Longitud
<b>2º</b>	$\frac{2 + 1}{2} = \frac{3}{2}$	<i>intervalo de <b>quinta</b></i>	<b>2/3</b> de la Longitud
<b>3º</b>	$\frac{3 + 1}{3} = \frac{4}{3}$	<i>intervalo de <b>cuarta</b></i>	<b>3/4</b> de la Longitud

$440 \cdot 2/1 = 880\text{Hz}$	440Hz=La <sub>3</sub> 880Hz=La <sub>4</sub>	<i>intervalo de <b>octava</b></i>	<b>1/2</b> de la Longitud
$440 \cdot 3/2 = 660\text{Hz}$	440Hz=La <sub>3</sub> 660Hz=M <sub>i</sub> <sub>4</sub>	<i>intervalo de <b>quinta</b></i>	<b>2/3</b> de la Longitud
$440 \cdot 4/3 = 587\text{Hz}$	440Hz=La <sub>3</sub> 587Hz=Re <sub>4</sub>	<i>intervalo de <b>cuarta</b></i>	<b>3/4</b> de la Longitud

## 2.1 Los intervalos en la práctica

Vamos a comprobar (en nuestra guitarra) que Pitágoras tenía razón. Simplemente tenemos que medir la longitud total de una cuerda de nuestra guitarra y restarle 1/2, 1/3 ó 1/4 parte.

En este caso,

- 1/2 de la longitud corresponde con el **traste 12º**.
- 1/3 de la longitud corresponde con el **traste 7º**.
- 1/4 de la longitud corresponde con el **traste 5º**.

MI 1	FA	FA#/SOLb	SOL	SOL#/LAB	LA	LA#/SIB	SI	DO	DO#/REb	RE	RE#/MIB	MI
SI 2	DO	DO#/REb	RE	RE#/MIB	MI	FA	FA#/SOLb	SOL	SOL#/LAB	LA	LA#/SIB	SI
SOL 3	SOL#/LAB	LA	LA#/SIB	SI	DO	DO#/REb	RE	RE#/MIB	MI	FA	FA#/SOLb	SOL
RE 4	RE#/MIB	MI	FA	FA#/SOLb	SOL	SOL#/LAB	LA	LA#/SIB	SI	DO	DO#/REb	RE
LA 5	LA#/SIB	SI	DO	DO#/REb	RE	RE#/MIB	MI	FA	FA#/SOLb	SOL	SOL#/LAB	LA
MI 6	FA	FA#/SOLb	SOL	SOL#/LAB	LA	LA#/SIB	SI	DO	DO#/REb	RE	RE#/MIB	MI
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Mi, 1ª

Mi-La, 4ª

Mi-Si, 5ª

Mi-Mi, 8ª

*\*Esquema de un diapasón de guitarra y sus respectivas notas. Más allá del 12º traste las notas se repiten y al final del diapasón se encuentra la boca de la guitarra y el cuerpo.*

Entonces, queda contrastado que: al pisar la cuerda de un instrumento por estas divisiones fraccionarias, se producen intervalos armónicos para nuestro oído. El descubrimiento de Pitágoras fue crucial para organizar escalas musicales y trasteados de instrumentos. Aunque más tarde se corrigió cierta desafinación con la escala temperada.

### 3. Los intervalos en los fenómenos armónicos

En el apartado de interferencias armónicas ya hablamos de que los armónicos son un conjunto de subdivisiones de una cuerda. Éstas causan un conjunto de frecuencias más elevadas que la fundamental. La frecuencia de los armónicos sigue la fórmula  $f_n = n \cdot f_1$  y sus notas musicales forman una escala llamada serie armónica (Ilustración 24).

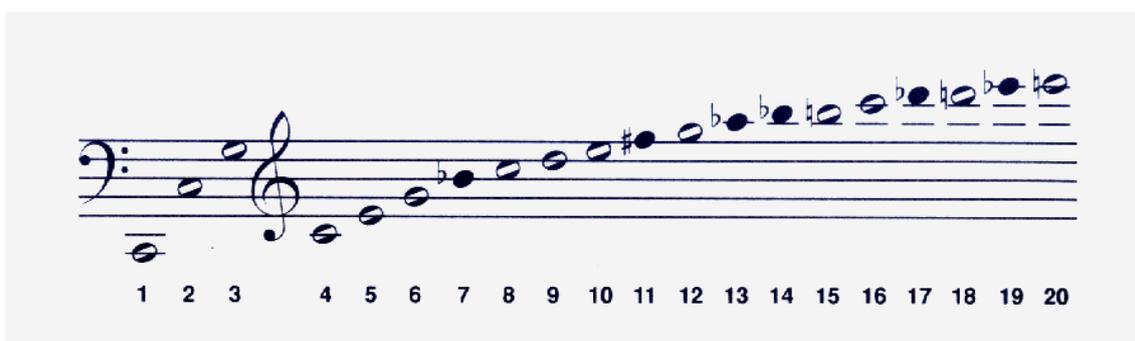


Ilustración 24

Entre estos armónicos curiosamente también hay una relación que se puede medir en intervalos. Estos intervalos seguirán el mismo orden que los estudiados anteriormente en el monocordio y en consecuencia siguen la relación descrita por Pitágoras pero con una pequeña diferencia.

Pitágoras definió los intervalos siempre respecto a la fundamental (la cuerda en su longitud total), en cambio aquí veremos que los intervalos se estudian entre armónicos. Concretamente entre armónicos sucesivos.

Entrando en materia, vamos a definir esta variación de la relación Pitagórica.

<b>Octava Justa</b>	$\frac{2 \cdot f_1}{f_1} = \frac{2}{1}$
<b>Quinta Justa</b>	$\frac{3 \cdot f_1}{2 \cdot f_1} = \frac{3}{2}$
<b>Cuarta justa</b>	$\frac{4 \cdot f_1}{3 \cdot f_1} = \frac{4}{3}$
<b>Tercera Mayor</b>	$\frac{5 \cdot f_1}{4 \cdot f_1} = \frac{5}{4}$
<b>Tercera Menor</b>	$\frac{6 \cdot f_1}{5 \cdot f_1} = \frac{6}{5}$

\* $f_1$ = frecuencia fundamental

Si recuperamos el ejemplo del timbre de una guitarra de la introducción podremos analizar los intervalos entre los armónicos. El número que multiplica a  $f_1$  en la tabla superior corresponde a “n”, que aquí definimos como el número de armónico (el fundamental es n=1).

<b>Octava Justa</b>	$110\text{Hz (La}_2) \cdot 2/1 = 220\text{Hz (La}_3)$	$\frac{2 \cdot 110}{110} = \frac{2}{1}$	<b>La<sub>2</sub>-La<sub>3</sub></b>
<b>Quinta Justa</b>	$220\text{Hz (La}_3) \cdot 3/2 = 330\text{Hz (Mi}_4)$	$\frac{3 \cdot 110}{2 \cdot 110} = \frac{3}{2}$	<b>La<sub>3</sub>-Mi<sub>4</sub></b>
<b>Cuarta justa</b>	$330\text{Hz (Mi}_4) \cdot 4/3 = 440\text{Hz (La}_4)$	$\frac{4 \cdot 110}{3 \cdot 110} = \frac{4}{3}$	<b>Mi<sub>4</sub>-La<sub>4</sub></b>
<b>Tercera Mayor</b>	$440\text{Hz (La}_4) \cdot 5/4 = 550\text{Hz (Do}^\#_4)$	$\frac{5 \cdot 110}{4 \cdot 110} = \frac{5}{4}$	<b>La<sub>4</sub>-Do<sub>4</sub><sup>#</sup></b>
<b>Tercera Menor</b>	$550\text{Hz (Do}^\#_4) \cdot 6/5 = 660\text{Hz (Mi}_5)$	$\frac{6 \cdot 110}{5 \cdot 110} = \frac{6}{5}$	<b>Do<sub>4</sub><sup>#</sup>-Mi<sub>5</sub></b>

- Multiplicamos la **frecuencia fundamental** por **2/1** y obtenemos la **octava**.
- Multiplicamos la **octava** por **3/2** y obtenemos una **quinta justa**.
- Multiplicamos la **quinta** por **4/3** y obtenemos una **cuarta justa**.
- Multiplicamos la **cuarta justa** por **5/4** y obtenemos la **tercera mayor**.
- Multiplicamos la **tercera mayor** por **6/5** y obtenemos la **tercera menor**.

## 4. Ejemplo

En el espectrograma, realizado de ejemplo sobre las frecuencias de las interferencias armónicas, podemos comprobar también los intervalos entre los armónicos. Solo tenemos que traducir las frecuencias a notas musicales.

*\*Para traducir las frecuencias a notas musicales podemos buscar las tablas con la equivalencia. Son fruto de un conjunto de operaciones matemáticas con potencias y logaritmos que no introduciremos para no extender demasiado este documento.*

Armónico	Frec.	Nota
1º	110Hz	La <sub>2</sub>
2º	220Hz	La <sub>3</sub>
3º	330Hz	Mi <sub>4</sub>
4º	440Hz	La <sub>4</sub>
5º	550Hz	Do <sup>#</sup> <sub>4</sub>
6º	660Hz	Mi <sub>5</sub>
7º	770Hz	Sol <sub>5</sub>

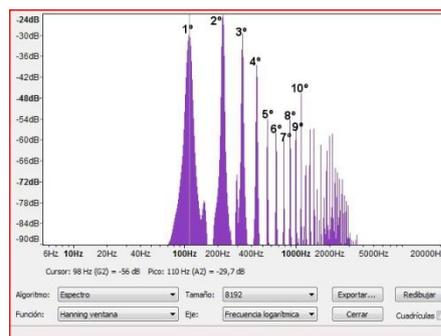


Ilustración 25

Efectivamente, se cumple que:

- Hay un intervalo de octava entre el 1º y el 2º.
- Uno de quinta entre el 2º y el 3º.
- Uno de cuarta entre el 3º y el 4º.
- Uno de tercera mayor entre el 4º y el 5º.
- Uno de tercera menor entre el 5º y el 6º.

### Conclusión:

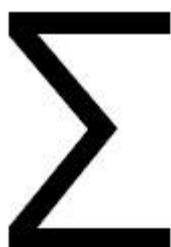
En este apartado hemos descubierto los intervalos armoniosos que hay entre los diferentes modos de vibración de una cuerda. Hay una excepción, y es que a partir del 7º armónico se producen intervalos de 2ª y de otro tipo, los cuales no son tan agradables para nuestro oído (son disonantes).

Como curiosidad, podemos decir que los intervalos de octava, cuarta, quinta y tercera son muy usados para componer acordes ya que estos fenómenos se usaron como referencia a la hora de elaborar las teorías de armonía musical. Son especialmente importantes porque surgen de manera natural, como ya hemos dicho, Pitágoras descubrió que estos armónicos naturales sonaban muy agradables para nuestro oído.

*Nota:* de todas formas el concepto agradable/desagradable tiene una interpretación cultural y temporal. Al largo de la historia los intervalos se han clasificado de diferente forma, por ejemplo: el intervalo de 7ª era considerado disonante en el siglo XVII.

## Series de Fourier y FFT

### 1. Introducción Ondas



Hasta ahora hemos visto cómo se producen los fenómenos armónicos y las relaciones musicales entre ellos. Más allá de todo esto también tenemos que tener en cuenta como llega el sonido a nuestros oídos o a un micrófono. ¿Cómo es la señal que transmiten estas máquinas?.

Procesando una señal eléctrica obtenemos toda la información de los apartados anteriores, **los espectrogramas, la envolvente**, etc.

Para empezar vamos a introducir como es una onda pura. Ésta matemáticamente se obtiene de la representación gráfica de las funciones seno y coseno. Recordemos que en la práctica sólo los diapasones y los generadores de funciones son capaces de producir una onda así.

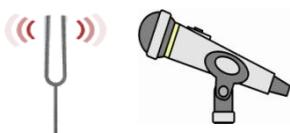


Ilustración 26

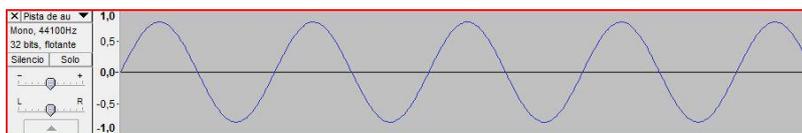


Ilustración 27

Por ejemplo, imaginemos que la grabación de un diapason sonando nos ha dado la onda de la Ilustración 27. ¿Qué significa ésta onda?

- El diapason al vibrar produce una compresión y descompresión de aire que concuerda con la onda (Ilustración 28).

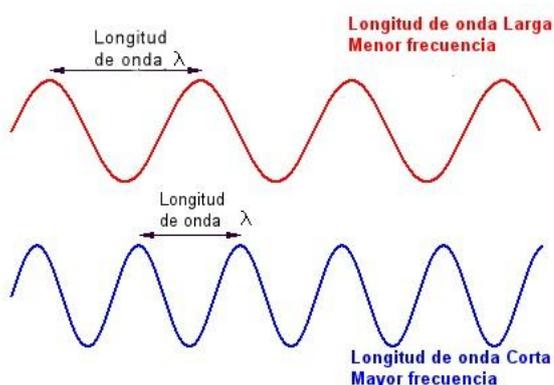


*Nota:* La **compresión** del aire forma el **pico** de la onda. Al contrario, una **descompresión** formará **la valle** de ésta.

Ilustración 28

- La vibración del aire ha viajado a 340m/s y ha sido captada por un micrófono que la ha convertido en esta onda eléctrica (Ilustración 26 - Ilustración 27). Ésta tiene las siguientes propiedades:

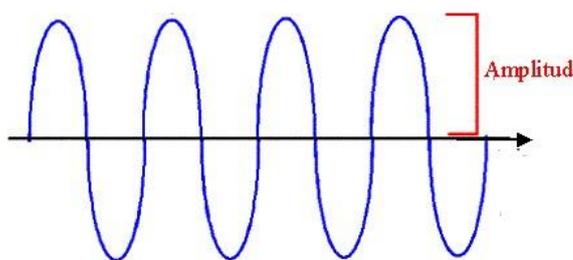
- **Frecuencia (f):** es la razón entre el número de oscilaciones y el tiempo.



La frecuencia está estrictamente relacionada con el tono que produce la onda.

Ilustración 29

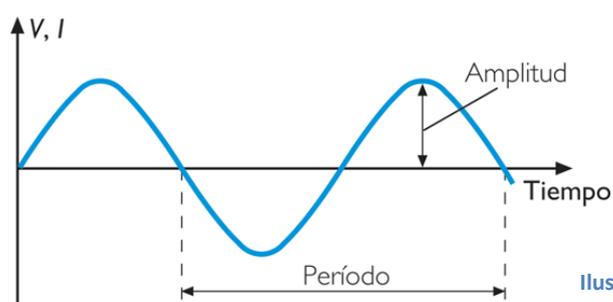
- **Amplitud (A):** es el valor máximo que alcanza la onda en su pico o en su valle.



La amplitud de la onda determina el volumen del sonido al cual representa. Una onda con mucha amplitud desemboca en un sonido con muchos decibelios.

Ilustración 30

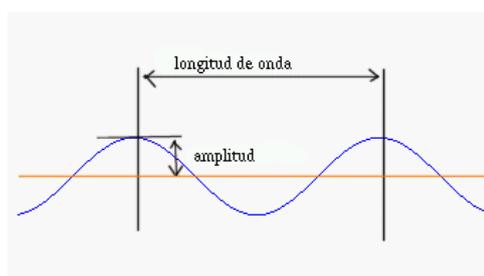
- **Período (T):** es el tiempo que tarda en hacer una oscilación entera.



El período y la frecuencia son inversamente proporcionales.

Ilustración 31

- **Longitud de onda ( $\lambda$ ):** es la distancia entre dos puntos en el mismo estado de vibración.



La frecuencia y la longitud de onda son inversamente proporcionales (Ilustración 29).

Ilustración 32

Nuestro diapasón ha producido una onda sonora que ha sido captada por un micrófono. Con la señal eléctrica del micrófono hemos representado una gráfica Amplitud-Tiempo de donde hemos extraído información diversa, como por ejemplo, la frecuencia. Esta gráfica corresponde a una función **sinusoidal pura**.

- Vamos a analizar ahora la onda de un sonido de guitarra eléctrica.

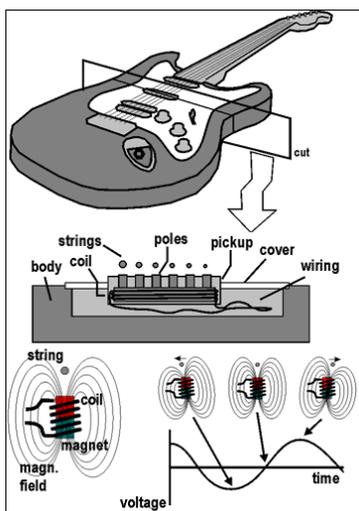


Ilustración 33



Ilustración 34

Esta onda eléctrica es el resultado de la perturbación ejercida por la cuerda sobre el campo magnético de la pastilla electromagnética de la guitarra (Ilustración 34).

La información que podemos extraer de esta onda es mínima debido a su aparente complejidad. Para descifrarlo recurriremos a las teorías de Fourier.

## 2. Las Series de Fourier



Joseph Fourier fue un matemático y físico del siglo XVIII que descubrió una expresión matemática para describir una onda compleja a partir de una suma de ondas puras (sinusoidales). Según dice Fourier, la onda que hemos observado en la [Ilustración 34](#), es una suma de ondas sinusoidales con frecuencias enteras.

Esta expresión matemática es muy compleja y se basa en la idea de sumatorio.

$$\sum_{n=1}^{\infty}$$

La expresión del sumatorio sirve para representar una suma de muchos sumandos. En este caso será la suma de muchas funciones sinusoidales. Recordemos que estas funciones representan un sonido puro (como los armónicos).

Partimos de la base que: *“Toda onda compleja periódica se puede representar como la suma de ondas simples”*.

**Ilustración de las series de Fourier:**

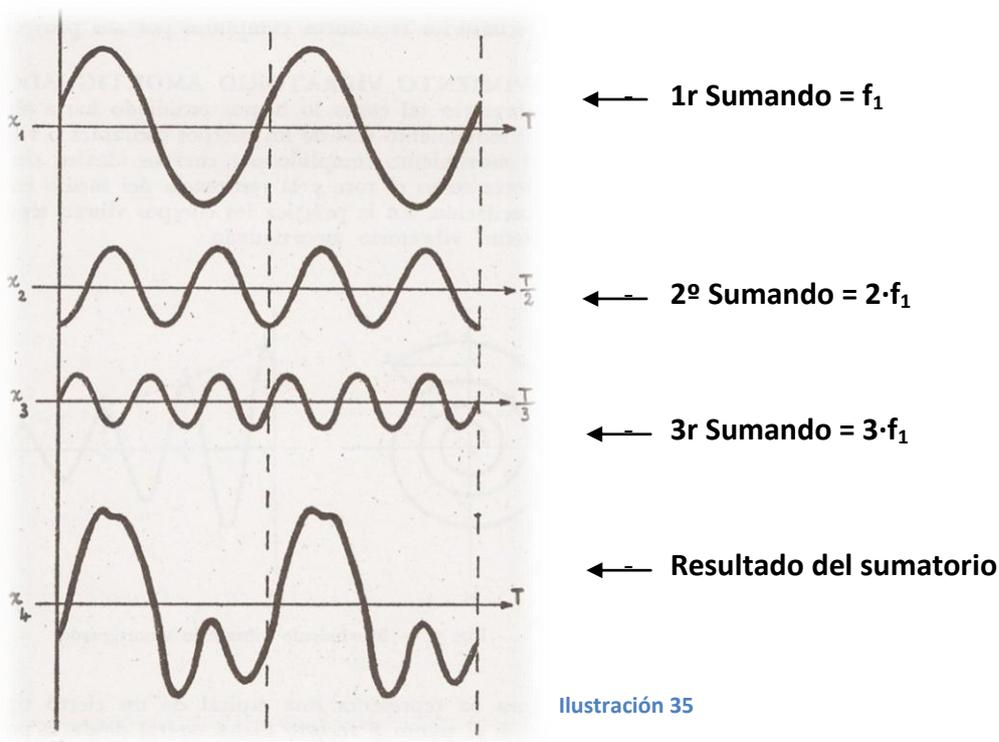


Ilustración 35

En la [Ilustración 35](#) vemos cómo las tres ondas, que sucesivamente aumentan de frecuencia y disminuyen de amplitud, han dado resultado a una onda compleja.

Si nos fijamos en los sumandos, la primera onda tiene una **frecuencia  $f_1$** , la segunda una **frecuencia de  $f_1 \cdot 2$**  y la tercera una **frecuencia de  $f_1 \cdot 3$** . Esto nos recuerda a las *interferencias armónicas*, pues la onda compleja que hemos visualizado con osciloscopio en la [Ilustración 34](#) es una suma de ondas armónicas.

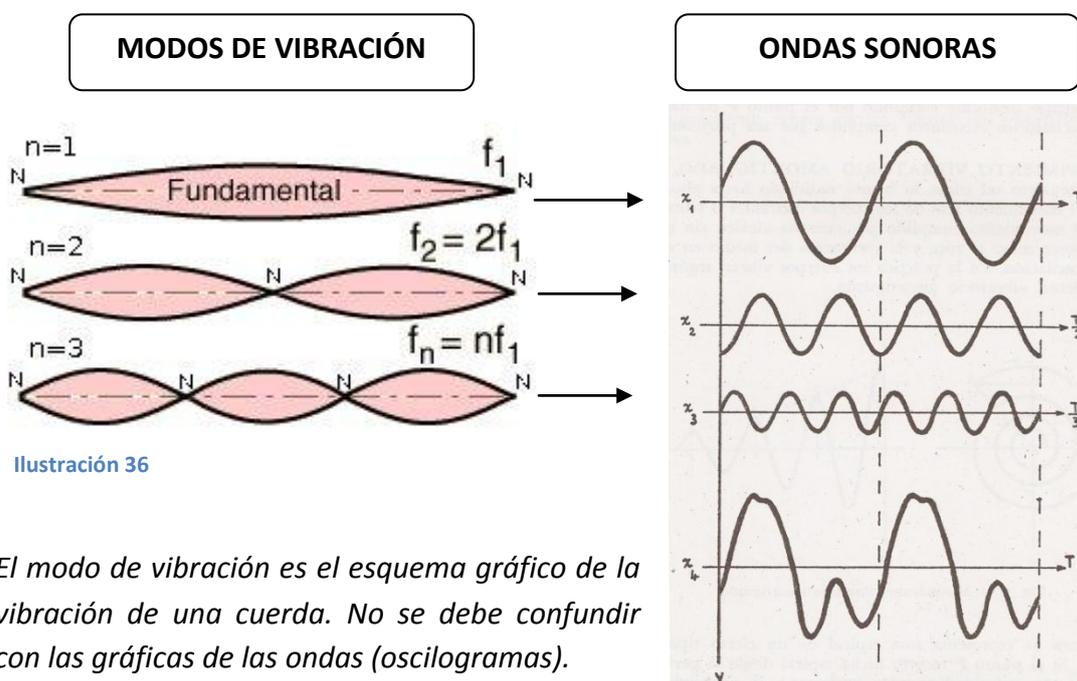


Ilustración 36

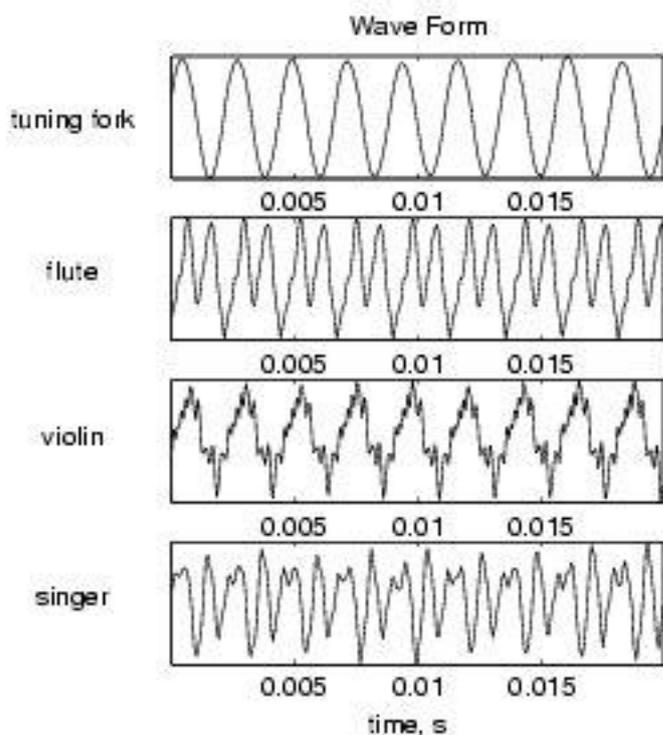
El modo de vibración es el esquema gráfico de la vibración de una cuerda. No se debe confundir con las gráficas de las ondas (oscilogramas).

Ilustración 37

Cada modo de vibración de la [Ilustración 36](#) produce una vibración en el aire que origina una onda pura como las de la [Ilustración 37](#). Cuando grabamos el sonido de una cuerda vibrando con sus modos de vibración captamos la **suma de las ondas** de éstos.

Básicamente, esta es la idea del sumatorio de Fourier. En este caso el sumatorio se realiza con los armónicos del instrumento. Si un instrumento realiza más o menos unos armónicos el resultado del sumatorio será diferente. Por ejemplo, vamos a ver la onda de diferentes instrumentos ([Ilustración 38](#)).

*Nota: El aparato encargado de dibujar la gráfica de una onda eléctrica se llama osciloscopio, aunque también se puede hacer digitalmente con software libre como Audacity.*



En esta ilustración observamos la onda producida por un diapasón, una flauta, un violín y un cantante.

Ilustración 38

- La forma de esta onda depende, como ya hemos dicho del número de armónicos/ondas, la intensidad de éstos/éstas y también del **desfase entre las ondas** de los armónicos.

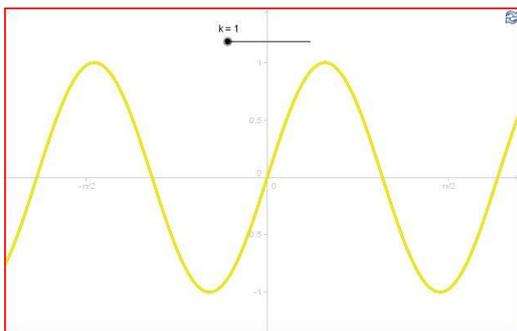
El desfase corresponde a las distintas posiciones iniciales de cada onda. En la [Ilustración 37](#) todas las ondas están desfasadas, esto significa que empiezan en diferentes valores del eje vertical.

## 2.1 Las series de Fourier en Geogebra

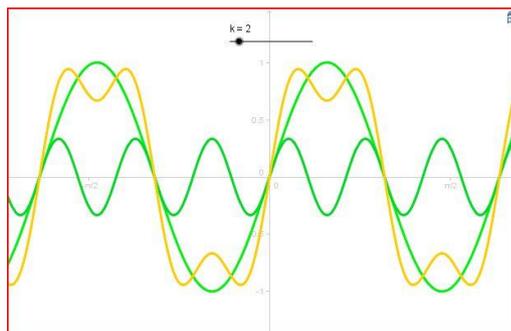


GeoGebra es un potente software de Geometría matemática que nos permite hacer la operación con nuestro ordenador personal.

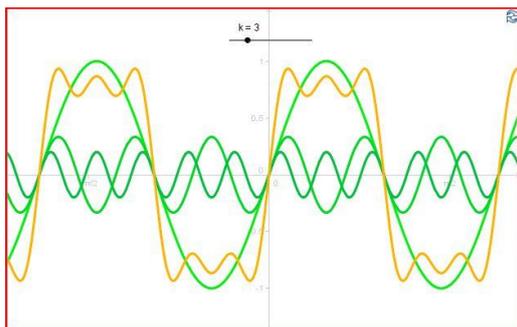
Vamos a poner un ejemplo dónde sumamos 5 ondas de una amplitud y frecuencia determinada para producir una **onda cuadrada**.



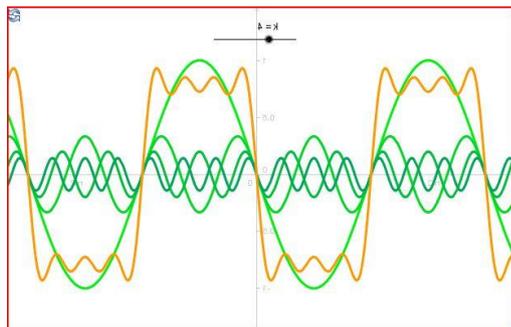
Onda fundamental  $n=1$



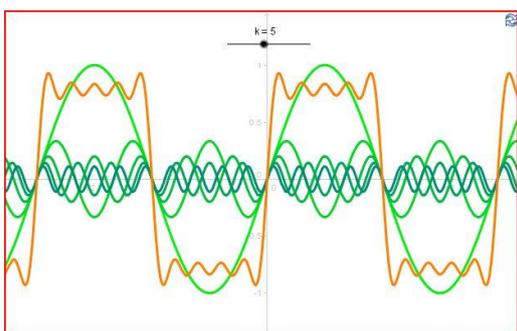
Suma de  $n=1$  y  $n=2$



Suma de  $n=1$ ,  $n=2$  y  $n=3$



Suma de  $n=1$ ,  $n=2$ ,  $n=3$  y  $n=4$



Suma de  $n=1$ ,  $n=2$ ,  $n=3$ ,  $n=4$  y  $n=5$

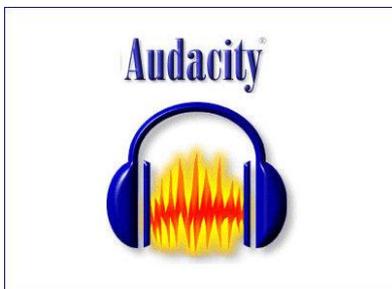
Podemos observar como la onda resultante del sumatorio empieza a coger forma cuadrada. Puesto que las series de Fourier son infinitas, podríamos sumar el número de funciones necesarias para obtener una onda muy próxima a la que buscamos.

### Conclusión:

En este apartado nos hemos adentrado ya en las series de Fourier a partir de la definición de: *“ Toda onda compleja periódica se puede representar como la suma de ondas simples ”*. Con esta explicación hemos comprendido por qué motivo un instrumento dibuja una onda y otro dibuja otra onda muy distinta. Las series de Fourier también se pueden relacionar con los fenómenos armónicos de los apartados anteriores. Comprender esto nos será muy útil cuando analicemos un efecto mediante osciloscopio.

### 3. La FFT

Las siglas FFT significan “Fast Fourier Transform” y su traducción es: Transformada rápida de Fourier. Usaremos el software Audacity para realizar esta operación.



La FFT juega un papel fundamental en este documento. Los gráficos de los espectrogramas de la introducción se han realizado con esta operación. Ahora explicaremos en qué se basa la idea de esta operación, que proviene de las *Series de Fourier*.

- En el apartado anterior hemos definido la series de Fourier, éstas nos dicen: *“ Toda onda compleja periódica se puede representar como la suma de ondas simples ”*
- La Transformada de Fourier realiza una operación para descomponer una onda compleja. El resultado de la FFT descompone en un gráfico la frecuencia y la amplitud de las ondas originales (espectrograma). Es la operación inversa que **descompone el sumatorio.**

Ilustración gráfica:

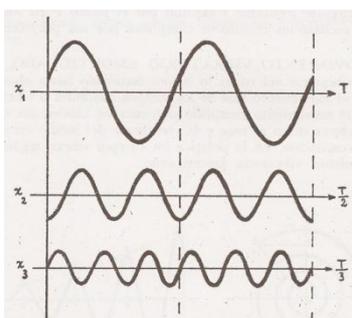


Ilustración 39

$$\sum_{n=1}^{\infty}$$

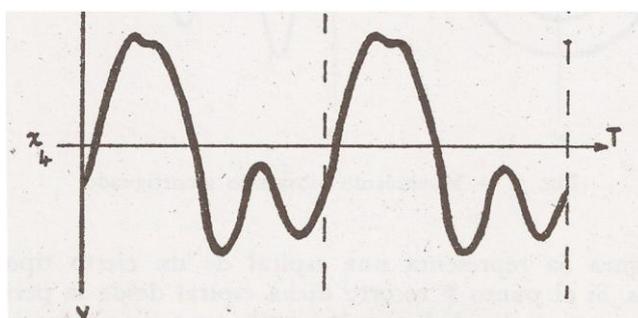
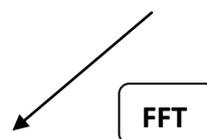


Ilustración 40



Ilustración 41



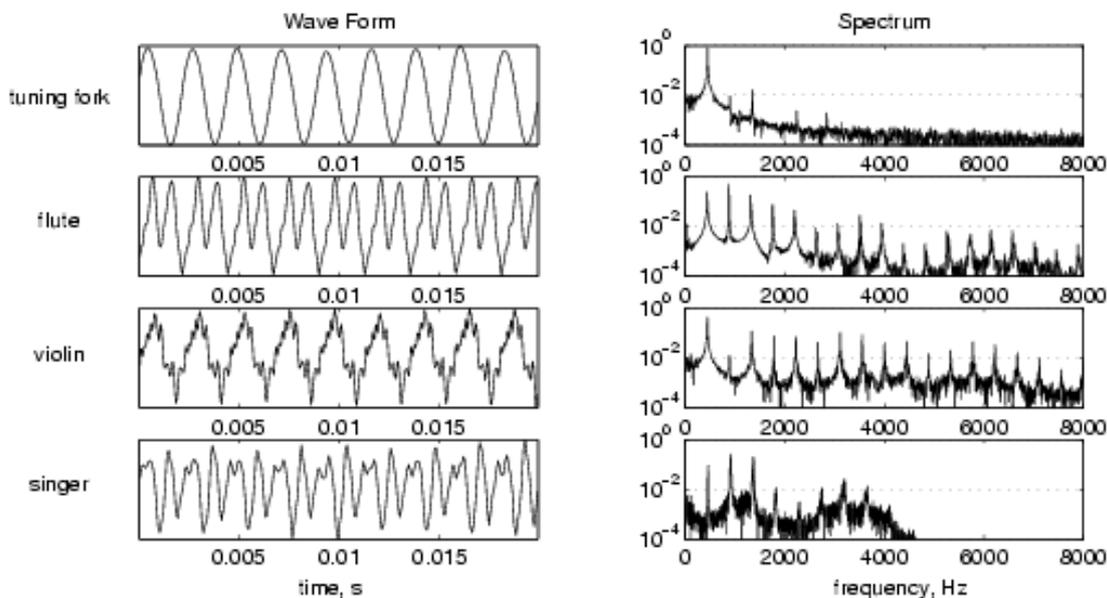
- De la [Ilustración 39](#) a la [Ilustración 40](#) se realiza el **sumatorio**.
- De la [Ilustración 40](#) a la [Ilustración 41](#) se **descompone el sumatorio**.
- La [Ilustración 39](#) y la [Ilustración 41](#) nos dan la **misma información**, el número de armónicos, su frecuencia y su amplitud en formato oscilograma o espectrograma.

Pero si ya tenemos la información que nos proporciona la [Ilustración 39](#), ¿Para qué sirve esta operación?

**En la práctica no podemos conocer las características de las ondas armónicas ([Ilustración 39](#)) si no es usando la FFT.**

Por ejemplo, ¿Con qué armónicos está formada la onda de 4 instrumentos diferentes? ([Ilustración 42](#)).

- Primero captaremos la onda con un micrófono o fonocaptor.
- Después vamos a descomponer la onda con la FFT en un espectrograma.
- Interpretando el espectrograma, mirando los picos y su altura, determinamos el número de ondas armónicas puras que componen la onda compleja.



**Ilustración 42**

Los espectrogramas son muy importantes para el análisis de un sonido. Con un oscilograma podemos extraer la amplitud y la envolvente del sonido. Con un espectrograma sabemos el conjunto de armónicos y su intensidad. Para analizar si un sonido es estridente, grave o equilibrado, lo mejor es analizar **el espectrograma**.

Vamos a comentar otro ejemplo más claro con la [Ilustración 43](#).

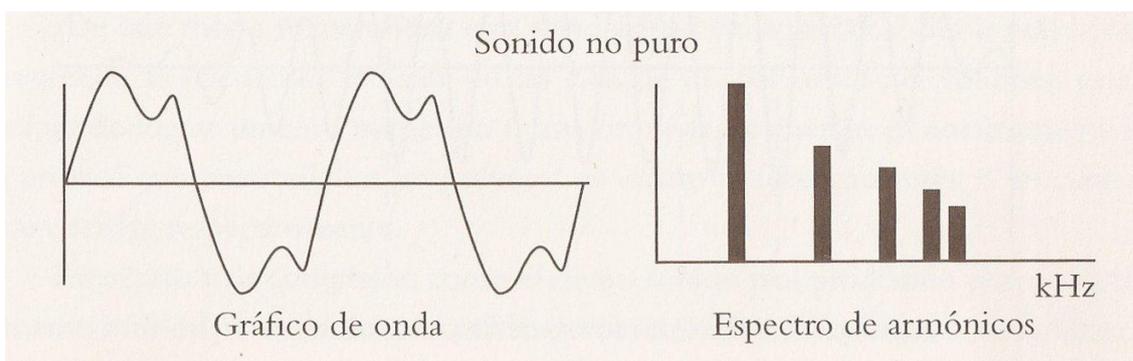


Ilustración 43

Hemos grabado el sonido de un instrumento. Este sonido se representa como el gráfico de la onda de la izquierda. Puesto que ésta es compleja y queremos conocer las ondas armónicas que la forman, procesamos la onda con un software de FFT. El resultado de este procesamiento es un espectrograma, éste nos muestra (con unas barras verticales) la frecuencia de las ondas armónicas y su amplitud (intensidad sonora).

### Diagrama de bloques:

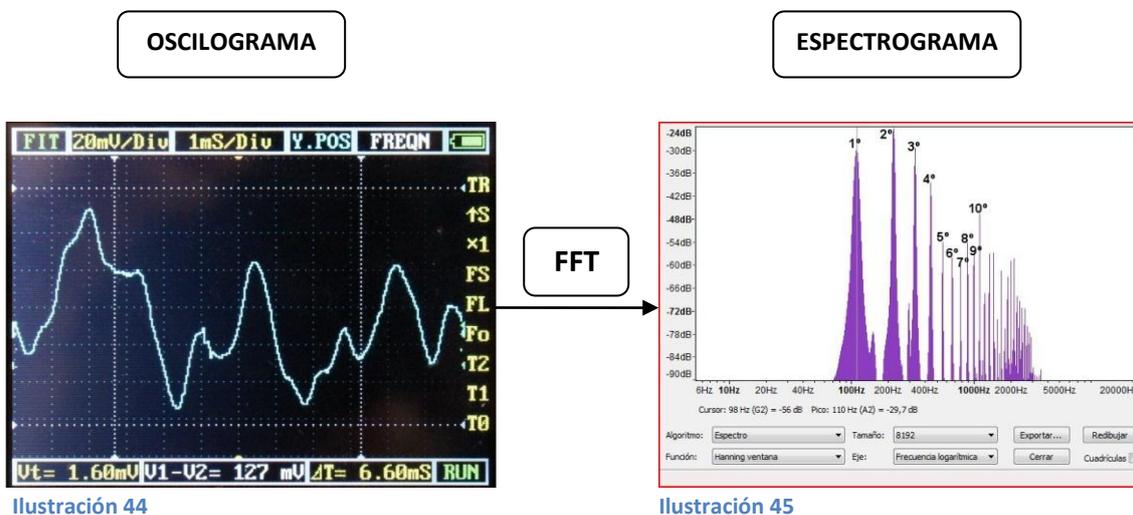


Ilustración 44

Ilustración 45

### Conclusión:

En este apartado, finalmente hemos relacionado las ondas y los espectrogramas pasando por cómo se producen en la fuente sonora, de qué forma se captan y cómo se analizan. Esto nos conduce al siguiente apartado práctico del documento, en el que se trata de aplicar lo estudiado al análisis de efectos electrónicos.

## Análisis de efectos

En este apartado entramos en la parte práctica de nuestra investigación. Con todo lo que hemos aprendido hasta ahora sobre la **ADSR** (envolvente), **los oscilogramas** y **los espectrogramas** vamos a analizar diferentes pedales de efecto D.I.Y. para observar los cambios tímbricos que producen. Después interpretaremos esta información con todo lo que sabemos de los armónicos y los intervalos armónicos.



En la imagen: pedales de efecto DIY fabricados para uso propio.

### 1. Introducción: Glosario de efectos

Los Pedales de efecto (Stompboxes en inglés) son un dispositivo electrónico muy usado por guitarristas y bajistas eléctricos. Éstos contienen un circuito electrónico (analógico o digital) que produce una alteración de la señal eléctrica del instrumento, modificando ciertas propiedades tímbricas tales como la envolvente o los armónicos. Mencionar también que hay muchos pedales que han encabezado un género musical, como por ejemplo Jimi Hendrix y su distorsionador llamado “Fuzz Face”.

En general se pueden clasificar en efectos de **Distorsión**, efectos de **Modulación** o efectos de **Retardo**.

- **Distorsión:** alteración constante del timbre.
- **Modulación:** alteración periódica del timbre.
- **Retardo:** sin alteraciones tímbricas, repeticiones periódicas de la señal (eco).

## Glosario de los pedales más comunes

### “Compresor”



BOSS Compression CS-3

Cuando se emplea la compresión las notas débiles en volumen se potencian mientras que las notas más fuertes bajan de nivel. Lo que se obtiene es un sonido con menos dinámica pero homogéneo. Generalmente dispone de controles de ataque y Compresión que brindan un amplio abanico de efectos. Este efecto modifica la envolvente (ADSR).

### “Chorus” (Coro)



BOSS SuperChorus CH-1

Es un efecto basado en el Delay (en 15 y 35 milisegundos) diseñado para simular lo que ocurre cuando dos instrumentos tocan simultáneamente las mismas notas. En directo, al tocar a dúo se producen ciertas diferencias en la ejecución y afinación de ambas partes; el Chorus, que significa coro, recrea este efecto.

### “Delay” (Retardo)



BOSS Digital Delay DO-7

Cuando el sonido es reflejado desde una superficie distante se escucha una versión retardada del sonido original. Las unidades de retardado (sean analógicas o digitales) copian la señal natural y la repiten. Esta segunda señal se puede repetir el tiempo y las veces que el usuario configure. Es similar al efecto eco de las montañas.

## “Echo Tape” (Eco de cinta)



Roland Space Echo de los 70's

Son unidades tradicionales de Delay. La señal entra, se graba en una cinta y es reproducida ligeramente más tarde por una o más cabezas lectoras, produciendo una única o múltiples repeticiones. Es casi igual que el Delay, la diferencia está en el método de procesamiento.

## Ecuilibradores gráficos



BOSS Equalizer GE-7

Es un control de tono que divide el espectro sonoro (del timbre) en bandas de frecuencia, permitiendo potenciar o recortar independientemente el nivel de cada una de ellas. El término Gráfico alude al hecho de que es posible percibir a primera vista la ecualización que se está utilizando.

## “Enhancers o Booster” (realzadores)



CARL MARTIN HydraBoost

Este dispositivo amplifica la señal de audio. Dependiendo del modelo pueden potenciar armónicos, los agudos o la ganancia.

\**Ganancia*: incremento de amplitud de una señal eléctrica (la amplitud equivale a la intensidad sonora).

## “Flanger”



BOSS Flanger BF-3

Divide la señal en dos y desfasa periódicamente una de ellas creando un peculiar efecto de oscilación entre frecuencias agudas y graves. No se debe confundir con el Phaser, que es más bien un filtrado. El Flanger añade muchos más armónicos que el Phaser.

## Reverberación



BOSS Digital Reverb RV-5

Estos pedales imitan el efecto natural de los reflejos sonoros producidos por el rebote de las ondas contra las superficies de un espacio cerrado, como por ejemplo, una iglesia. La reverberación de muelles es un efecto tradicional que se incluye en muchos amplificadores aunque hoy en día es más común encontrar este efecto en unidades digitales.

## “Harmonizer”(Armonizador)



DIGITECH HarmonicMan

Conocido también como “alterador de afinación”, este efecto tiene 2 usos: Puede enriquecer el sonido de la guitarra añadiendo armónicos y puede producir un efecto similar al Chorus. Dispone de controles que permiten seleccionar tipos específicos de escala, obteniendo armonías ajustadas automáticamente. Es muy usado por cantantes para procesar su voz y enriquecerla.

## Multiefectos



BOSS ME-50

Son unidades que disponen de varios “subpedales” integrados que se pueden controlar con el mismo interfaz. De esta forma se obtienen muchos efectos individuales en una sola unidad. Estos procesadores digitales son capaces de encadenar efectos, almacenar parámetros y presets. Como su circuitería es digital ocupan menos espacio.

## Octavador



BOSS SuperOctave OC-3

Este efecto (antecesor del Harmonizer) añade notas una octava por encima o por debajo de la señal original. El sonido que produce puede compararse con el de un órgano y enriquece el timbre de nuestra guitarra.

## Pedal de Volumen



VISUAL SOUND Visual Volume

Es un dispositivo que permite al guitarrista variar el volumen de su instrumento sin dejar de tocar, ya que no debe recurrir al control de volumen de la guitarra. Es muy útil para crear efectos de Crescendo y disminuyendo. Es posible obtener un buen efecto eliminando el ataque al comienzo de las notas y acordes e ir aumentando el volumen progresivamente para que entren “flotando”.

## “Wah - wah”



DUNLOP CryBaby

Es un filtro de timbre que se acciona, al igual que el pedal de volumen, por medio de un pedal de expresión. Cuando se pisa el pedal a fondo se obtiene un sonido más agudo y al irlo levantado el sonido se vuelve más grave. Dependiendo de cómo se use se pueden obtener distintos efectos, pero el uso más común es para acentuar algunas notas en los solos.

## “Phaser”



MXR Phaser 90

Si dos versiones idénticas de una señal están “fuera de fase”, es decir, las crestas de una coinciden con los valles de la otra se cancelan entre sí, lo que lleva, en teoría, a un silencio. Si las señales están parcialmente fuera de fase se produce una coloración del sonido. El Phaser recrea este efecto y el resultado es un filtrado periódico de frecuencias que van de agudas a graves.

## “Distortion” (Distorsión)



BOSS Distortion DS-1

Son unidades de ganancia adicional. La señal limpia ingresa y se distorsiona, logrando un sonido áspero, con un timbre más completo y dinámica. Generalmente disponen de controles para determinar el grado de distorsión.

\**Distorsión*: deformación que sufre una señal eléctrica al pasar por un sistema electrónico.

## “Overdrive” (Sobrecarga)



IBANEZ Tubescreamer TS-9

Se utilizan para saturar las etapas de entrada de un amplificador y lograr una mayor ganancia. También se usan para aumentar el nivel de la señal de la guitarra. Se los suele confundir con los pedales de distorsión, pero la diferencia radica en que los Overdrive saturan la señal ligeramente mientras que los Distortion ciertamente la distorsionan bruscamente.

## “Tremolo”



BOSS Tremolo TR-2

Este efecto rítmico y pulsante se obtiene modulando el volumen de la señal. Puede producir desde un sonido ondulante y rápido hasta uno profundo y batiente. Fender llamó a sus unidades de tremolo “vibrato” generando una gran confusión ya que, técnicamente, es un término incorrecto.

## “Vibrato”



UNIVIBE Uni-vibe

Este efecto se obtiene modulando la afinación de la señal. El sonido obtenido puede ir desde un sutil realce de la nota, hasta una variación extrema de la misma, siempre periódicamente.

Fuente: <http://en440.com.ar/>

## 2. Análisis



Grabadora ZOOM H2n conectada vía USB a un PC. Software: Audacity©

En el análisis de los pedales se utilizan diferentes recursos como el oscilograma, el espectrograma y la envolvente. Cada uno de éstos nos orientará en diferentes aspectos. Por ejemplo, con el oscilograma tendremos una percepción de la cantidad de distorsión y con el espectro una percepción del aumento de armónicos.

- Para empezar, **introduciremos una onda pura** en el pedal y lo conectaremos al osciloscopio. Al activar el pedal esta onda cambiará: se recortará, se engordará, aumentará de amplitud, etc.
- Después vamos a analizar los armónicos que han provocado el cambio de la onda, ya que hemos empezado introduciendo una onda pura (sin armónicos) y hemos obtenido una compleja. Esto significa que **se generarán armónicos artificialmente** con el pedal de efecto, esto nos servirá de guía para predecir los cambios en un instrumento armónico (como la guitarra).
- A continuación vamos a analizar el **timbre de una guitarra** sin el efecto, y posteriormente conectaremos el efecto para analizar el **nuevo timbre** y ver los evidentes cambios.
- Para acabar, visualizaremos el **oscilograma** del programa de grabación. Lo comprimiremos para **analizar la envolvente** original del instrumento y la envolvente modificada por el efecto.

Durante la lectura de este apartado es recomendable consultar los clips de audio adjuntos en el CD, en éstos hay las grabaciones de los intervalos y de los pedales.

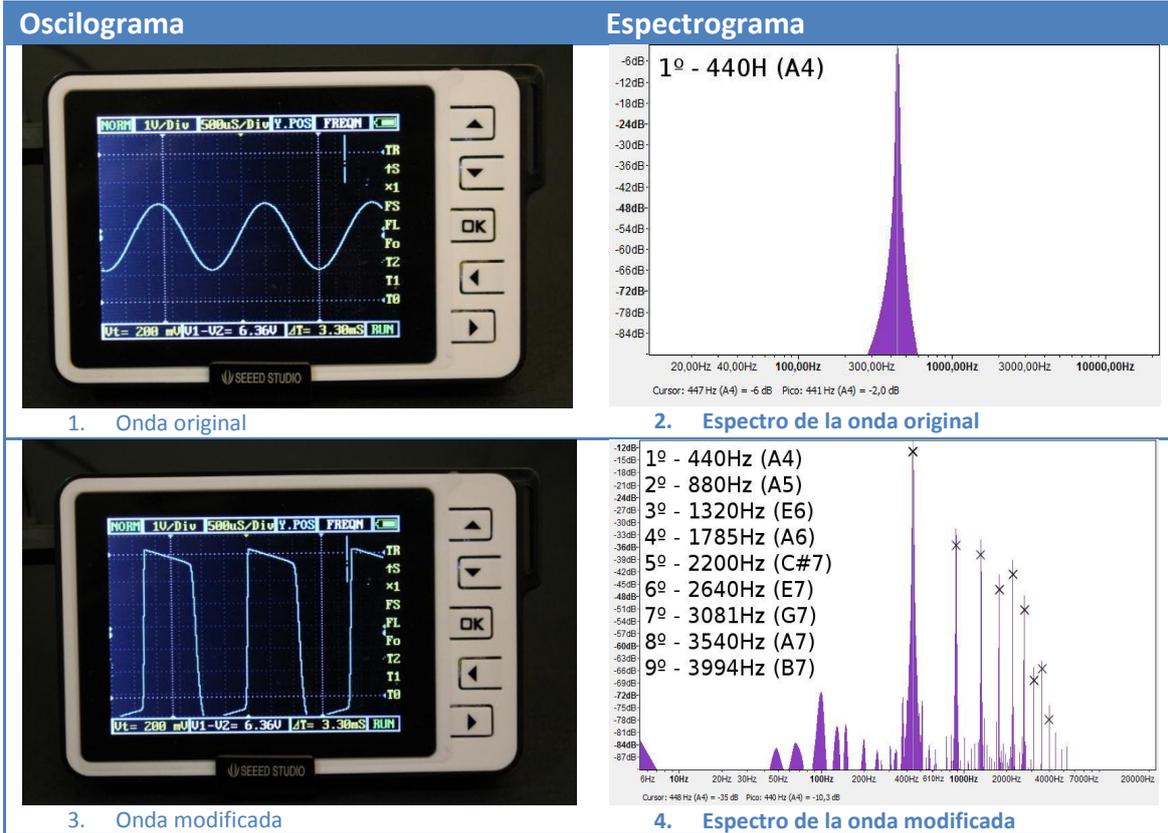
## 1. Rangemaster



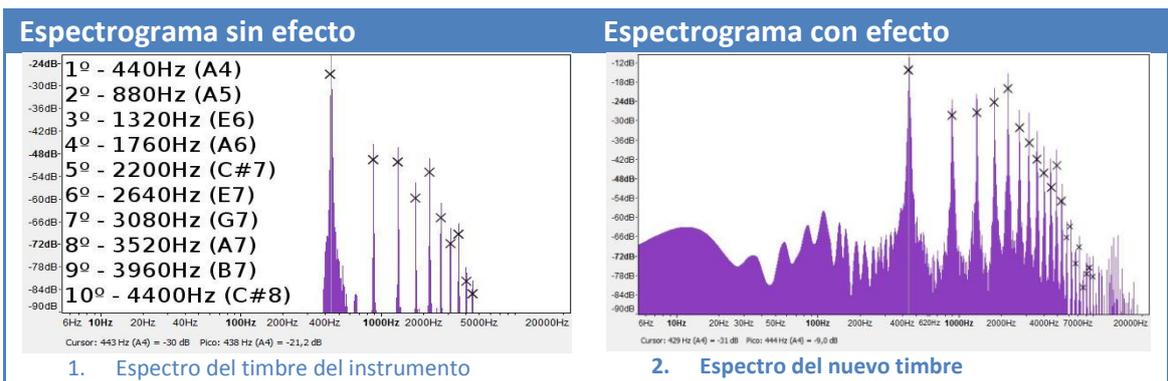
El Rangemaster es un efecto Booster utilizado para subir el volumen. Tiene un ajuste de “Boost” y otro de “Full” que sirve para filtrar graves y tener un **booster de agudos** (treblebooster). Este efecto es conocido por el uso que le dio Brian May (Queen).

Ajustes de control	Oscilograma
<p>1. Efecto apagado</p>	<p>2. Onda original</p>
<p>3. Efecto encendido</p>	<p>4. Onda modificada</p>

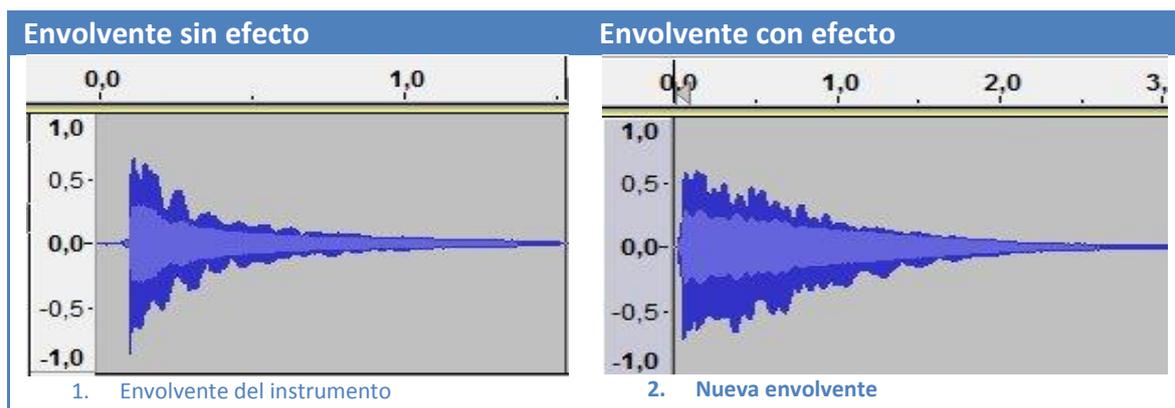
- Podemos observar claramente como la onda **núm. 4** ha sido bruscamente modificada. Por una parte la amplitud ha aumentado significativamente (el volumen), y además se ha recortado por sus extremos.
- Este recorte tan recto se traduce como una **distorsión**, que a la vez también es una **distorsión de fase** de la onda. Un sonido distorsionado, en nuestros oídos, se percibe como un sonido brusco o abrupto.



- La onda **núm. 3** se ha formado a partir de los armónicos del espectro **núm. 4**. Esto significa que el efecto ha agregado nueve armónicos sobre un tono puro. Éstos, hasta el 6º se mantienen con un volumen significativo. Recordemos que hasta el 6º armónico se cumplían las relaciones armónicas Pitagóricas. También destacar que el 2º y el 3º son los que han aumentado más de volumen.



- Como ya hemos visto, el 4º y 5º armónico han aumentado bastante de altura y se han igualado más al 2º y al 3º (**espectro 2**), ya que el espectro original de la guitarra acentuaba más el 2º y 3º. Véase también como el número de armónicos ha aumentado en diez aproximadamente y la altura de éstos sigue una línea que acentúa los de frecuencia media.



- La nueva envolverte nos muestra un poco más de Sustain que la original. También la Relajación ha aumentado aproximadamente en 1,5 segundos.

En conclusión. El Rangemaster es un efecto de Boost que produce una leve distorsión. Vemos que la onda parece un poco brusca, pero genera los seis primeros armónicos de la escala armónica. Sabemos también que no es un sonido demasiado saturado gracias a la envolverte, ya que la relajación no ha aumentado mucho en comparación con otros distorsionadores. Remarcar también que ha disminuido los intervalos de 4ª entre el 3º y 4º armónico.

- **CD.** Consultar clips de audio "Intervalos" y prueba de sonido "Rangemaster".

## 2. Fuzz Face



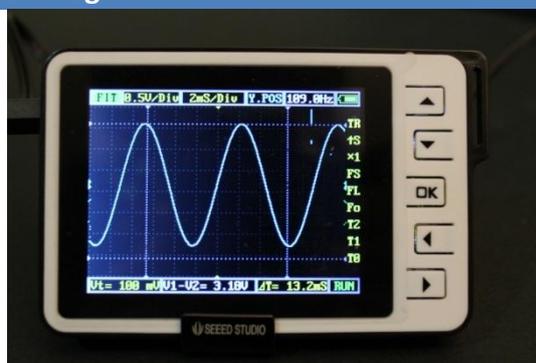
El Fuzz Face es un efecto de distorsión muy abrupta, recibe un nombre especial: FUZZ. Tiene sólo dos ajustes, el de volumen y el de “fuzz” (cantidad de distorsión). Este efecto se popularizó mucho por el uso que le dio Jimi Hendrix en su rock psicodélico, y es que realmente produce mucha distorsión.

### Ajustes de control

### Oscilograma



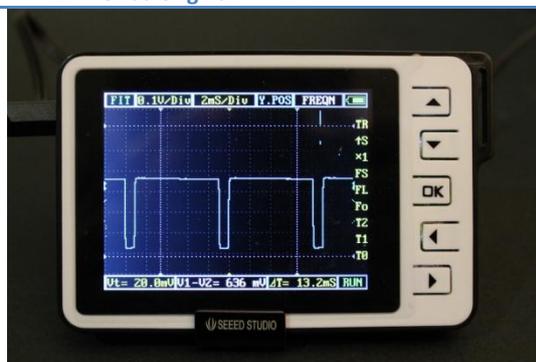
1. Efecto apagado



2. Onda original

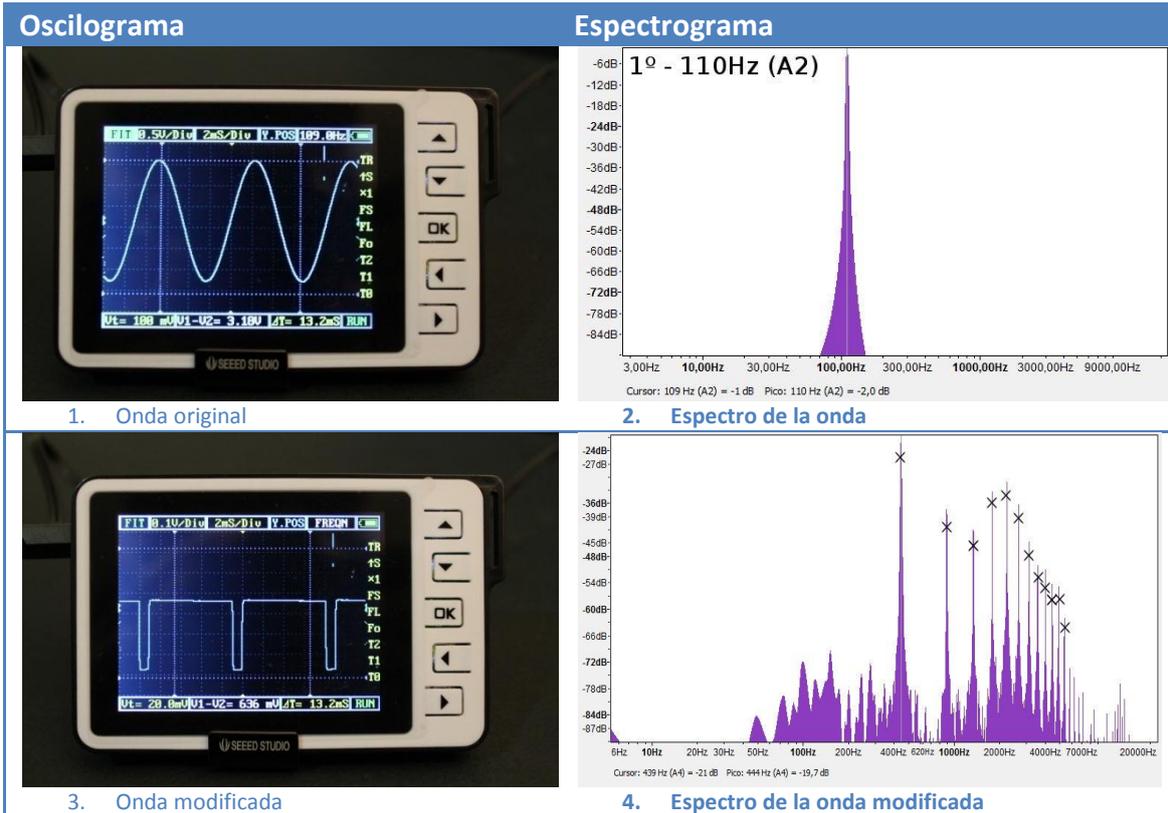


3. Efecto encendido

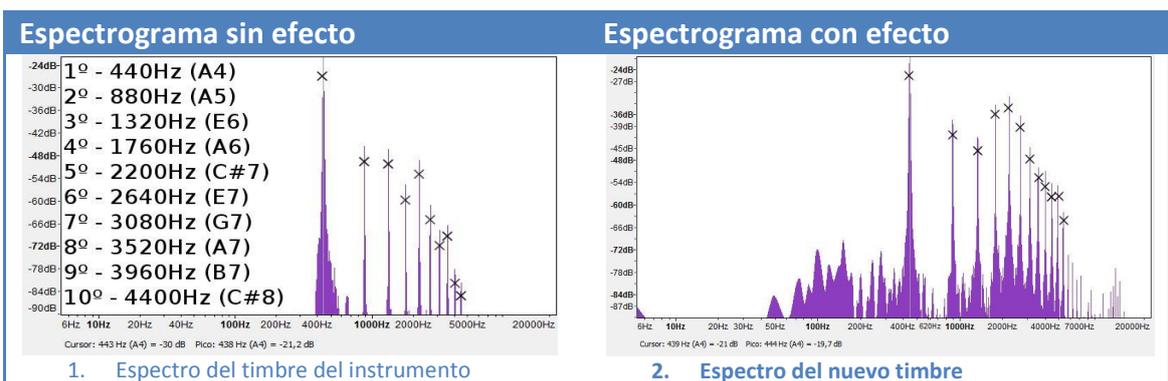


4. Onda modificada

- Podemos observar como la onda **núm. 4** ha sufrido una gran distorsión de fase convirtiéndose casi en una onda cuadrada. Esta distorsión nos da una pista de lo áspero que va a ser este sonido. Curiosamente la amplitud no ha aumentado, demasiado pero en la práctica, por cuestiones psicoacústicas tenemos la sensación de más volumen.

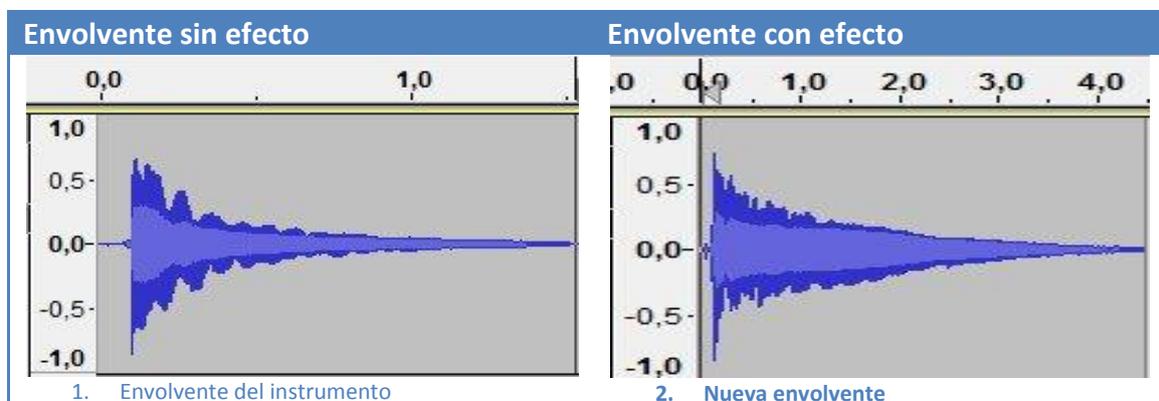


- Vemos en el **espectro 4** como el efecto nos ha añadido más de once armónicos (marcados con una "x"). Curiosamente el 4º, 5º y 6º son más altos que el 2º y el 3º. En términos generales, este espectro es más denso y los armónicos están reforzados desde la base. Aparentemente vamos a tener un sonido más potente.



- Nuestro efecto ha potenciado el 2º armónico y los siguientes después del 7º. También ha generado numerosos armónicos a partir del 12º y ha destacado el intervalo de 4ª entre el 3º y 4º armónico.

- Curiosamente, en esta combinación tímbrica introducida (procedente de la pastilla del puente) no ha producido demasiados cambios, pero si se percibe un mayor brillo (por el aumento de frecuencias agudas y medias). Éstas están reforzadas con pequeños armónicos a su alrededor.



- En este caso, nuestro Fuzz ha modificado claramente la Relajación de la envlovente, aumentándola en aproximadamente 3 segundos. El hecho de que haya aumentado tanto la relajación nos da una pista de la capacidad de saturación que tiene el efecto.

En conclusión, el Fuzz Face ha resultado ser un efecto muy áspero por su forma de distorsionar la onda, poco definido por la forma de añadir armónicos y con mucha saturación por el aumento de la relajación en la envlovente. También ha amplificado particularmente el intervalo de 4ª entre el 3º y 4º armónico.

- **CD.** Consultar clips de audio "Intervalos" y prueba de sonido "Fuzz Face".

### 3. Soul Man



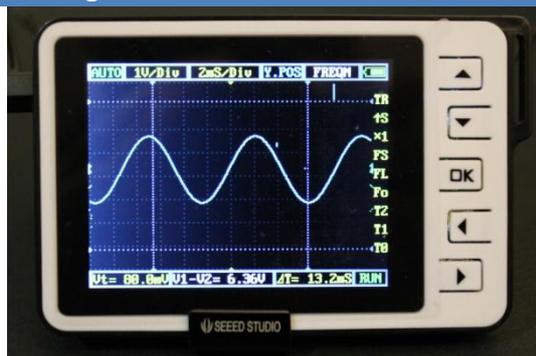
El Soul Man es un Overdrive inspirado en el Tubescreamer de Ibanez. Su distorsión es muy leve y armónica, además dispone de un control de tono a diferencia del Fuzz. Ha sido un pedal mítico gracias a Stevie Ray Vaughan y otros, los cuales lo usaban para obtener un sonido blusero, definido y dinámico.

#### Ajustes de control



1. Efecto apagado

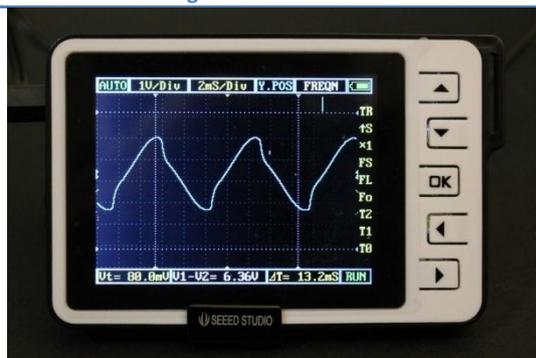
#### Oscilograma



2. Onda original

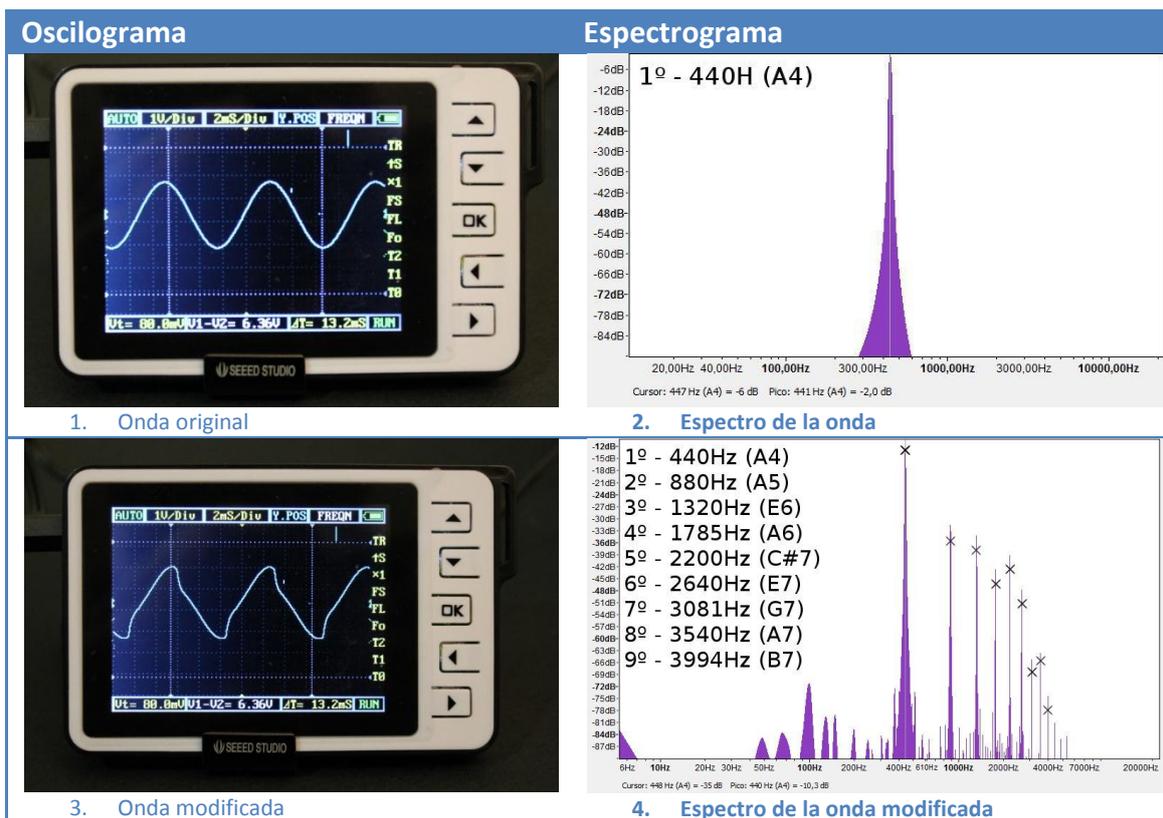


3. Efecto encendido

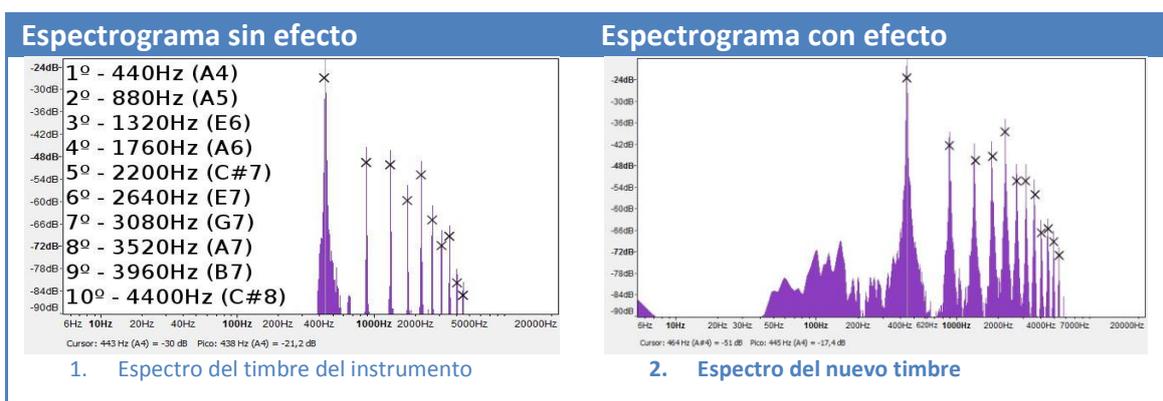


4. Onda modificada

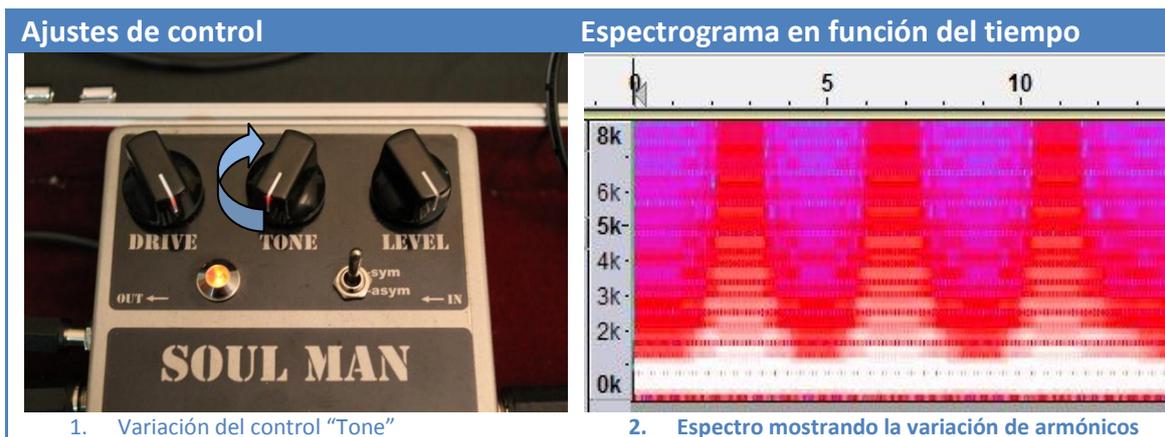
- En el [oscilograma 4](#) vemos como la distorsión de fase de la onda le da una forma triangular bastante redondeada. Puesto que conserva los picos y las valles, nos podemos hacer la idea de que no va a ser una distorsión muy abrupta como el resto. De hecho, será un Overdrive, que no se debe confundir con distorsión.



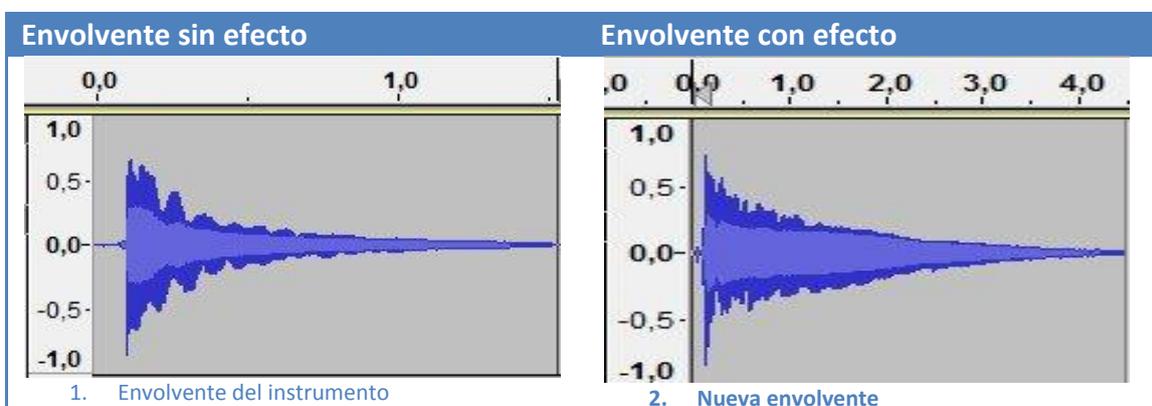
- El **espectro 4** nos muestra un cambio tímbrico muy definido y claro. Se han añadido nueve armónicos. Podemos fijarnos en que el 4º tiene menos intensidad que el 3º, esto significa que el intervalo de 4ª que forman se percibirá menos. En la posición de tono en la que estaba el efecto durante el análisis no se añadieron demasiados armónicos agudos.



- En el **espectro 2** vemos como los armónicos se han reforzado desde la base y el 2º se ha potenciado más que el 3º. En general, la altura de los armónicos se ha acentuado en las frecuencias medias, con un pequeño incremento en los agudos.



- Hemos analizado el control de tono del efecto. El [espectro 2](#) nos muestra en el eje vertical la frecuencia de los armónicos y en el horizontal el tiempo. El color blanco corresponde con los armónicos que suenan más, y a continuación los que suenan menos se dibujan en rojo. Giramos el control de tono de derecha a izquierda y a la inversa.
- Vemos que, al girar el control de "Tone" del valor 0 al 10, se produce un increíble aumento de armónicos agudos hasta los 8.000Hz. Entonces al usar el control de tono, debemos ir con cuidado de no enriquecer demasiado el timbre y pasar a tener un sonido demasiado brillante o chillón.



- En este caso, la modificación de la envolvente ha sido muy parecida a la de los otros efectos. Se ha alargado la relajación en un tiempo aproximado de 3 segundos.

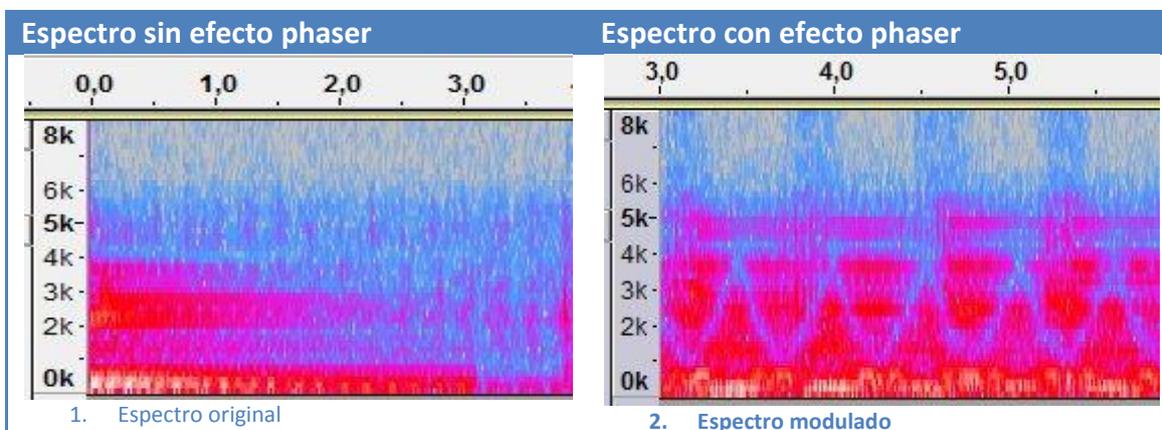
En general, el overdrive será un efecto cremoso y agradable. Éste potencia los intervalos de 3ª y disminuye los de 4ª y también es muy versátil con el control "Tone".

- **CD.** Consultar clips de audio "Intervalos" y prueba de sonido "Soul Man".

## 4. Phaser 90



El Phaser 90 es un efecto de modulación, como ya hemos dicho, provoca una variación tímbrica en función del tiempo. El Phaser se puede usar para dar una mayor atmósfera a nuestro sonido y una sensación como de oscilación. Pink Floyd lo ha usado repetidas veces para experimentar con su Rock Sinfónico.



- Como es un efecto de modulación, vamos a tener que analizar los cambios tímbricos en función del tiempo. Otra vez tenemos un espectro con las frecuencias de los armónicos en el eje vertical y el tiempo en el horizontal.
- Observamos en el [espectro 2](#) como hay algún tipo de filtro que varía periódicamente entre las frecuencias de 1.000Hz (1kHz) y 4.000Hz (4kHz).
- El color azul designa la ausencia de armónicos y entre el rojo podemos distinguir el dibujo de una onda en azul correspondiente a la oscilación de este filtro.

En conclusión, vemos como el Phaser hace un filtrado de frecuencias graves y agudas. Nos da una sensación muy atmosférica y versátil, ya que es un efecto de modulación y varía con el tiempo, no como las distorsiones. En nuestro blog: <http://watermelon-effects.blogspot.com.es/> se pueden encontrar más pruebas de sonido de los efectos.

🎧 **CD.** Consultar prueba de sonido "Phaser 90".

## Conclusiones finales

- El timbre y el tono no se deben confundir. Gracias a los espectrogramas y demás recursos hemos aprendido cómo diferenciarlos, sus características y las aplicaciones de su análisis.
- Los fenómenos armónicos se pueden estudiar desde tres disciplinas diferentes: la física, la matemática y la musical. Hemos investigado desde tres puntos de vista diferentes para finalmente encontrar la relación entre estas disciplinas.
- Las teorías armónicas son una aplicación de los descubrimientos de Pitágoras. Aunque son muy sencillos, éstos fueron de gran importancia.
- Las matemáticas son una potente herramienta de análisis. Hemos visto la teoría matemática que hay detrás de una onda sonora y un espectrograma.
- Al contrario de lo que pensaba al iniciar el trabajo, el efecto más armónico no es el que distorsiona más. Durante el desarrollo del trabajo hemos descubierto que no nos podemos guiar sólo por los espectrogramas. Es a partir del análisis de onda y de espectro que podemos obtener una pista de cómo es el efecto.
- En definitiva, la conclusión más importante a la que he llegado es que; todo cambio en el sonido producido por un efecto, electrónico o no, se puede analizar e interpretar matemáticamente y físicamente. Recíprocamente, a partir de un modelo matemático podemos elaborar un sonido de unas características predeterminadas. Por ejemplo, podemos recrear el timbre de un instrumento con un sintetizador.

## Bibliografía y webgrafía

Arbonés, J., Milrud, P. (2011), *La armonía es numérica*, (1ª ed.). Barcelona: RBA divulgación

Mercadé, J., Serra, S. y Armengol, M. (2009), *FÍSICA II*, Barcelona: McGraw-Hill Interamericana.

T. de Olazábal (1998). *Acústica musical y organología*, (1ª ed.). Buenos Aires: Ricordi Americana S.A.E.C.

Bermúdez, J. (1977). *Nueva generación de instrumentos musicales electrónicos*, (2ª ed.) Barcelona: Marcombo S.A.

Bastida, V., Calvo, D., Castro, S., González, M. y García, C. (1997), *La caja de música*, Recuperado en octubre de 2012 de <http://www.xtec.cat/>

Buide, B. (2006), *La escala de los armónicos*, Recuperado en octubre de 2012 de <http://www.relafare.eu/>

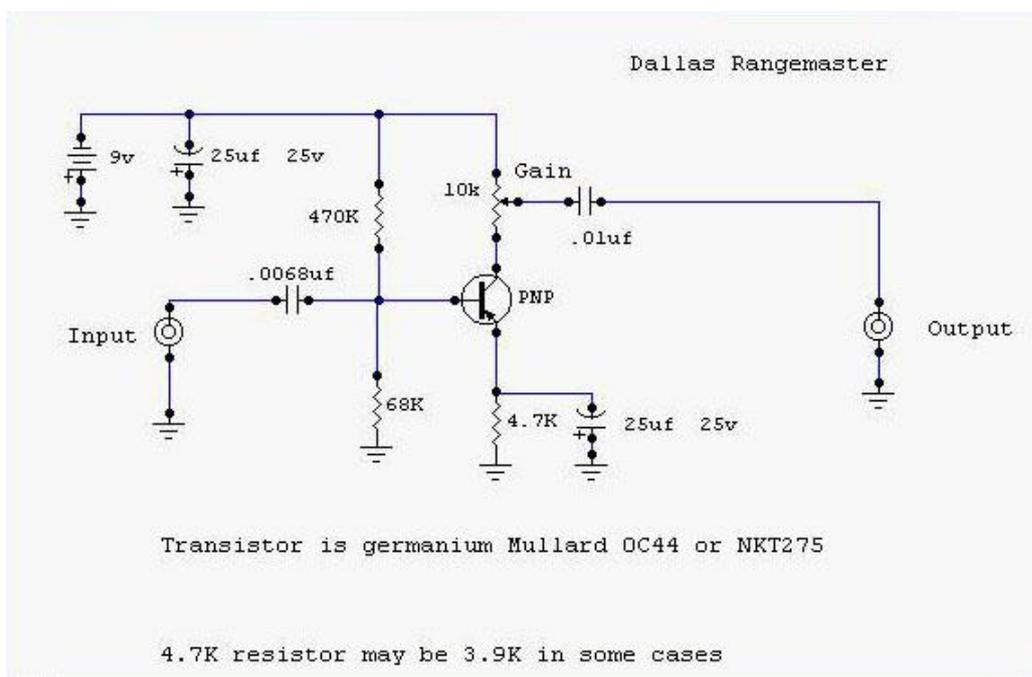
Buide, B. (2006), *Representación matemática de los intervalos*, Recuperado en octubre de 2012 de <http://www.relafare.eu/>

CA Multimedia, *Música y sistemas acústicos*, Recuperado en diciembre de 2012 de <http://www.gradomultimedia.com/>

## Anexo: Circuitos de los efectos y proceso de fabricación

En este anexo adjuntamos los circuitos de los efectos analizados en el apartado anterior. En [www.pisotones.com](http://www.pisotones.com) se pueden encontrar tutoriales sobre su fabricación, y en el blog <http://watermelon-effects.blogspot.com.es/>, se pueden escuchar pruebas de sonido.

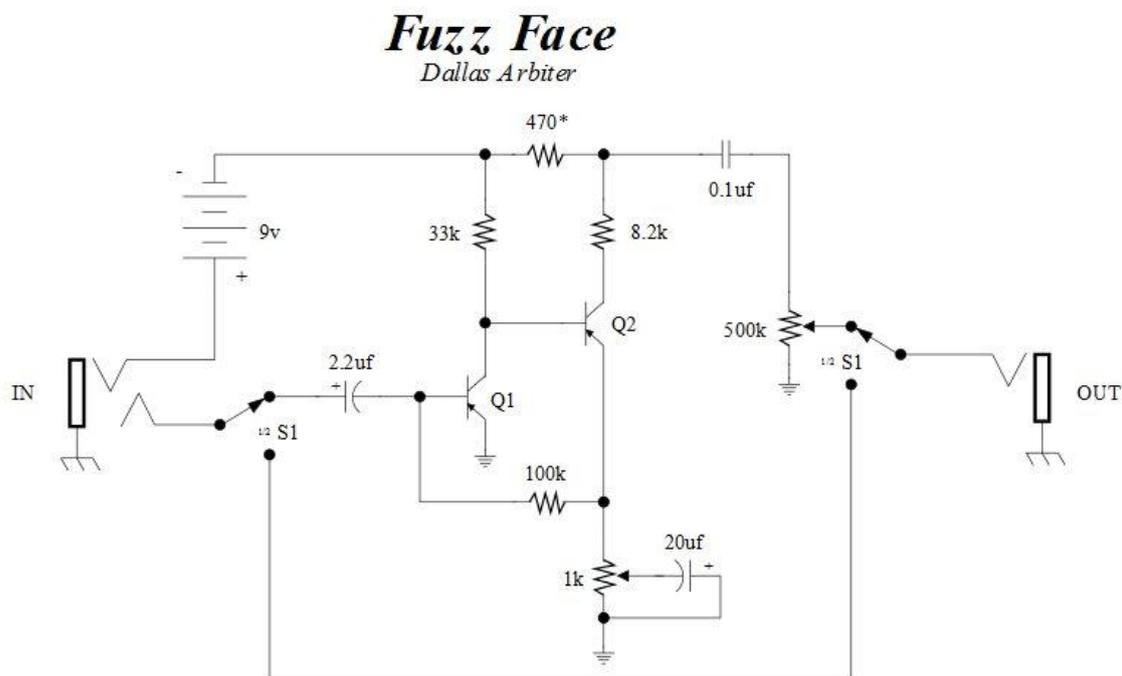
### 1. Circuito del Rangemaster



Fuente del circuito: [Pisotones LTD](#)

- El Rangemaster tiene un transistor con unas características especiales. El transistor AC126 / AC128 / OC44 de tipo PNP es de un material actualmente en desuso en la electrónica de consumo, el germanio. Este material tan particular le da unas cualidades especiales al circuito, ya hemos visto en el análisis como producía una distorsión muy armónica.
- El resto de componentes son muy fáciles de encontrar y en general es un circuito muy sencillo, se puede montar punto a punto o con placa pre-perforada.
- Se debe hacer una última puntualización sobre el circuito, la tierra de éste es positiva. Esto significa que el jack estéreo de conmutación va a encender el pedal con el terminal positivo.

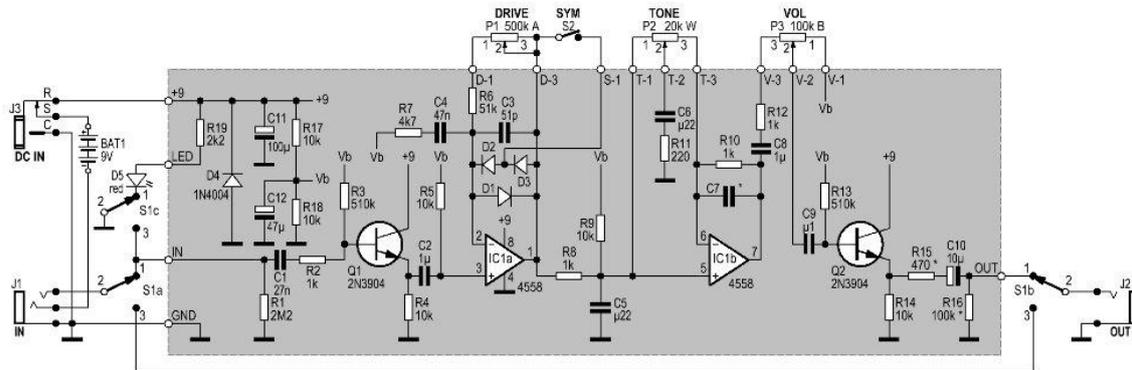
## 2. Circuito del Fuzz Face



Fuente del circuito: Pisotones LTD

- El Fuzz Face ya es un poco más complicado que el Rangemaster. Esta complicación no está en el circuito, ya que éste es muy parecido al del Rangemaster (pero con algún componente más). La complicación está en ajustar la ganancia de los transistores de germanio, porque uno de los problemas que propició su sustitución por el silicio fue su inestabilidad en ganancia y fugas de corriente entre colector y emisor.
- Se deben sustituir bastantes resistencias del circuito por trimmers e ir ajustándolos hasta conseguir una buena combinación de ganancias. El Fuzz también funciona con tierra positiva.
- Modificación: se puede conmutar entre dos condensadores de salida, uno de 0,1uF y otro de 0,01uF. Con el segundo vamos a tener menos graves. Esta modificación también se puede aplicar en el Rangemaster, pero variando el valor del condensador de entrada.

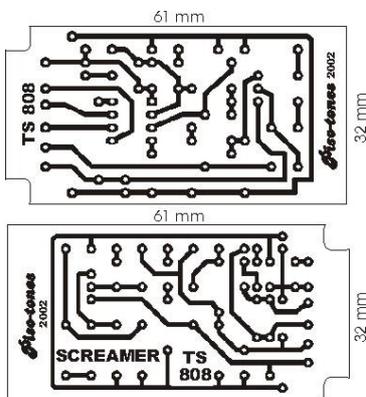
### 3. Circuito del SoulMan (Tubescreamer)



Fuente del circuito: [Musikding.de](http://Musikding.de)

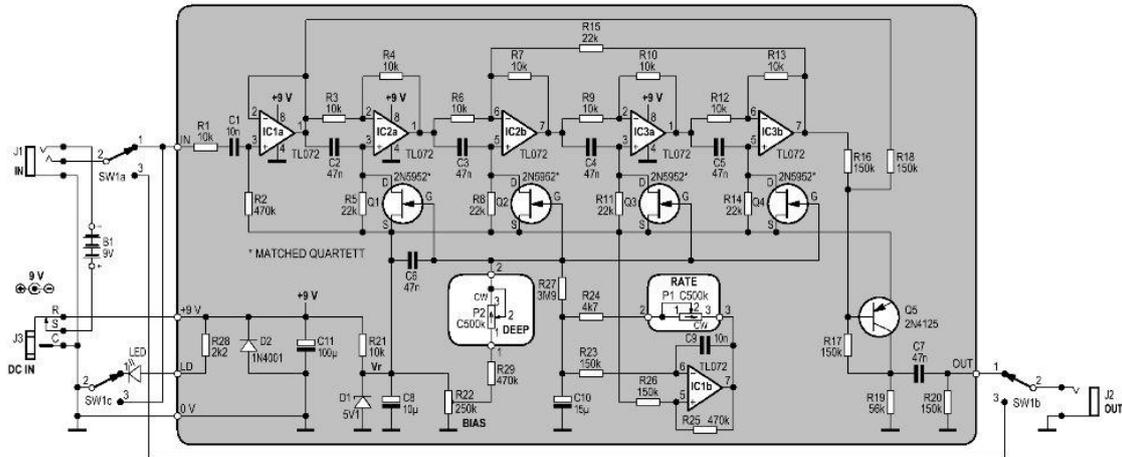
- El Tubescreamer ya es un circuito más complicado, pero sin tantas irregularidades como el Fuzz o el Rangemaster.
- Básicamente, en este circuito el papel más importante lo tienen los amplificadores operacionales y los diodos de recorte (clipping diodes). Hay ciertos tópicos sobre el integrado que contiene los amplificadores operacionales. Se dice que sólo las primeras versiones de éste tienen el sonido Tubescreamer original. El chip en concreto es un JRC4558D de la Japan Radio Company. Éste está fuera de producción actualmente, pero se puede encontrar en aparatos electrónicos de los 80's.
- También se puede experimentar con los diodos de recorte. Se pueden usar de germanio o de silicio y de diferentes modelos. El efecto sobre la distorsión será directo (los encargados de hacer el recorte en la onda son los diodos).

En este caso la fabricación es mejor hacerla sobre PCB (Printed Circuit Board).



Diseño de la PCB por Pisotones LTD.

## 4. Circuito del Phaser 90

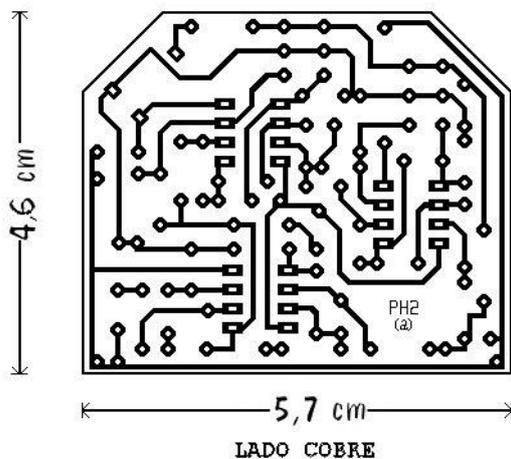


Fuente del circuito: [musking.de](http://musking.de)

- El Phaser es un circuito más complicado. Se usan componentes más delicados como transistores MOSFET (de efecto de campo) o amplificadores operacionales configurados como osciladores. Nota: Los MOSFET se tienen que seleccionar con las mismas características para que funcionen bien.
- Por otra parte, se pueden hacer un par de modificaciones. Desconectando la resistencia número 28 vamos a tener un sonido más claro y brillante. También usando un conmutador para desconectar la resistencia 18 podemos obtener un efecto de Vibrato.

PHASE 90 MXR (PH2)

Fotolito placa principal



Diseño de la PCB por Pisotones LTD.

## Proceso de fabricación

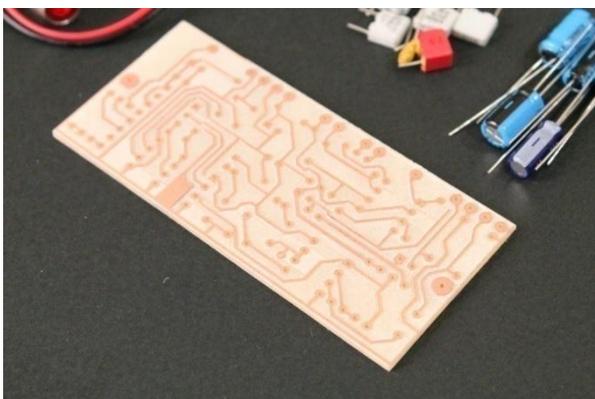
En este apartado ilustraremos el proceso de fabricación de un pedal de efecto. Posiblemente las ilustraciones sean de diferentes modelos, pero intentaremos seguir el proceso al pie de la letra.

### Los componentes



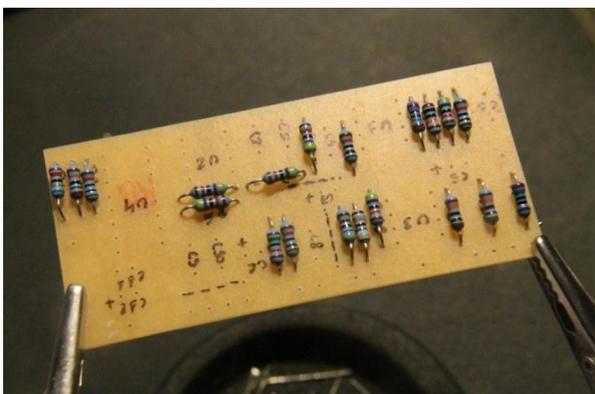
Para empezar debemos seleccionar los componentes. En este caso en la ilustración vemos los componentes de un Chorus. Éstos son: Conmutadores de pie, potenciómetros, resistencias, condensadores, circuitos integrados, jacks, botones de control y la caja metálica.

### La PCB



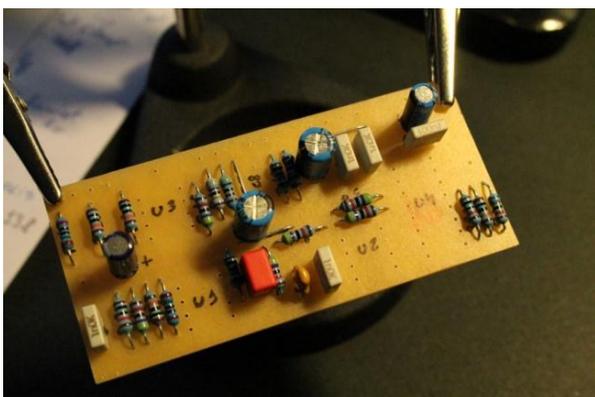
La PCB es lo primero que se tiene que fabricar. Ésta se puede hacer con diferentes métodos; por ataque químico, fresado con CNC, etc. Los fotolitios del apartado de circuitos son el modelo de cómo tienen que ser los carriles de la PCB. Recordar que en ésta hay el circuito del efecto plasmado a la realidad.

### Resistencias



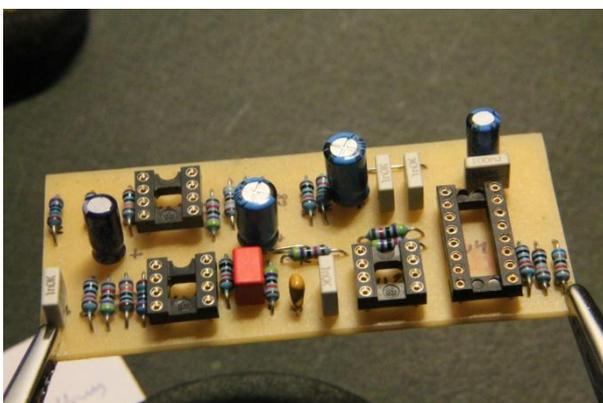
Podemos organizar el procedimiento por apartados. Empezamos soldando todas las resistencias del circuito a la PCB. Las resistencias se insertan por el lado opuesto de los carriles de la placa, los terminales metálicos de éstas se sueldan a los carriles de la placa con estaño.

## Condensadores



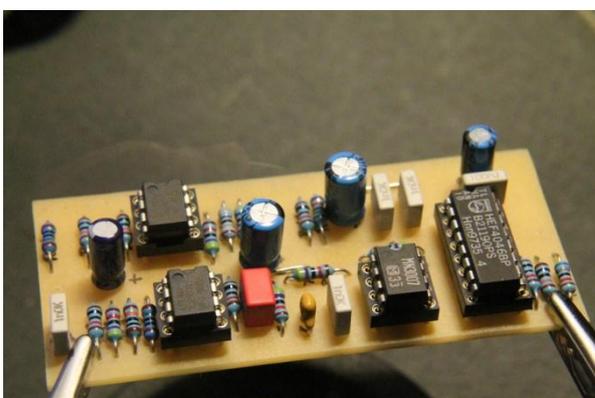
Los siguientes componentes son los condensadores. Los electrolíticos tienen polaridad y por eso se tiene que consultar antes. Mirando la polaridad sabremos en que orientación se tienen que introducir en las ranuras de la placa. La pata más larga será la positiva, al igual que en los diodos y los LEDs.

## Zócalos



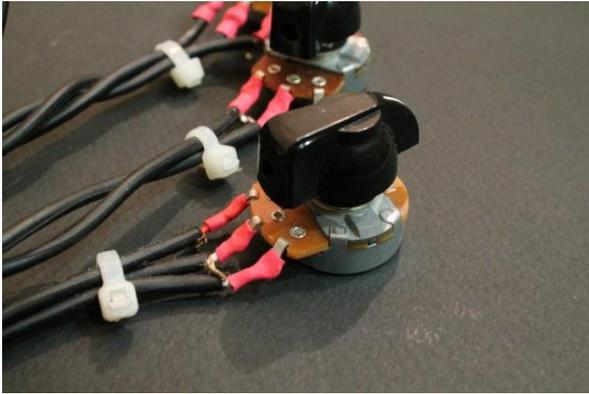
Los circuitos integrados (Chips) son muy sensibles al calor del soldador. Por eso la mejor opción es soldar antes unos zócalos a la PCB. De este modo, sólo el zócalo recibe calor durante el proceso de montaje. Después se conecta el chip al zócalo (a presión).

## Circuitos integrados



Una vez soldados los zócalos, montamos los circuitos integrados. Éstos tienen un círculo en la pata número 1 para indicar la orientación. Los circuitos integrados son los componentes más delicados, por eso es mejor dejarlos para el final.

## Potenciómetros



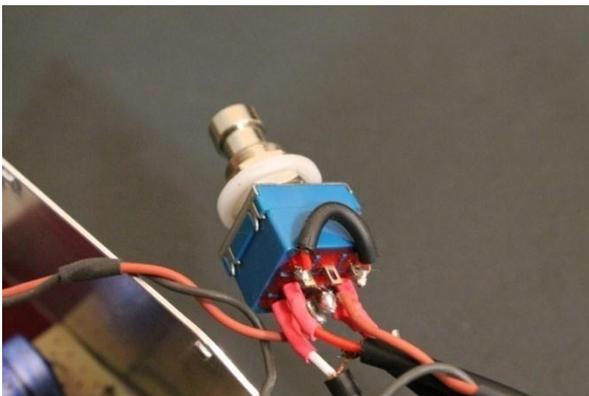
Los potenciómetros son un componente de ajuste manual. Éstos irán fijados a la caja con la parte ajustable por fuera. Como tienen que fijarse se sacan de la PCB con tres terminales (cables). También se les coloca un botón de control estético.

## Jacks



Los jacks son los componentes que estarán en contacto con el plug de la guitarra y del amplificador. También se sacan de la PCB con cables ya que también tienen que ir fijados a la caja del efecto. También se tiene que fijar a la caja un jack de alimentación.

## Conmutador



El conmutador de pie es el encargado de hacer pasar la señal por el efecto o no. Éste también va fijado a la caja y consecuentemente está conectado a la PCB y los jacks mediante cables. También activa el LED cuando el efecto está encendido.

## Imprimación y pintura



A continuación se da una capa de imprimación a la caja. La imprimación es una pintura de color verde muy adherente que prepara la superficie para ser pintada.

Después se dan varias capas de esmalte en spray para conseguir los satinados como el de la caja blanca.

## Serigrafía



Diseñamos la serigrafía mediante software (CorelDraw). Ésta se puede imprimir sobre papel fotográfico o transparencias adhesivas. Una vez adherida lacamos la superficie con espay.

En la serigrafía marcamos dónde perforar. Para el perforado usaremos brocas de aluminio HSS.

## Perforado y montaje



Finalmente fijamos los componentes externos como los potenciómetros, jacks, etc, en la caja. Alojamos también la placa del circuito dentro y la pila de alimentación.

Ya tenemos un pedal de efecto totalmente hecho en casa pero de calidad y estética profesional.

## Resultados finales

Este es el resultado que se obtiene de tantas horas de trabajo. La ventaja es que son personalizados y tienen un aspecto único. Siguen totalmente la filosofía Do It Yourself.



Nuestro blog sobre curiosidades de los pedales D.I.Y:

**WATERMELON**  
watermelon-effects.blogspot.com