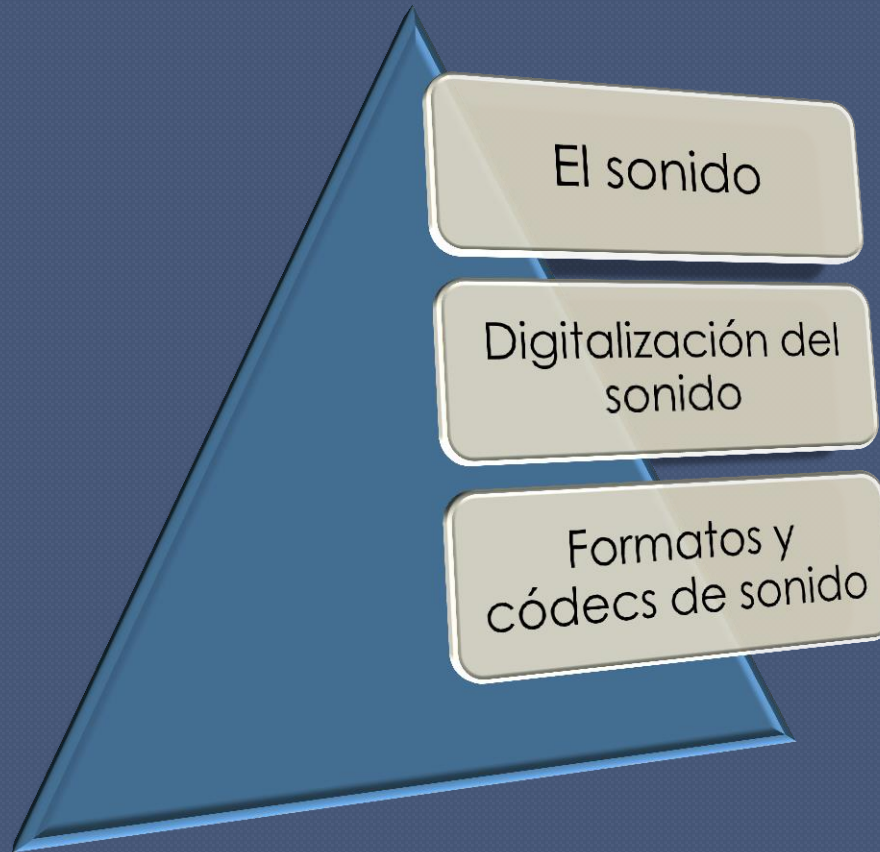


Sonido

Índice



► *Física*

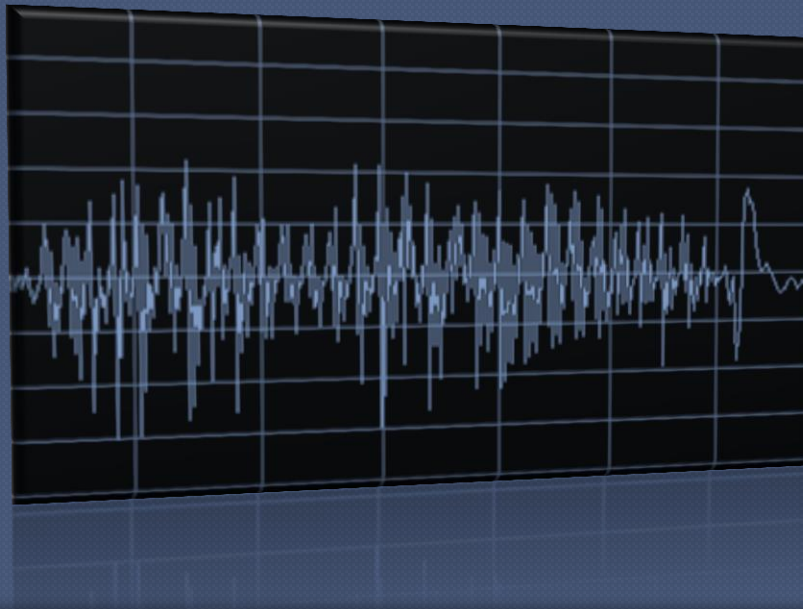
► *Electrónica*

► *Informática*

El sonido

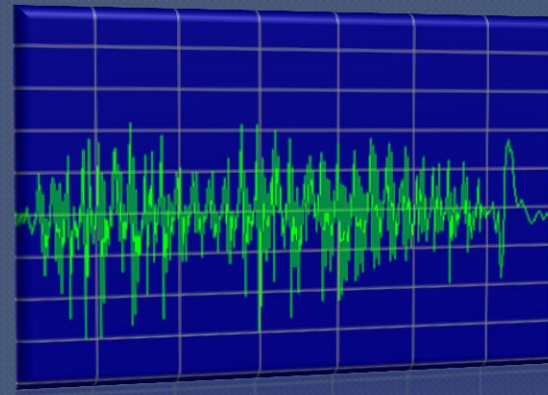
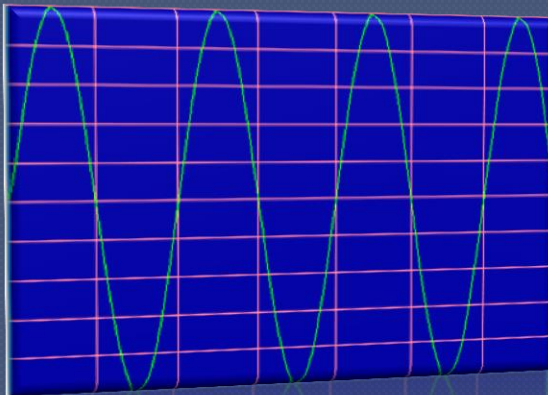
Definición

- El sonido es una **vibración** que se propaga en un determinado medio
- El sonido es una **onda**



El sonido

- El sonido más **simple**: una onda sinusoidal (un tono)
- Un sonido **complejo** es la composición de ondas sinusoidales (FFT)



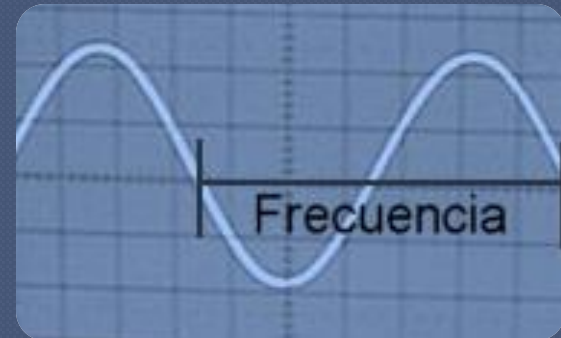
El sonido

Parámetros que caracterizan el sonido

- ◉ Parámetros físicos de la onda sonora
 - Frecuencia
 - Amplitud
 - Longitud de onda
 - Período
- ◉ Cualidades del sonido (percepción)
 - Tono
 - Timbre
 - Intensidad
 - Duración

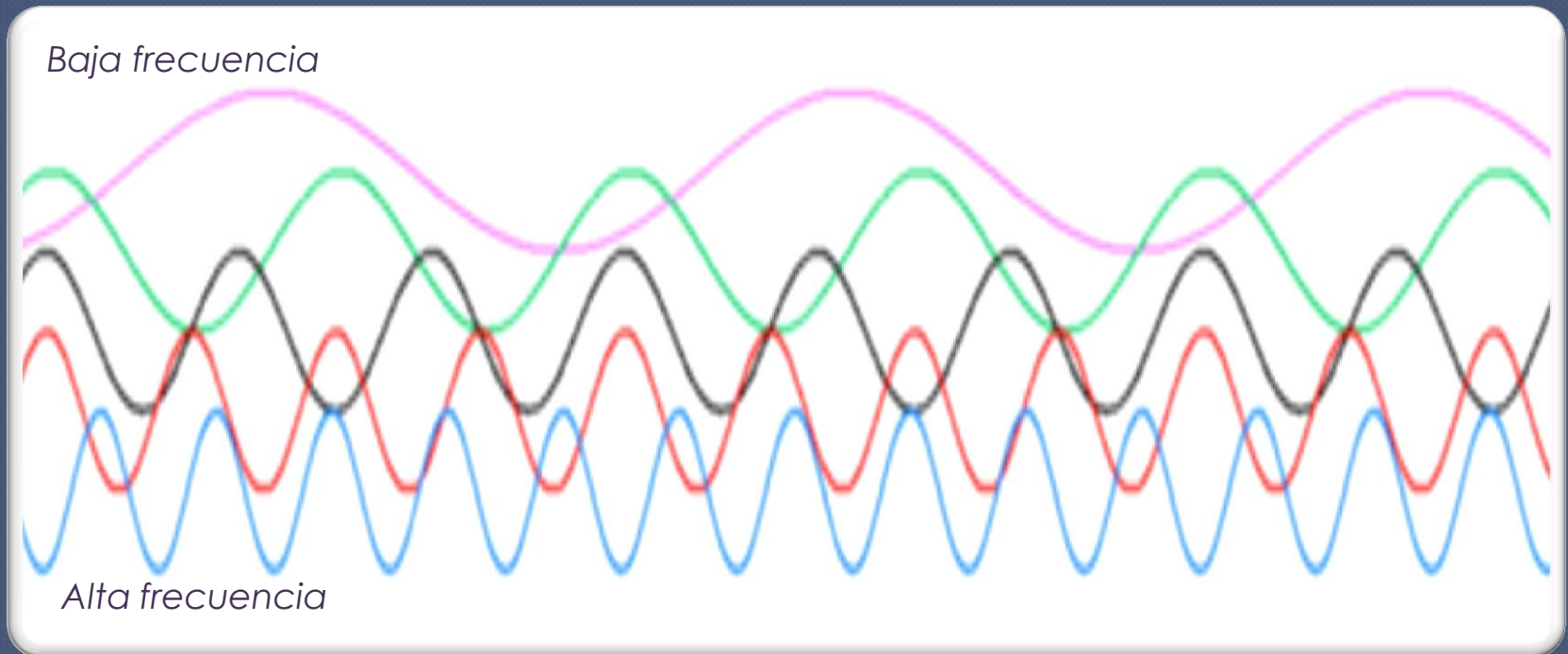
• Número de ciclos por segundo

- Se mide en Hercios (Hz)
- El humano “oye” sonidos entre 20Hz-20000Hz
- Frecuencias bajas ► sonidos graves
- Frecuencias altas ► sonidos agudos
- Periodo = $1/\text{Frecuencia}$



El sonido

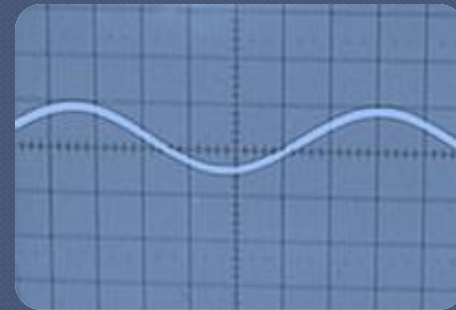
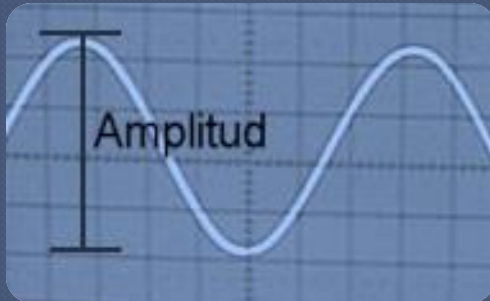
Frecuencia



El sonido

Amplitud

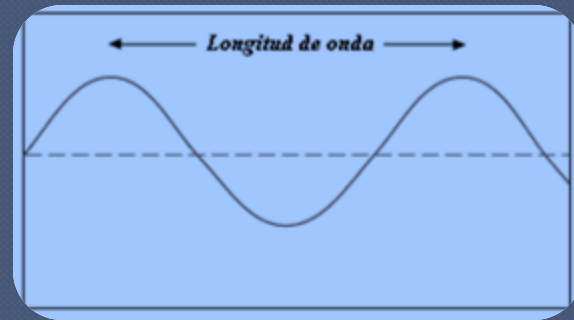
- Cantidad de energía del sonido
 - Se mide en decibelios (dB)
 - Está relacionado con la intensidad del sonido



El sonido

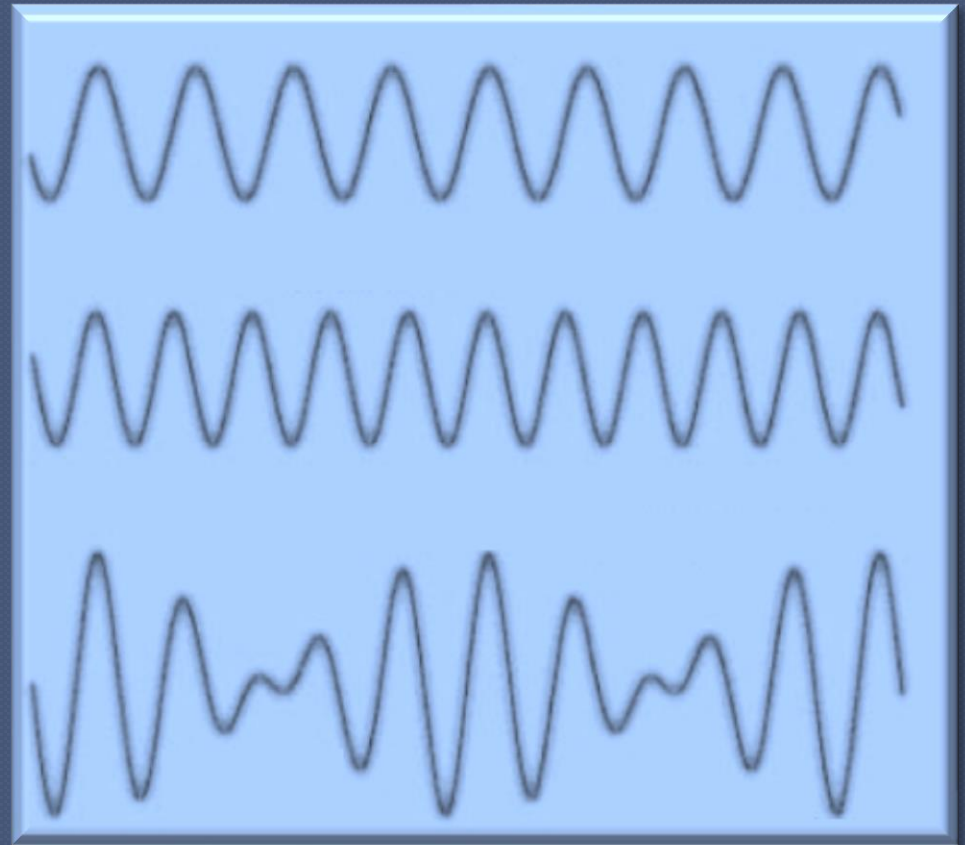
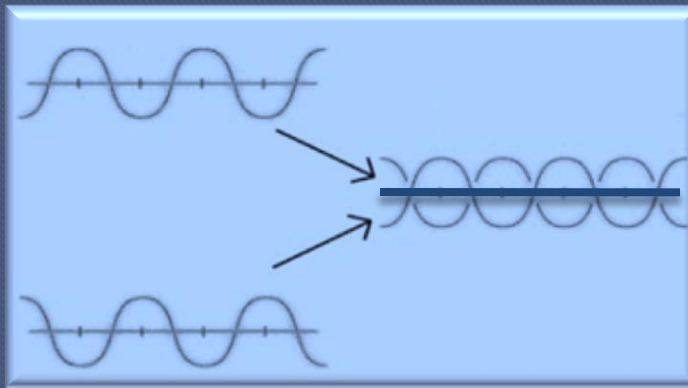
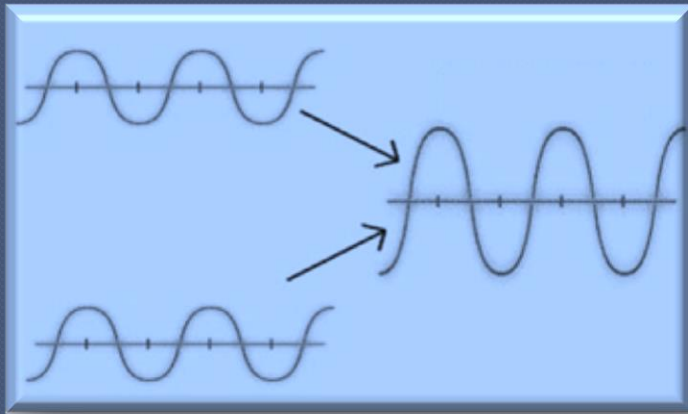
Longitud de onda

- Distancia entre el principio y el final de un ciclo
 - Se mide en metros
 - Es inversamente proporcional a la frecuencia



El sonido

Composición de sonidos



El sonido

Cualidades del sonido (percepción)

• Tono

- Permite distinguir entre **sonidos graves y agudos** y viene determinado por la frecuencia fundamental

• Timbre

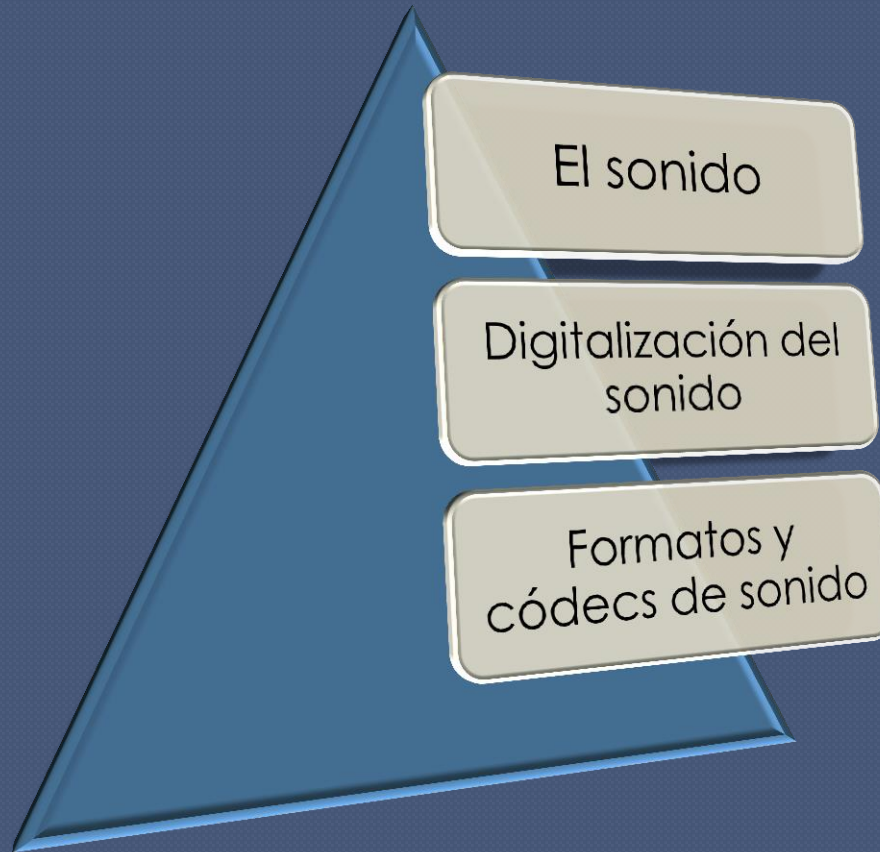
- Es la cualidad que confiere al sonido los armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental

• Intensidad

- Es la cantidad de energía acústica que contiene un sonido. Permite distinguir entre **sonidos fuertes y débiles** y viene determinada por la amplitud

• Duración

Índice



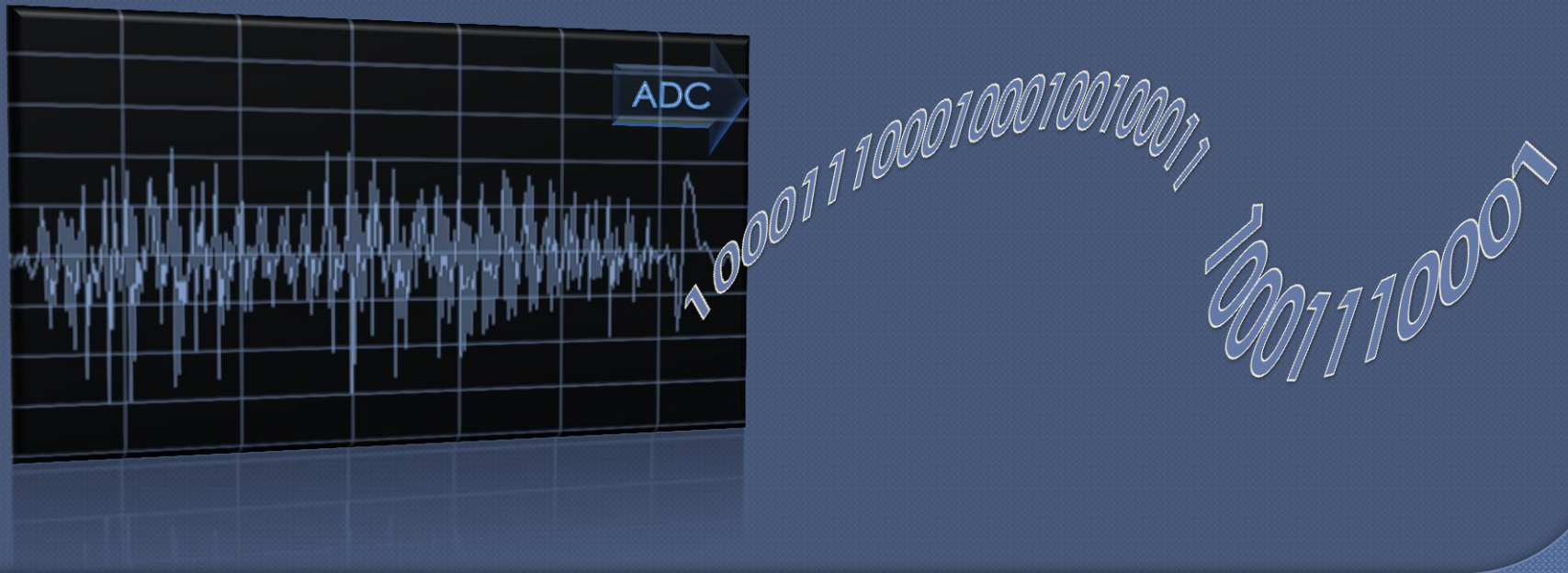
► *Física*

► *Electrónica*

► *Informática*

Digitalización del sonido

- Objetivo: transformar la onda sonora (señal analógica) en secuencias de bits (señal digital)



Digitalización

- Se mide la amplitud de la onda sonora (señal analógica) a **intervalos de tiempo** muy pequeños y se asigna un **número binario** a dicha amplitud



Resolución

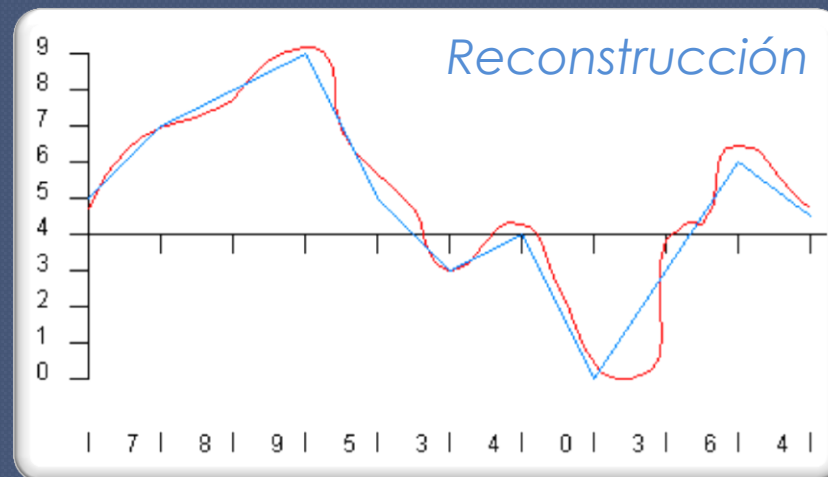
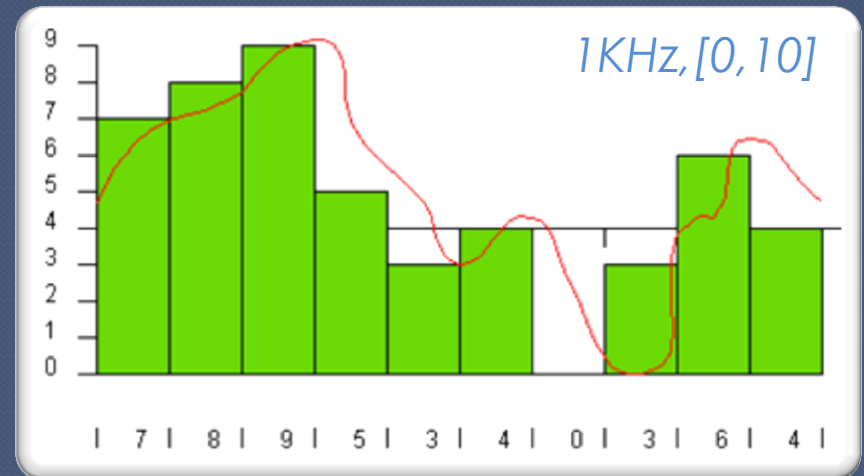
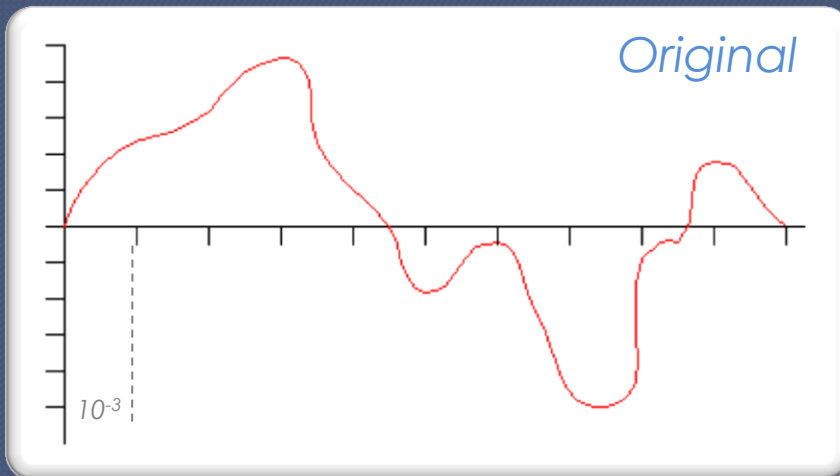
Número de bits por muestra

Frecuencia de
muestreo

Número de muestras por segundo

Digitalización

Ejemplo



Ejemplo



Digitalización

◉ El sonido de un CD se digitaliza:

- Frecuencia de muestreo: 44.1Khz
- Resolución: 16 bits por canal ► [0,65536]

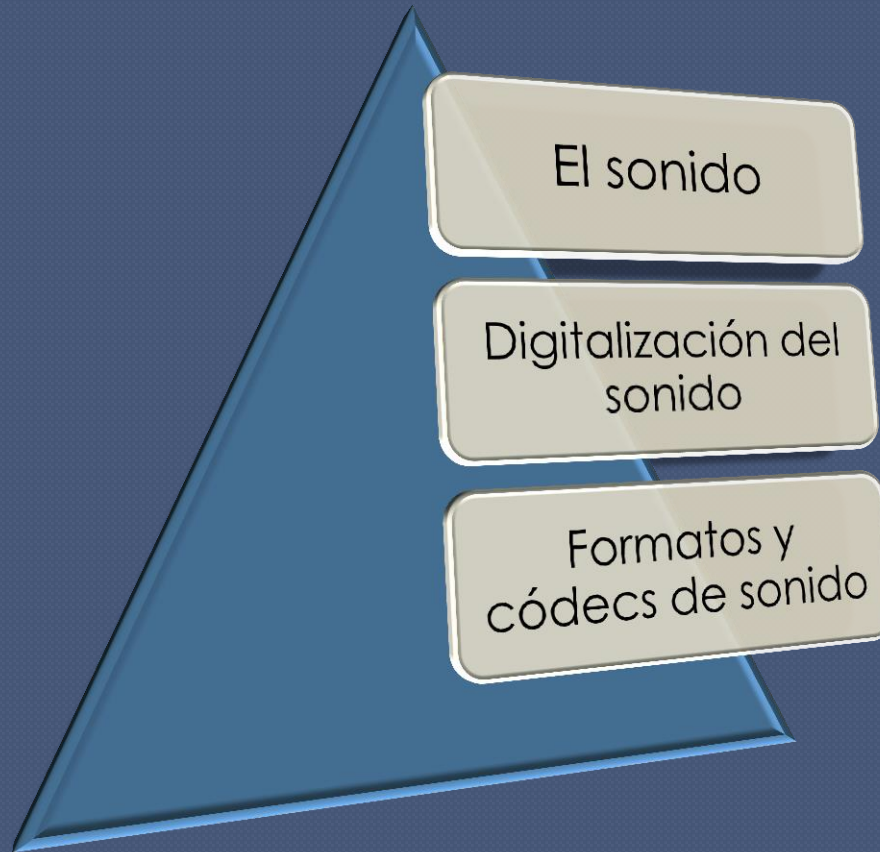
$$\begin{array}{ccccccc} \bullet & 1s & \blacktriangleright & 44100 & * & 16 & * & 2 & = & 1378.125 \text{ Kbits/s} \\ & & & \text{muestras/segundo*canal} & & \text{bits/muestras} & & \text{canales} & & \end{array}$$

Digitalización

Ventajas

- ◉ **No se deteriora** con el paso del tiempo
 - La representación, y por tanto la reproducción, es siempre la misma, independientemente de las veces que se reproduzca o se duplique
- ◉ Mayor **calidad** de sonido
- ◉ **Manipulación digital** del sonido
 - Procesamiento de la señal: filtros, efectos, etc.
 - Compresión
- ◉ **Almacenamiento** y **transmisión**. Mayor facilidad para la producción y distribución en masa

Índice



► *Física*

► *Electrónica*

► *Informática*

Formatos y códecs

- Hay que distinguir entre:

Formato del fichero

Es un “contenedor” de datos (cabecera, audio, etc.). Se suele identificar por su extensión



WAVE	TTA	MP3
AIFF	FLAC	WMA
AU	OGG	...

Códec

Algoritmo con el se codifica/descodifica el sonido contenido en el fichero



PCM	ADPCM	MP3
μ -law	ATRAC	AAC
A-law	VMA	...

Formatos y códecs

- Hay que distinguir entre:

Formato del fichero

Es un “contenedor” de datos (cabecera, audio, etc.). Se suele identificar por su extensión

Códec

Algoritmo con el se codifica/descodifica el sonido contenido en el fichero

Es muy común que un formato de fichero esté asociado a un códec (p.e. mp3), aunque no siempre ha de ser así

Formatos y códecs

- A la hora de comparar formatos y códecs, se consideran parámetros como:
 - La **calidad** del sonido
 - El **tamaño** del fichero
 - El **bitrate** : bits por segundo de audio

Formatos de sonido

Sin
compresión

WAV /PCM
AIFF /PCM
AU /PCM

...

Con
compresión

Sin pérdidas

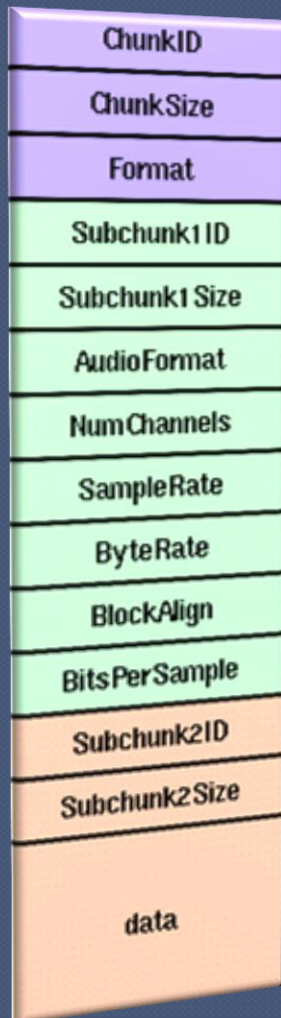
TTA, FLAC, AIFF/ μ -law...

Con pérdidas

Mp3, VMA, Vorbis, AAC...

WAVE

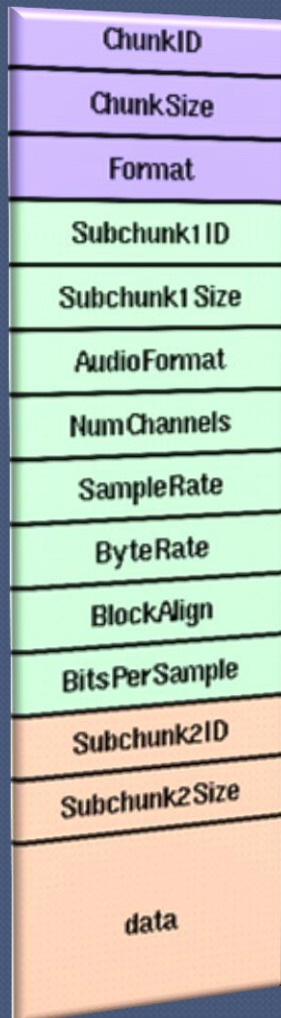
.wav



- ◉ Formato estándar desarrollado por **Microsoft e IBM** para el PC
- ◉ Se usa principalmente para almacenar sonido sin comprimir en formato **PCM** (*pulse-code-modulation*) y admite diferentes frecuencias de muestreo y resoluciones
- ◉ También **admite compresión**, pero su uso es menos frecuente

WAVE

.wav



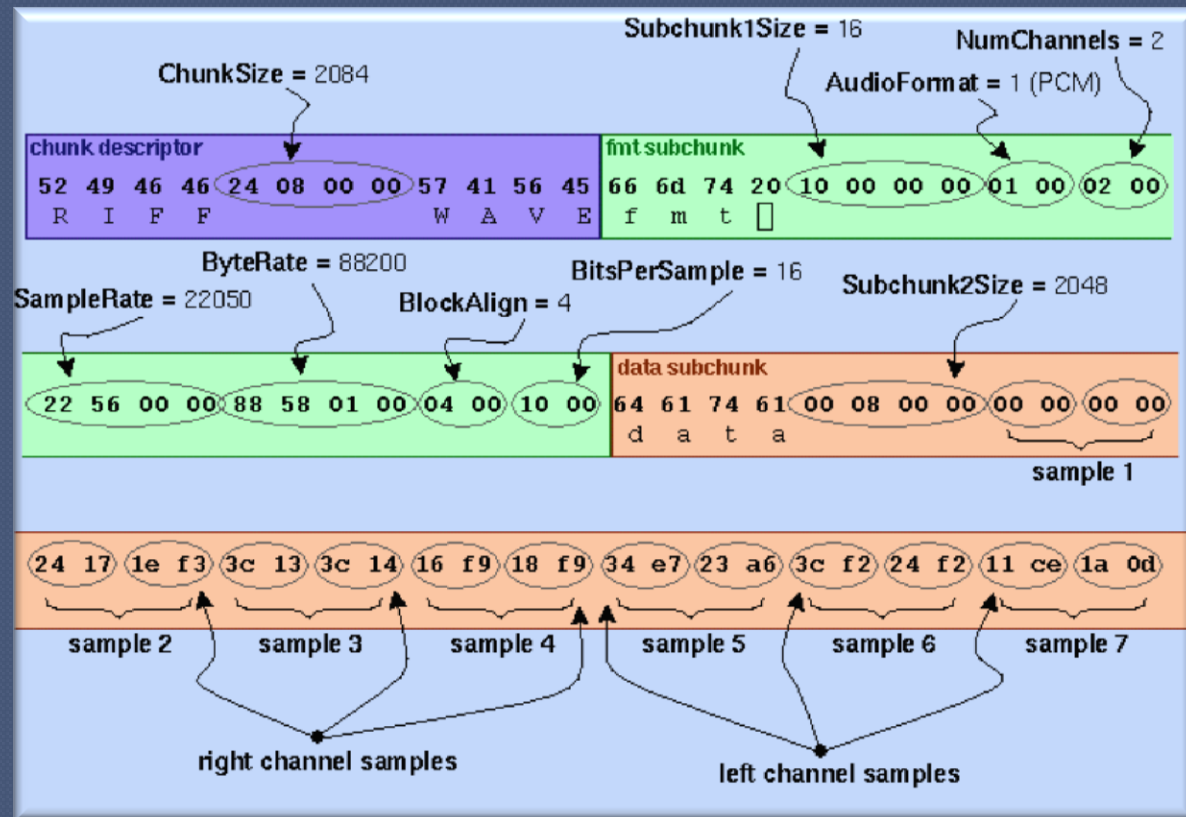
- Usando PCM, ofrece **máxima calidad** pero a costa de un tamaño muy grande (máx. 4Gb)
- Existen formatos WAVE que incluyen códecs con compresión sin pérdidas (ATRAC, ADPCM) y con pérdidas (MP3)

WAVE

Ejemplo

ChunkID
ChunkSize
Format
Subchunk1ID
Subchunk1 Size
AudioFormat
NumChannels
SampleRate
ByteRate
BlockAlign
BitsPerSample
Subchunk2ID
Subchunk2 Size
data

52 49 46 46 24 08 00 00 57 41 56 45 66 6d 74 20 10 00 00 00 01 00 02 00
 22 56 00 00 88 58 01 00 04 00 10 00 64 61 74 61 00 08 00 00 00 00 00 00
 24 17 1e f3 3c 13 3c 14 16 f9 18 f9 34 e7 23 a6 3c f2 24 f2 11 ce 1a 0d



AIFF

.aiff , .aif, .aifc

- *Audio Interchange File Format* (AIFF) es un formato desarrollado por **Apple** para el Macintosh (el equivalente al WAVE de Microsoft e IBM)
- Su versión estándar almacena sonido sin comprimir en formato **PCM**, aunque también **admite compresión** sin pérdidas (μ -law, A-law) en su versión AIFFC

- Formato desarrollado por Sun Microsystems muy extendido en sistemas Unix (el equivalente al WAVE y al AIFF)
- Almacena sonido sin comprimir (PCM) y también admite compresión sin pérdidas (μ -law, A-law, ADPCM)

Formatos de sonido

Sin
compresión

WAV /PCM
AIFF /PCM
AU /PCM

...

Con
compresión

Sin pérdidas

TTA, FLAC, AIFF/ μ -law...

Con pérdidas

Mp3, VMA, Vorbis, AAC...

TTA, FLAC...

Compresión sin pérdidas

- Los **compresores estándar** (p.e. ZIP, RAR) dan factores de compresión muy pequeños para ficheros de audio (rara vez por debajo del 85%)
- Por este motivo, surgen **compresores específicos para el sonido** que, si bien reducen el ratio de los compresores estándar, no ofrecen altos niveles de compresión.

TTA, FLAC...

Compresión sin pérdidas

◉ Algunos ejemplos:

- True Audio (TTA)
- Free Lossless Audio Codec (FLAC)
- Apple Lossless (ALAC)
- Monkey's Audio
- WavPack
- Shorten
- WMA Lossless

.tta
.flac
.m4a
.ape
.wv
.shn
.wma

- ◉ Los factores de compresión de estos formatos están entre 30% y 70%, dependiendo del audio comprimido

Formatos de sonido

Sin
compresión

WAV /PCM
AIFF /PCM
AU /PCM

...

Con
compresión

Sin pérdidas

TTA, FLAC, AIFF/ μ -law...

Con pérdidas

Mp3, VMA, Vorbis, AAC...

.mp3

MP3

- Utiliza **modelos psicoacústicos** para descartar partes del sonido que son inapreciables para el oído humano

La señal se analiza por bloques, siendo cada bloque transformado al dominio de las frecuencias (MDCT)

Cada bloque en el dominio frecuencial es filtrado y cuantizado en base a modelos psicoacústicos

El bloque ya cuantizado es comprimido usando algoritmos sin pérdidas (p.e. Huffman)

- El estándar no es estricto en la definición del algoritmo de **codificación**. Por este motivo, existen diferentes **variantes del códec** mp3 (Fraunhofer, Lame, etc.)
- Sí es muy conciso, sin embargo, en lo referente al **formato del fichero** y al algoritmo de **decodificación**

MP3

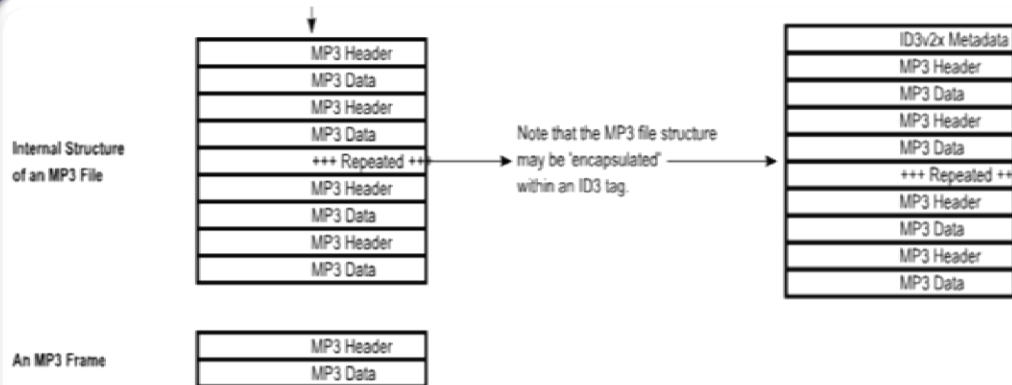
Parámetros

- **Bitrates:** 32, 40, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160, 192, 224, 256 y 320 Kbits/s
 - A menor bitrate, menor tamaño de fichero pero menor calidad de sonido
 - Para un mismo bitrate, la calidad puede ser distinta en función del códec
 - En general, 128 Kbits/s ofrece una alta calidad en los códecs más modernos. Este bitrate puede reducirse a 96 Kbits/s si se usa el “modo estéreo”
 - El bitrate puede ser constante (CBR) o variable (VBR)
- **Frecuencias de muestreo:** 32kHz, 44.1kHz, 48kHz

En un CD (muestreo a 44.1KHz, 16bits por muestra, dos canales) el bitrate es 1378.125 Kbits/s

MP3

Estructura del fichero



Un fichero MP3 está formado por una secuencia de bloques (*frames*) independientes donde cada bloque contiene:

- Cabecera
- Datos

Example
MP3 Header

FFFBA040

Colour-coding shows binary bit mapping to hex values below

Detail of an MP3 Header	Bits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
	Binary	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0			
	Hex	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	B	A	0	A	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0				
		MP3 Sync Word												Version	Layer	Error Protection				Bit Rate				Frequency				Pad. Bit	Priv. Bit	Mode		Mode Extension (Used With Joint Stereo)		Copy	Original	Emphasis
	Value	Sync Word												1 = MPEG	01 = Layer 3	1 = No				1010 = 160				00 = 44100 Hz				0 = Frame is not padded	Unknown	01 = Joint Stereo		0 = Intensity Stereo	0 = MS Stereo	0 = Not Copy-righted	0 = Copy Of Original Media	00 = None

AAC

.aac, .mp4, .m4p, .3gp

- ◉ Advanced Audio Coding (AAC) es el **sucesor del MP3**, ofreciendo a día de hoy mejor calidad de sonido que el resto de códecs (especialmente por debajo de 128Kbps)
- ◉ Desarrollado con la colaboración de **varias compañías**: Sony, Dolby, AT&T, Nokia...
- ◉ Es el **códec estándar de**:
 - Vídeo MPEG-4
 - iPod e iPhone de Apple
 - PlayStation
 - YouTube
- ◉ Hay diversos **perfiles**: LC, HE, SRS, LTP, LD, SLS...

AAC

.aac, .mp4, .m4p, .3gp

- ◉ **Mejoras** (respecto a MP3):
 - Más frecuencias de muestreo (8KHz-96KHz)
 - Hasta 48 canales
 - Bitrates variables
 - Mayor eficiencia
 - Banco de filtros más óptimo
 - Mejora en el manejo de la señal estéreo
- ◉ AAC es mejor que MP3 a **bitrates inferiores a 128Kbps**. Por encima de este valor, su comportamiento es similar

- ◉ Windows Media Audio (WMA) es un códec similar al MP3 desarrollado por Microsoft
- ◉ Hay cuatro variantes:
 - WMA Standard
 - WMA Pro
 - WMA Lossless
 - WMA Voice

◉ WMA Standard

- Aplica la MDCT por bloques (64...2048), cuantización en base a **modelos psicoacústicos** y comprime usando Huffman
- Permite bitrate variable (VBR)
- Soporta la gestión de derechos de autor
- Frecuencias de muestreo de hasta 48kHz, 16 bits y 2 canales

◉ WMA Pro

- Algoritmo de compresión mejorado que ofrece **gran calidad a bajos bitrates**
- Frecuencias de muestreo de hasta 96kHz, 24 bits y 8 canales

◉ WMA Lossless

- Algoritmo de **compresión sin pérdidas** (ratio de 2:1 a 3:1)
- Frecuencias de muestreo de hasta 96kHz, 24 bits y 6 canales

◉ WMA Voice

- Diseñado para aplicaciones de voz

Vorbis

.ogg

- Códec de **libre distribución** similar a MP3 desarrollado por *Xiph.Org Foundation*
- **Compite en calidad** con MP3, AAC y WMA
- Existen varias **versiones**: aoTuV, Garf, MegaMix...
- Popular en software de libre distribución (pero poco en productos comerciales)

AC-3/DD

.dd, .ac3

- ◉ Códec con pérdidas desarrollado por laboratorios **Dolby**
- ◉ Asociado al audio de **películas y videojuegos** con varios canales
- ◉ La versión estándar usa 6 canales (5:1)
- ◉ Frecuencia de muestre de hasta 48kHz
- ◉ Diferentes alias: Dolby Digital, DD 5.1, Dolby Surround AC-3, ATSC A/52, etc.

.dd, .ac3

AC-3/DD

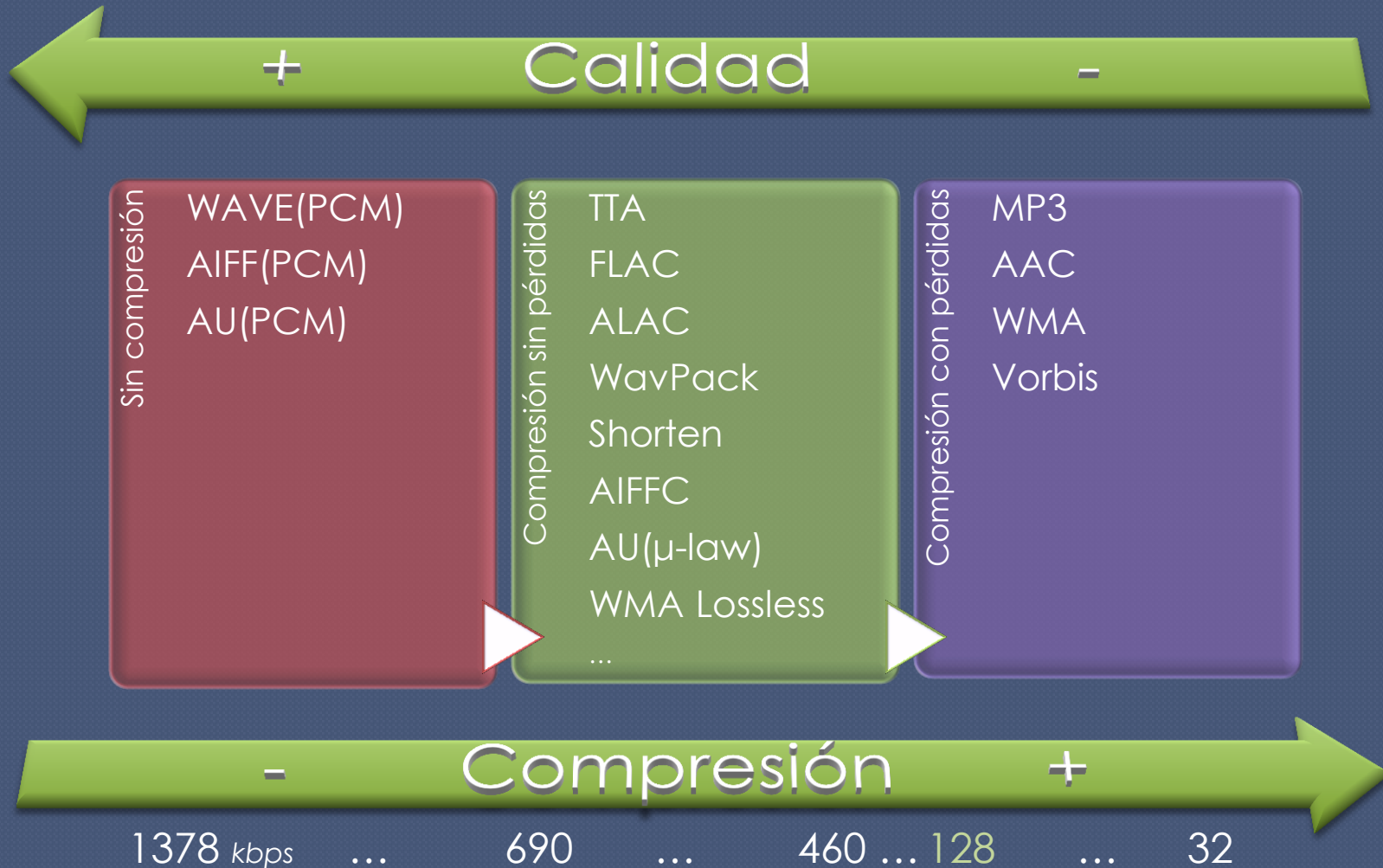
● Versiones avanzadas: DD-Plus, TrueHD

	HD DVD			Blu-ray Disc			DVD-Video		
	Soportado por reproductor	Canales (máx.)	Bit rate (máx.)	Soportado por reproductor	Canales (máx.)	Bit rate (máx.)	Soportado por reproductor	Canales (máx.)	Bit rate (máx.)
Dolby Digital	Obligatorio	5.1	504 kbit/s	Obligatorio	5.1	640 kbit/s	Obligatorio	5.1	448 kbit/s
Dolby Digital Plus		7.1	3 Mbit/s	Opcional	7.1	1.7 Mbit/s	N/A		
Dolby TrueHD		8	18 Mbit/s		8	18 Mbit/s			

- Digital Theater System (DTS) es un formato que compite con el AC-3 de Dolby
- Asociado al audio de películas
- La versión estándar usa 6 canales (5:1)
- Frecuencia de muestreo entre 48-96kHz
- Velocidades de transferencia mayores al AC-3 (768 kb/s o 1536 kb/s)
- No es códec por defecto en todos los reproductores

Comparativa

Calidad vs Compresión



Comparativa

Códecs con pérdida

Códec	BitRate (Kbit/s)	Fr.Muestreo (KHz)	Resolución (bits)	VBR	Canales
MP3	8 - 320	8 - 48	Cualquiera	SÍ	2 (MPEG2: 6)
AAC	8 - 529	8 - 192	Cualquiera	SÍ	2 - 48
WMA	4 - 768	8 - 96	Cualquiera	SÍ	2 - 8(Pro)
Vorbis	32 - 500	1 - 200	Cualquiera	SÍ	2 - 255

Comparativa

Códecs con pérdida

Bajo	32	<ul style="list-style-type: none">• AAC(HE,LC), Vorbis• WMA(S)• MP3(L)	2004
	48	<ul style="list-style-type: none">• AAC (HE)• Vorbis, WMA(Pro)• AAC(LC), WMA(S)• MP3(L)	2006
	64	<ul style="list-style-type: none">• WMA(Pro), AAC(HE)• MP3	2005,
Med-B	80 - 96	<ul style="list-style-type: none">• Vorbis• AAC(HE,LC)• WMA y MP3	2005
M-Alto	128 -	<ul style="list-style-type: none">• Todos se comportan de forma similar	2006

Otros test: http://en.wikipedia.org/wiki/Codec_listening_test

.ra

RealAudio

- ◉ Formato contenedor desarrollado por RealNetworks
- ◉ Permite el uso de varios códecs
- ◉ Bitrates desde 12kbs hasta 800kbs
 - Para <128 utiliza técnicas que eliminan frecuencias no perceptibles por el oído
 - Para >128 utiliza el códec AAC
 - También permite la modalidad sin pérdidas
- ◉ Se hizo muy popular por ser de los primeros formatos en permitir la reproducción a la vez que se descargaba (*streaming*), si bien hoy en día es una característica habitual

Midi

Sonido sintético

- ◉ Musical Instrument Digital Interface (MIDI) es un protocolo para la **composición musical**
- ◉ Los fichero MIDI **no guardan sonido**, sino información sobre secuencias de notas, su duración, instrumentos, etc. Podemos verlo como una “partitura digital”
- ◉ Ventajas:
 - Tamaño de fichero pequeño
 - Fácilmente editable
- ◉ Desventajas:
 - No reproduce de manera totalmente fiel el sonido original
 - La reproducción puede variar en función de la capacidad del reproductor