



Administración y Gestión de Redes
Lic. Sistemas de información



Laboratorio de Redes,
Recuperación de Información
y Estudios de la Web

VoIP

Voz sobre IP

Equipo docente:

Fernando Lorge (florge@unlu.edu.ar)

Santiago Ricci (sricci@unlu.edu.ar)

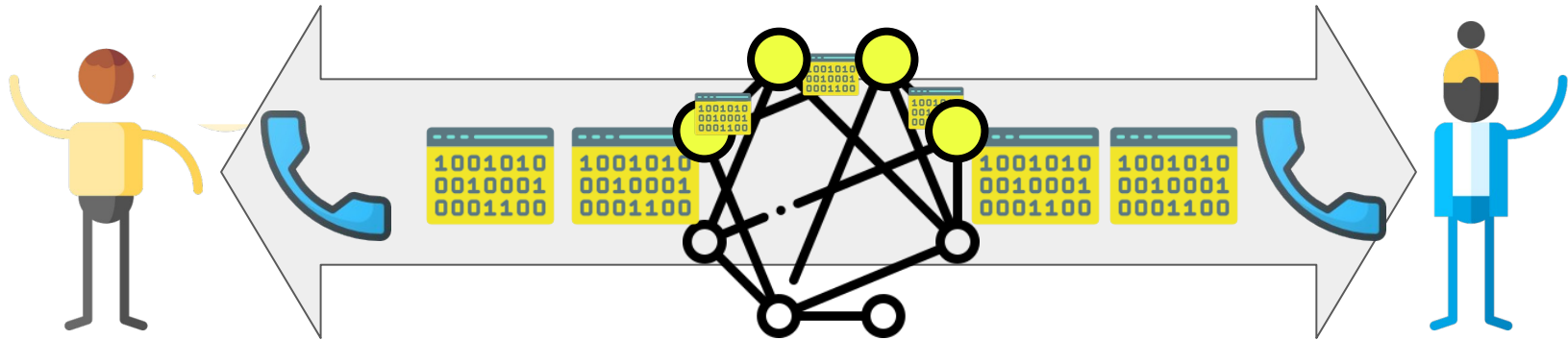
Alejandro Iglesias (aaiglesias@unlu.edu.ar)

Mauro Meloni (maurom@unlu.edu.ar)

Marcelo Fernandez (fernandezm@unlu.edu.ar)

¿Qué es VOIP?

VoIP es (casi) exactamente lo que su nombre indica: un conjunto de protocolos y tecnologías que permiten utilizar una red basada en el protocolo IP para establecer una comunicación de voz o video.



¿Cómo digitalizamos la multimedia? ¿Cómo los transmitimos en una red? ¿Cómo establecemos los canales de comunicación? ¿Hay dispositivos con diferentes capacidades?...

¿Por qué VOIP?

- Menores costos que la telefonía tradicional.
- Simplifica el diseño de la red y reusar dispositivos de intercomunicación.
- Todos los datos pasan por el mismo cable (no se necesita cablear teléfono).
- Hardware dedicado para terminales (teléfonos VoIP) y por software (softphones).
- Facilita la administración y la contabilidad.
- No requiere personal especializado.
- Es más fácil adaptarse a cambios y agregar teléfonos (no hay que recablear)



Costos

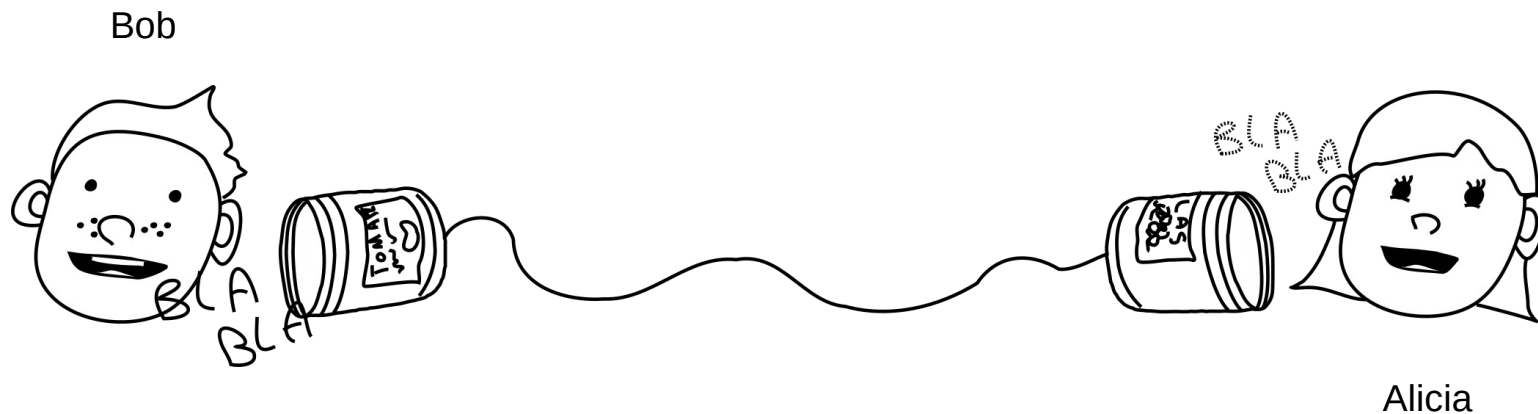


Administración



Adaptabilidad

¿Cómo funciona VOIP?



¿Cómo funciona VoIP?

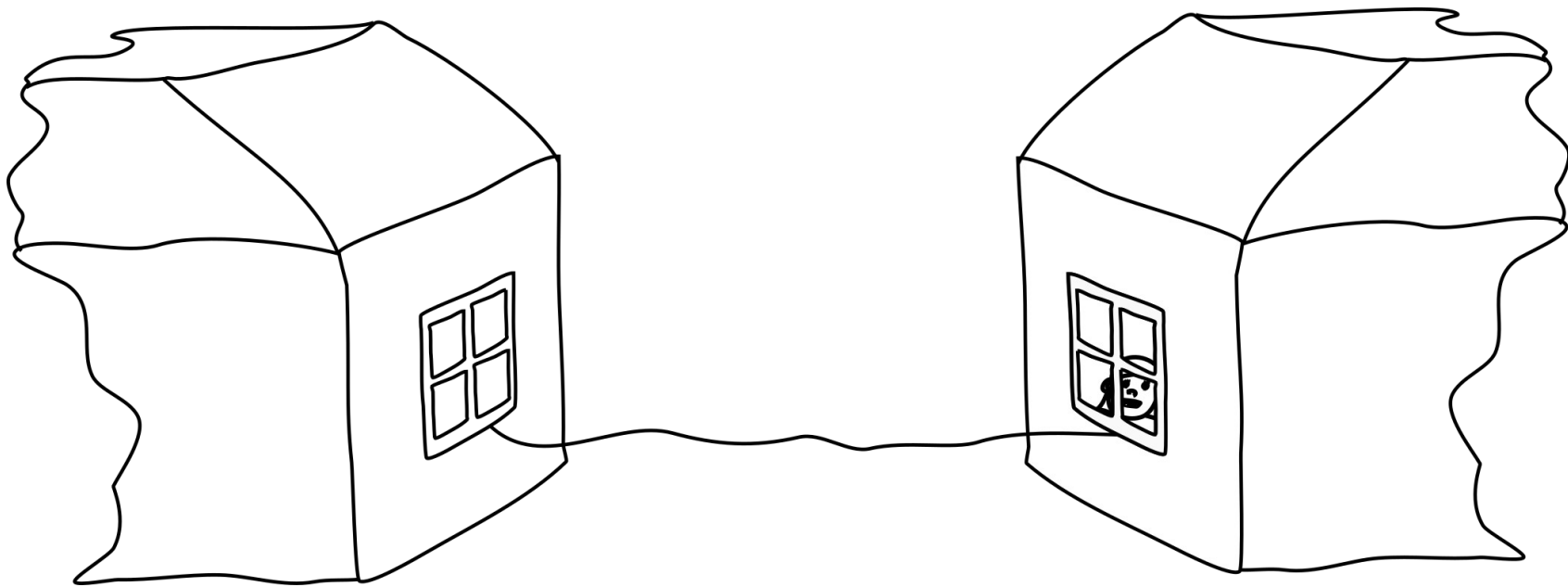
Casa de Bob



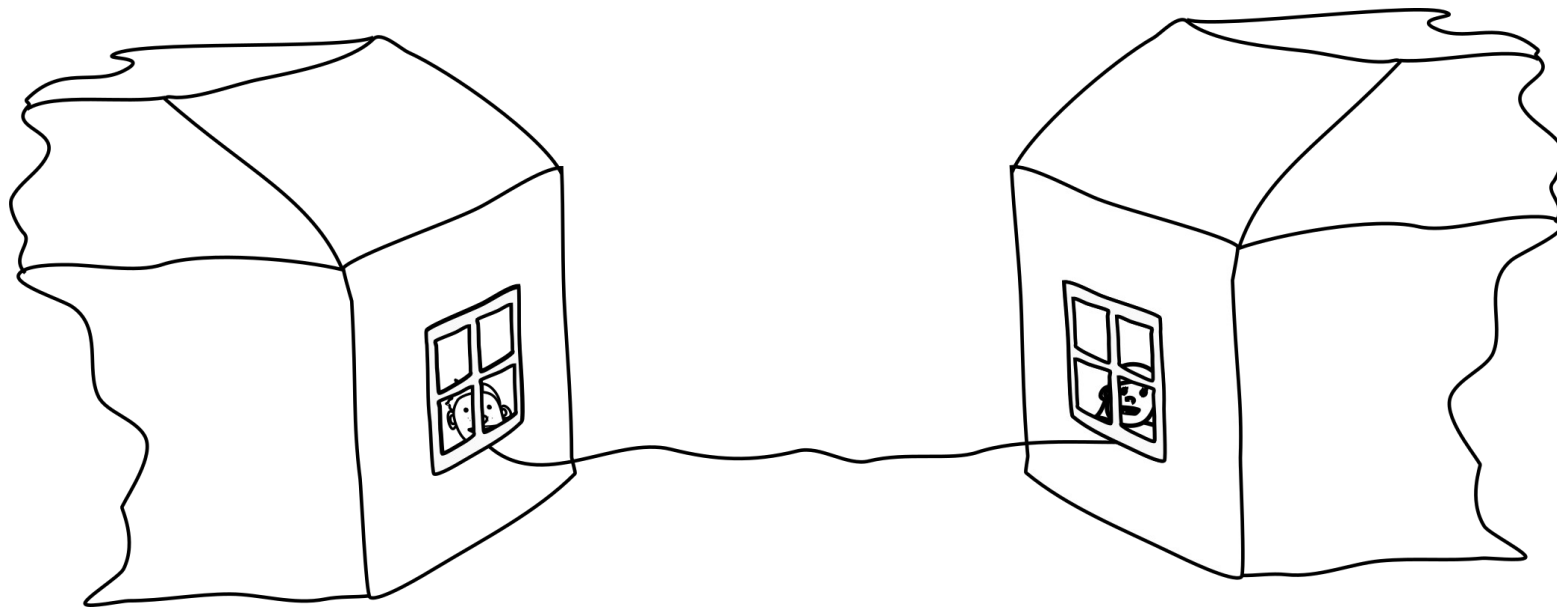
Casa de Alicia



¿Cómo funciona VoIP?

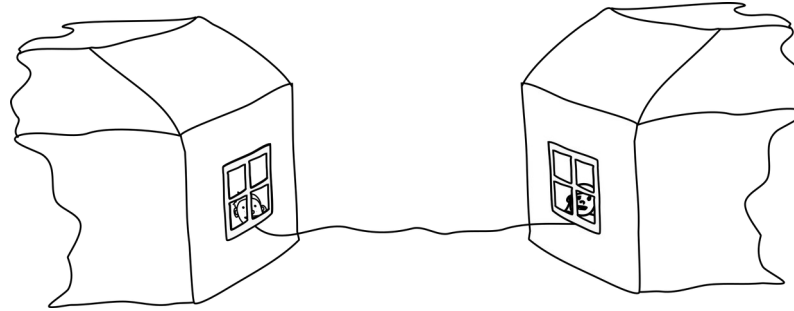


¿Cómo funciona VoIP?

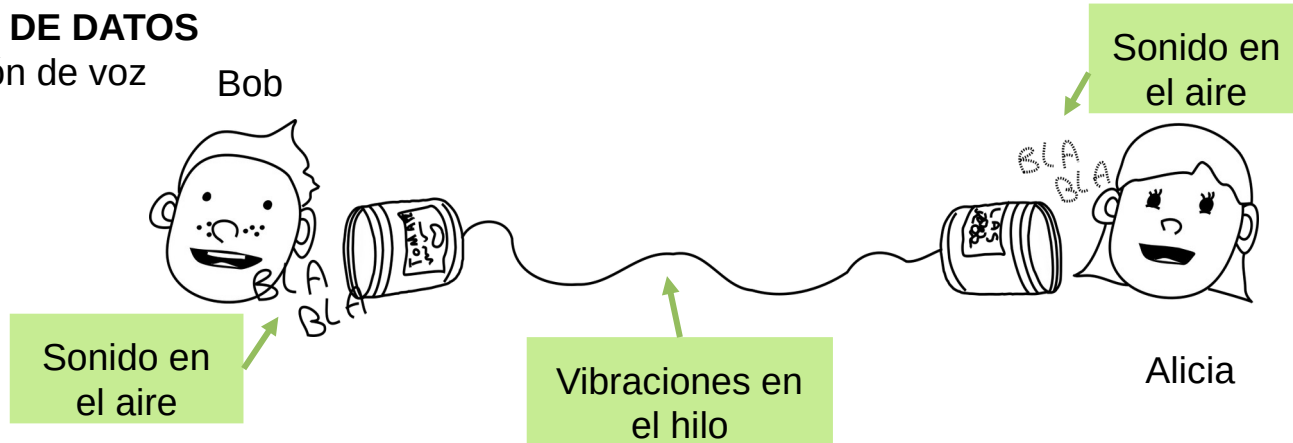


¿Cómo funciona VOIP?

SEÑALIZACIÓN
Establecimiento
de la comunicación

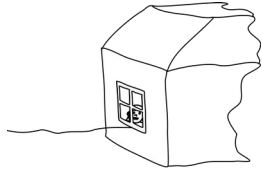


TRANSMISIÓN DE DATOS
Comunicación de voz



Arquitectura de un sistema VoIP

Señalización - SIP, H323, etc.



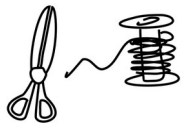
- Localización
- Establecimiento de llamadas (call setup)
- Características de la sesión
- Terminación de llamada

Transmisión de datos - RTP y RCTP.



Encapsulamiento de datos de audio (y video)
Secuenciamiento, Marcas de tiempo, Identificación

Soporte - DHCP, NTP, FTP, etc.



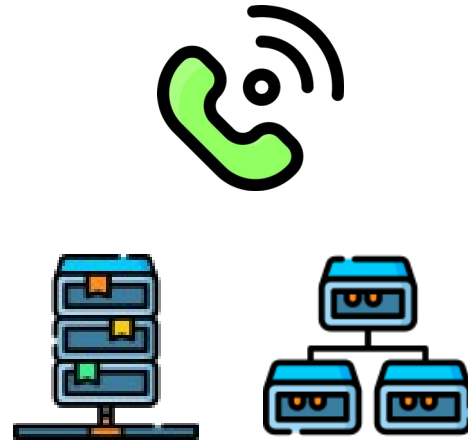
- Autoconfiguración, calidad de servicio
- Autenticación, autorización y contabilidad entre dominios

Señalización

Existen diferentes protocolos que se pueden usar para la señalización. Estos a su vez son los que definen cómo funcionará la comunicación y el resto de los protocolos y tecnologías a utilizar.

- **SIP** (IETF)
- **H323** (ITU-T)
- **SCCP** o *Skinny* (Cisco)
- **AIX** (Digium)

Estos además definen los actores y los papeles que tienen cada uno.



Session Initiation Protocol, definido en RFC 3261

Similar al protocolo HTTP, en texto plano, petición/respuesta, puerto TCP/UDP 5060.

Componentes:

- User Agent -> Terminal o Teléfono
- Registrar Server -> Servidor de registro de cuentas
- Proxy Server -> Servidor que reenvía mensajes
- Redirect Server -> Servidor que redirige mensajes



Protocolos de señalización:

- SIP -> Establecimiento de la llamada
- SDP -> Negociación de las características de la sesión.

Protocolos de transmisión de medios:

- RTP/RTCP -> Transmisión de multimedia

SIP



Direccionamiento en nomenclatura URI (RFC 3261).

sip:user@domain:port ej *sip:ale@sip.unlu.edu.ar:5060*

sip:user@host:port ej *sip:mauro@10.100.20.2:5060*

sip:phone number@domain ej *sip:1590@servmarce.unlu.edu.ar*



Peticiones: Method <SP> Request-URI <SP> SIP-Version <CRLF>

REGISTER para registrar información de contacto

INVITE, ACK, and CANCEL para establecimiento de sesiones

BYE para terminar sesiones

OPTIONS para consultar a los servidores por sus capacidades



Respuestas: SIP-Version SP Status-Code SP Reason-Phrase CRLF

- 1xx: Provisional
- 2xx: Success
- 3xx: Redirection
- 4xx: Client Error
- 5xx: Server Error
- 6xx: Global Failure

Session Initiation Protocol (SIP) RFC 3261

- SIP es un protocolo basado en texto que utiliza el juego de caracteres UTF-8.
- Un mensaje SIP es un requerimiento de un cliente a un servidor o una respuesta de un servidor a un cliente.

User Agent Client (UAC) ↔ User Agent Server (UAS)

- Los mensajes de peticiones y respuestas (Request and Response messages) utilizan el formato básico definido en RFC 2822.

Protocolo SIP

Estructura de Mensajes:

- Línea inicial (start-line)
- Uno o más campos de encabezados (header fields),
- Una línea en blanco que indica la finalización de los encabezados,
- Opcionalmente un cuerpo de mensaje (message-body)

```
generic-message  = start-line  
                  *message-header  
                  CRLF  
                  [ message-body ]  
start-line       = Request-Line / Status-Line
```

Estructura de Mensajes (Request)

Request-Line = Method <SP> Request-URI <SP> SIP-Version <CRLF>

- Métodos:
 - REGISTER para registrar información de contacto
 - INVITE, ACK, and CANCEL para establecimiento de sesiones
 - BYE para terminar sesiones
 - OPTIONS para consultar a los servidores por sus capacidades
- Request-URI:
 - The Request-URI es un URI SIP o SIPS. Indica el usuario o servicio al cual se destina la solicitud.
Formato URI SIP: sip:user@server:port
- SIP-Version: "SIP/2.0"

Mensaje de petición (Request Message)

- **Encabezados mínimos:**

- **To**

- To: Carol <sip:carol@chicago.com>

- **From**

- From: "Bob" <sips:bob@biloxi.com> ;tag=a48s

- **Cseq**

- CSeq: 4711 INVITE

- **Call-Id**

- Call-ID: f81d4fae-7dec-11d0-a765-00a0c91e6bf6@foo.bar.com

- **Max-Forwards**

- Max-Forwards: 70

- **Via**

- Via: SIP/2.0/UDP pc33.atlanta.com;branch=z9hG4bK776asdhds

- **Contact (Invite request)**

- <sip:bob@192.0.2.4>

Register

Internet Protocol Version 4, Src: 172.30.1.11 (172.30.1.11), Dst: 172.30.1.1 (172.30.1.1)

User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: sip (5060)

Session Initiation Protocol

Request-Line: REGISTER sip:172.30.1.1 SIP/2.0

Method: REGISTER

Request-URI: sip:172.30.1.1

[Resent Packet: False]

Message Header

Via: SIP/2.0/UDP 172.30.1.11:5060;branch=z9hG4bK31e7e1cfa

Max-Forwards: 70

Content-Length: 0

To: 4751111 <sip:4751111@172.30.1.1>

From: 4751111 <sip:4751111@172.30.1.1>;tag=afec0e2ffae8169

Call-ID: dd5d67821535446081bleece5c33e606@172.30.1.11

CSeq: 87753542 REGISTER

Contact: 4751111 <sip:4751111@172.30.1.11:5060>;expires=3600

Allow: NOTIFY

Allow: REFER

Allow: OPTIONS

Allow: INVITE

Allow: ACK

Allow: CANCEL

Allow: BYE

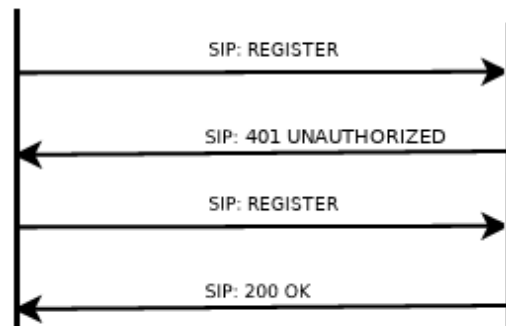
User-Agent: Avaya SIP R2.2 Endpoint Brcm Callctrl/1.5.1.0 MxSF/v3.2.6.26

4751111@170.30.1.1

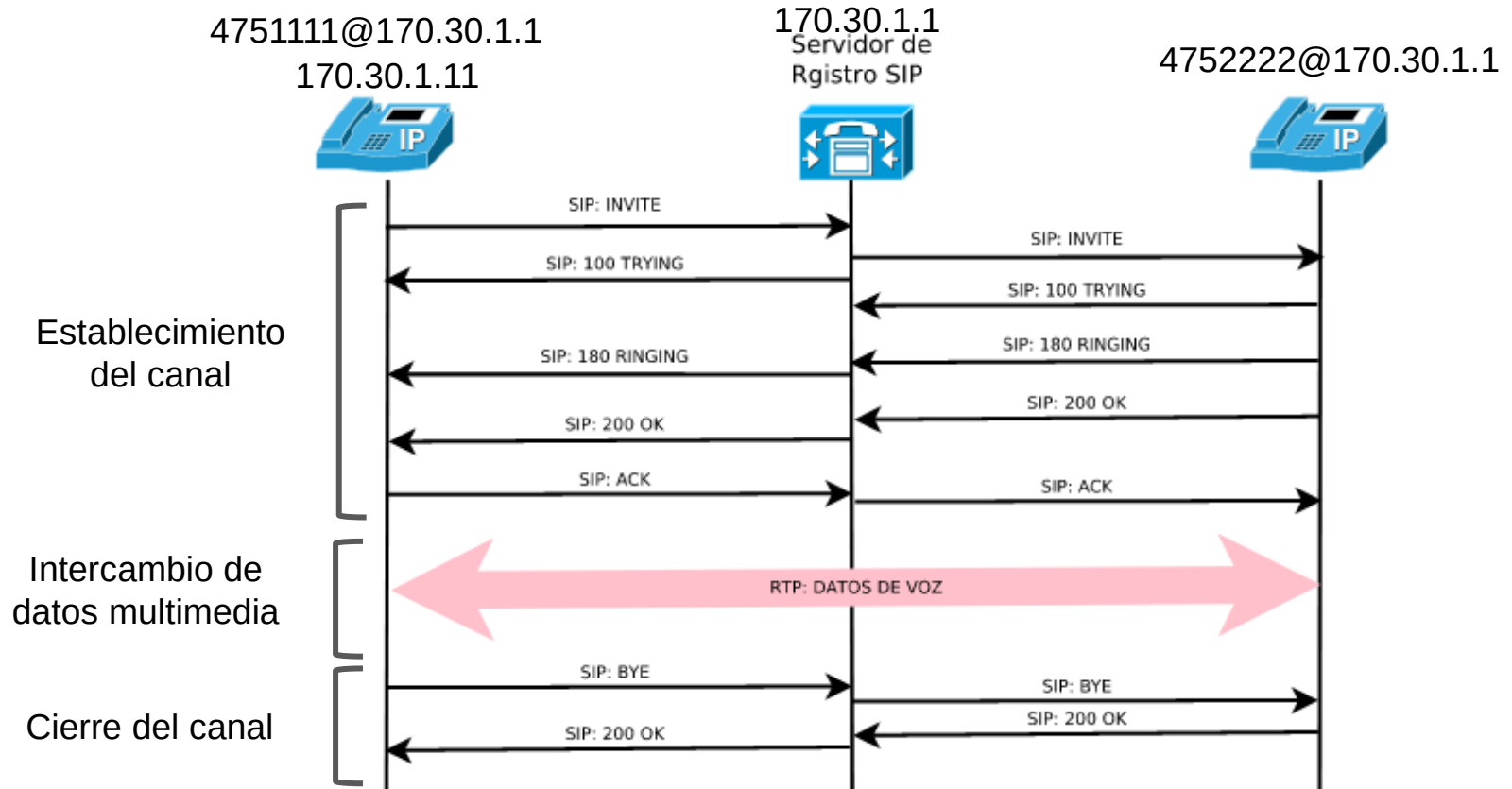
170.30.1.11



Servidor de
Registro SIP



Una llamada completa



Invite

Si analizamos una captura del invite vemos que aparece un protocolo nuevo SDP

```
Internet Protocol Version 4, Src: 172.30.1.11 (172.30.1.11), Dst: 172.30.1.1 (172.30.1.1)
User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: sip (5060)
Session Initiation Protocol
  Request-Line: INVITE sip:4752222@172.30.1.1 SIP/2.0
  Message Header
    Via: SIP/2.0/UDP 172.30.1.11:5060;branch=z9hG4bK085494974
      Max-Forwards: 70
      Content-Length: 261
    To: 4752222 <sip:4752222@172.30.1.1>
    From: 4751111 <sip:4751111@172.30.1.1>;tag=980906697d6b2c9
      Call-ID: c3d97bbb99745cbab4252e993de4f49c@172.30.1.11
    CSeq: 1324510262 INVITE
      Supported: timer
      Allow: NOTIFY
      Allow: REFER
      Allow: OPTIONS
      Allow: INVITE
      Allow: ACK
      Allow: CANCEL
      Allow: BYE
      Content-Type: application/sdp
    Contact: 4751111 <sip:4751111@172.30.1.11:5060>
      Supported: replaces
      User-Agent: Avaya SIP R2.2 Endpoint Brcm Callctrl/1.5.1.0 MxSF/v3.2.6.26
  Message Body
```

Trying & Ringing

Trying
Status 100 (provisorio)
Conserva los headers

```
Internet Protocol Version 4, Src: 172.30.1.1 (172.30.1.1), Dst: 172.30.1.11 (172.30.1.11)
User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: sip (5060)
Session Initiation Protocol
  Status-Line: SIP/2.0 100 Trying
  Message Header
    Via: SIP/2.0/UDP 172.30.1.11:5060;branch=z9hG4bK085494974;received=172.30.1.11
    From: 4751111 <sip:4751111@172.30.1.1>;tag=980906697d6b2c9
    To: 4752222 <sip:4752222@172.30.1.1>
    Call-ID: c3d97bbb99745cbab4252e993de4f49c@172.30.1.11
    CSeq: 1324510262 INVITE
    Server: FPBX-2.10.0rc1(1.8.11)
    Allow: INVITE, ACK, CANCEL, OPTIONS, BYE, REFER, SUBSCRIBE, NOTIFY, INFO, PUBLISH
    Supported: replaces, timer
    Contact: <sip:4752222@172.30.1.1:5060>
    Content-Length: 0
```

Ringing
Status 100 (provisorio)
Conserva los headers

```
Internet Protocol Version 4, Src: 172.30.1.1 (172.30.1.1), Dst: 172.30.1.11 (172.30.1.11)
User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: sip (5060)
Session Initiation Protocol
  Status-Line: SIP/2.0 180 Ringing
  Message Header
    Via: SIP/2.0/UDP 172.30.1.11:5060;branch=z9hG4bK085494974;received=172.30.1.11
    From: 4751111 <sip:4751111@172.30.1.1>;tag=980906697d6b2c9
    To: 4752222 <sip:4752222@172.30.1.1>;tag=as13d5d28a
    Call-ID: c3d97bbb99745cbab4252e993de4f49c@172.30.1.11
    CSeq: 1324510262 INVITE
    Server: FPBX-2.10.0rc1(1.8.11)
    Allow: INVITE, ACK, CANCEL, OPTIONS, BYE, REFER, SUBSCRIBE, NOTIFY, INFO, PUBLISH
    Supported: replaces, timer
    Contact: <sip:4752222@172.30.1.1:5060>
    Content-Length: 0
```

200 ok

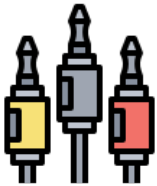
```
Internet Protocol Version 4, Src: 172.30.1.22 (172.30.1.22), Dst: 172.30.1.1
User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: sip (5060)
Session Initiation Protocol
  + Status-Line: SIP/2.0 200 OK
  + Message Header
  + Message Body
    + Session Description Protocol
      Session Description Protocol Version (v): 0
      + Owner/Creator, Session Id (o): MxSIP 0 612545041 IN IP4 172.30.1.22
      Session Name (s): SIP Call
      + Connection Information (c): IN IP4 172.30.1.22
      + Time Description, active time (t): 0 0
      + Media Description, name and address (m): audio 34008 RTP/AVP 0 8 101
      + Media Attribute (a): rtpmap:0 PCMU/8000
      + Media Attribute (a): rtpmap:8 PCMA/8000
      + Media Attribute (a): rtpmap:101 telephone-event/8000
      + Media Attribute (a):ptime:20
      Media Attribute (a): sendrecv
```

**Información del
canal de audio**

Status 200 (exitoso)

SDP

“Session Description Protocol” es un protocolo que viaja encapsulado en SIP, que tiene por objetivo transmitir información acerca de los flujos en sesiones multimedia para permitir a los destinatarios participar en la sesión.



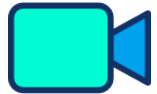
Una descripción de sesión SDP incluye:

- Nombre de Sesión y propósito (Session Description – Descripción de Sesión)
- Tiempo(s) en que la sesión es activa (Time description – Descripción Temporal)
- Los medios que componen la sesión (Media description – Descripción de Medios)
- Información para recibir esos medios (direcciones, puertos, formatos, etc.)



Media Information:

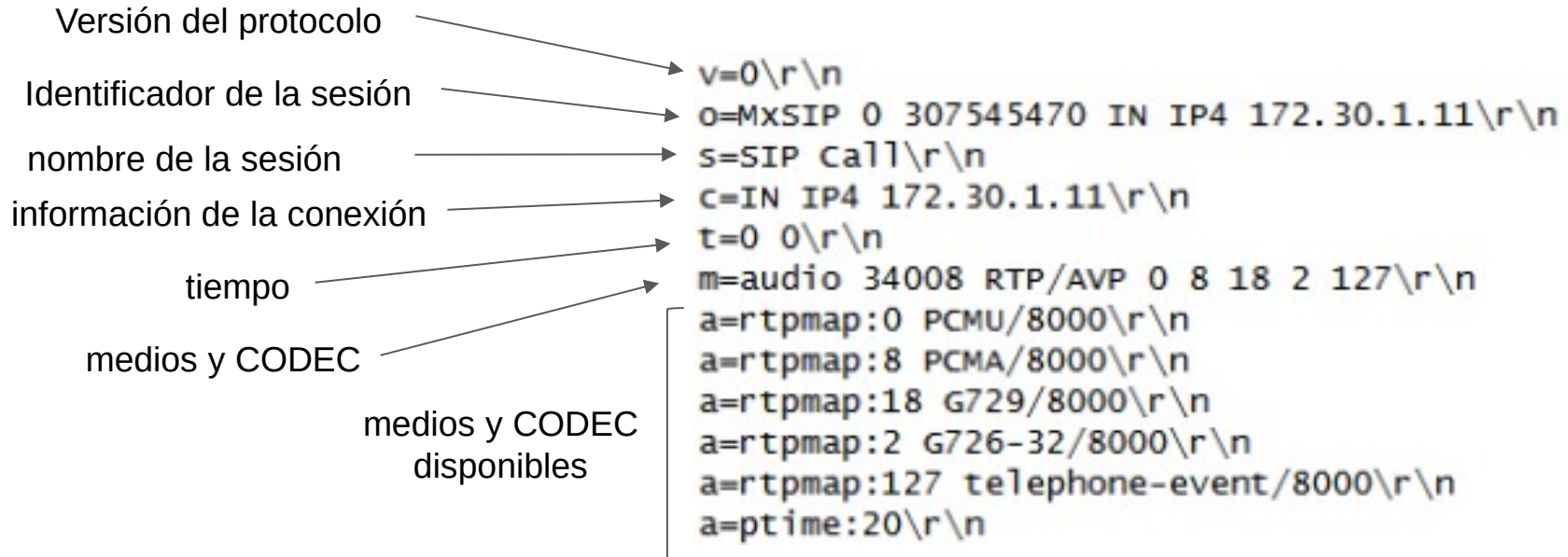
- El tipo de contenido (video, audio, etc.)
- El protocolo de transporte (RTP/UDP/IP, H.320, etc.)
- El formato del contenido (H.261 video, MPEG video, etc.)



Direcciones y puertos:

- Unicast o multicast, direcciones y puertos.

SDP en una captura

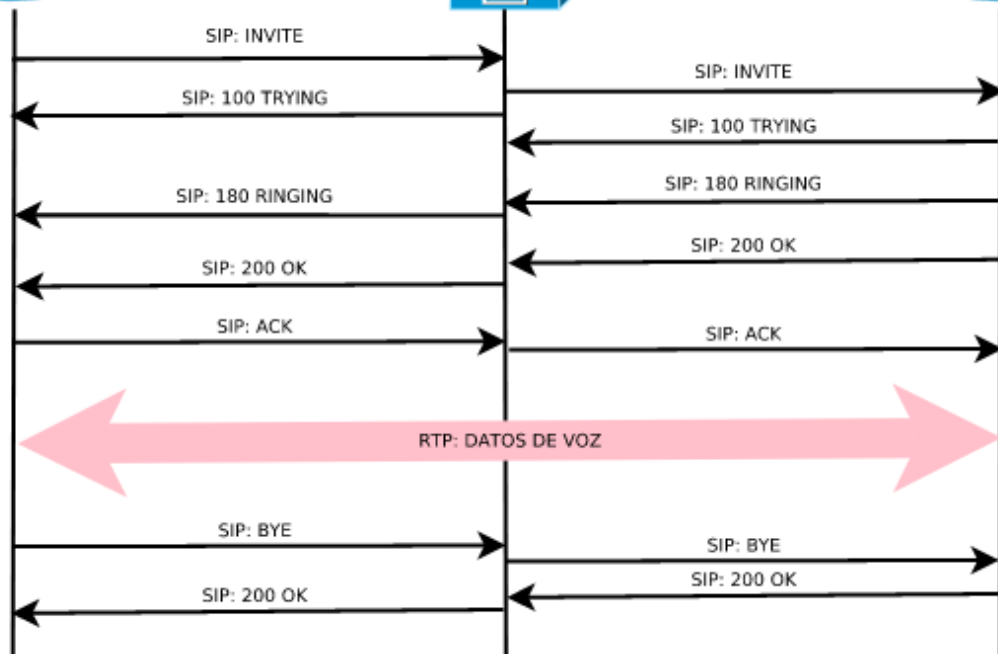


Una llamada completa

4751111@170.301.1.1
170.30.1.11

170.30.1.1
Servidor de
Registro SIP

4752222@170.301.1.1



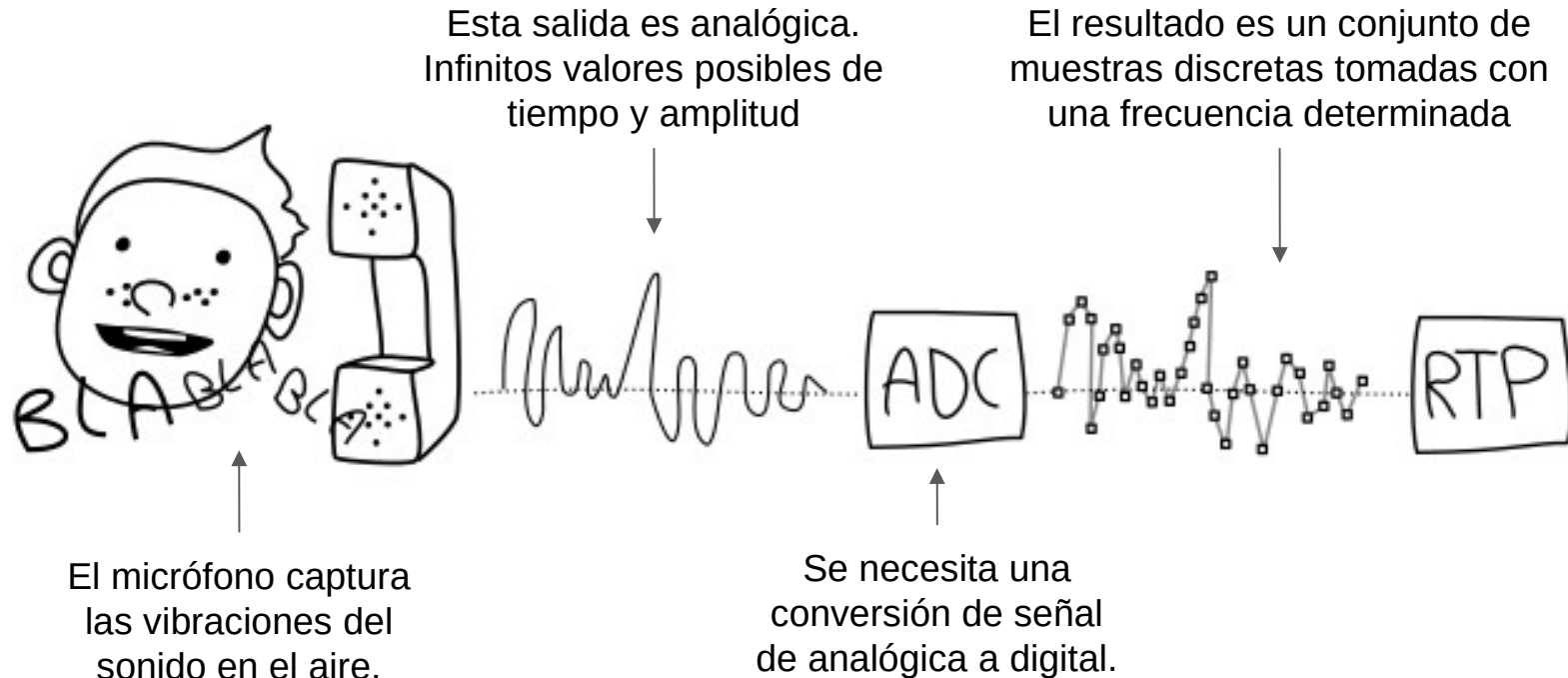
¿Cuántos flujos de datos existen?

¿Cuáles mensajes tienen SDP?

¿Cómo podría ser aprovechado para clasificación por inspección profunda SDP?

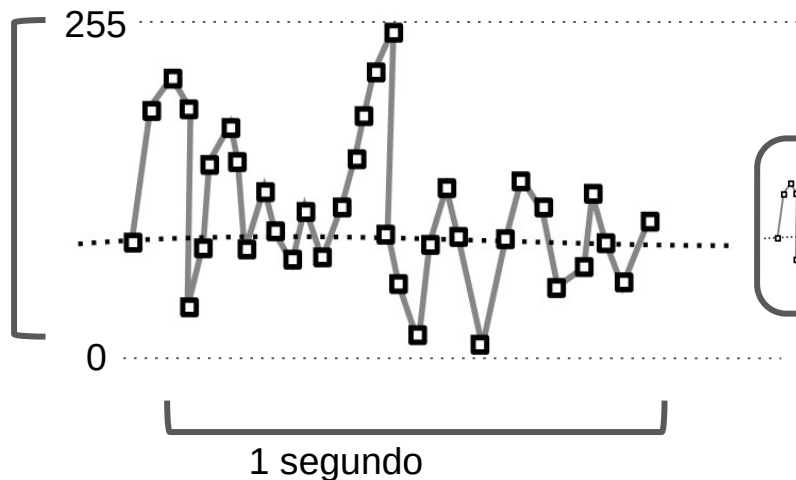
Un momento... ¿Qué es un CODEC?

Desde que ingresa el sonido al micrófono hasta que termina en un paquete RTP....

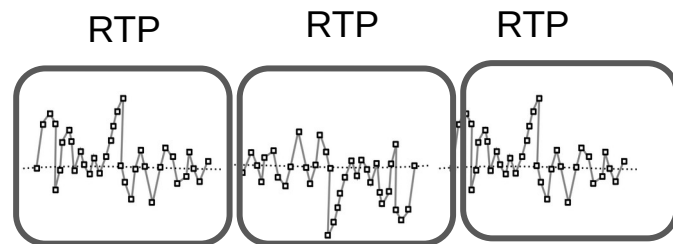


Como se digitaliza una señal analógica

Resolución.
Cantidad de “bits” que
se utilizar para
representar la amplitud.



Frecuencia de muestreo
La cantidad de mediciones
que se toman por segundo
(medida en Hz)



Packet rate.
Cantidad de paquetes
que se envían con
“chunks” de datos

¿Cual es la frecuencia de muestreo?

¿Cuál es la resolución?

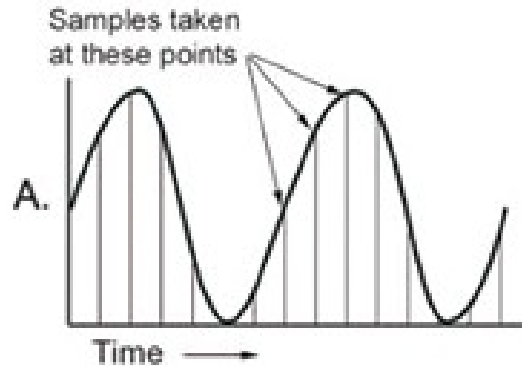
Muestreo

Frecuencia de muestreo

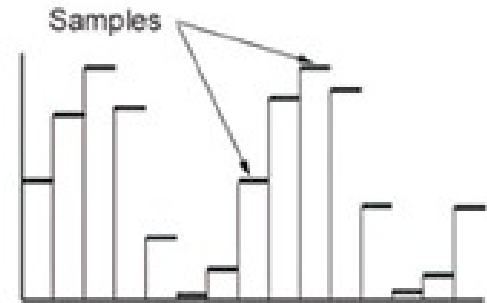
La cantidad de mediciones que se toman por segundo (medida en Hz)

Cuanto mayor sea el número de muestras, mayor es la fidelidad de la representación de la señal original.

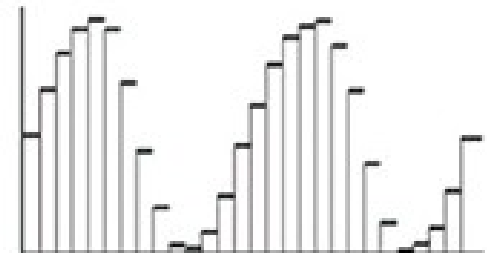
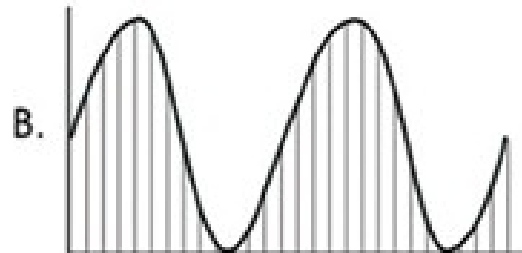
Analog Wave



Digital Result



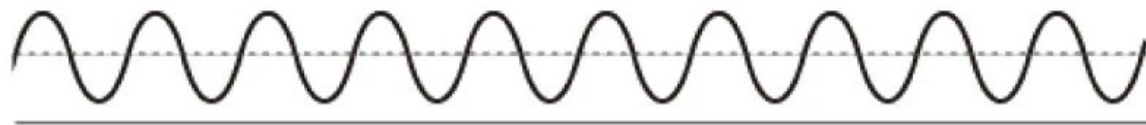
=



=

Cuantificación

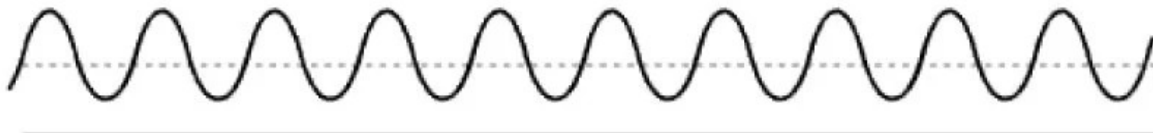
Señal no
cuantizada



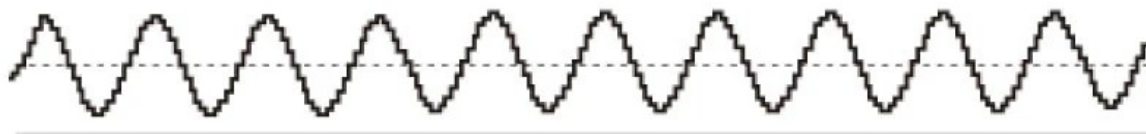
Resolución.

Cantidad de “bits” que se
utilizar para representar la
amplitud de una señal.

32

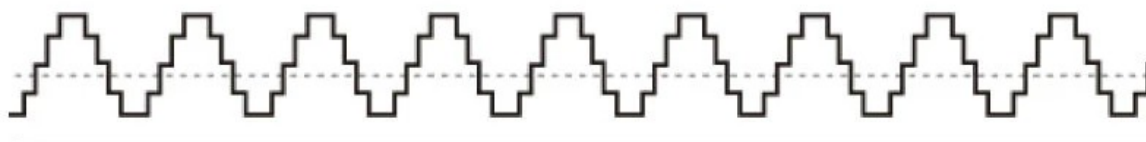


16

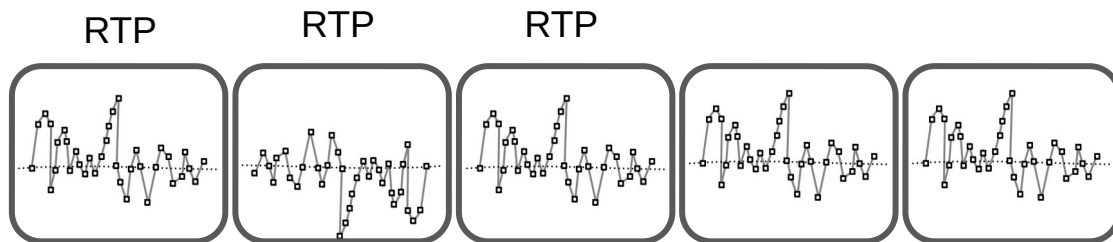


Más bits, mejor resolución.

8



División en paquetes



Alguna bibliografía lo denomina “framing”, otras “packetization”.

Lo importante es que la voz codificada se divide en “bloques” de N bits o de N milisegundos.

Packet rate.

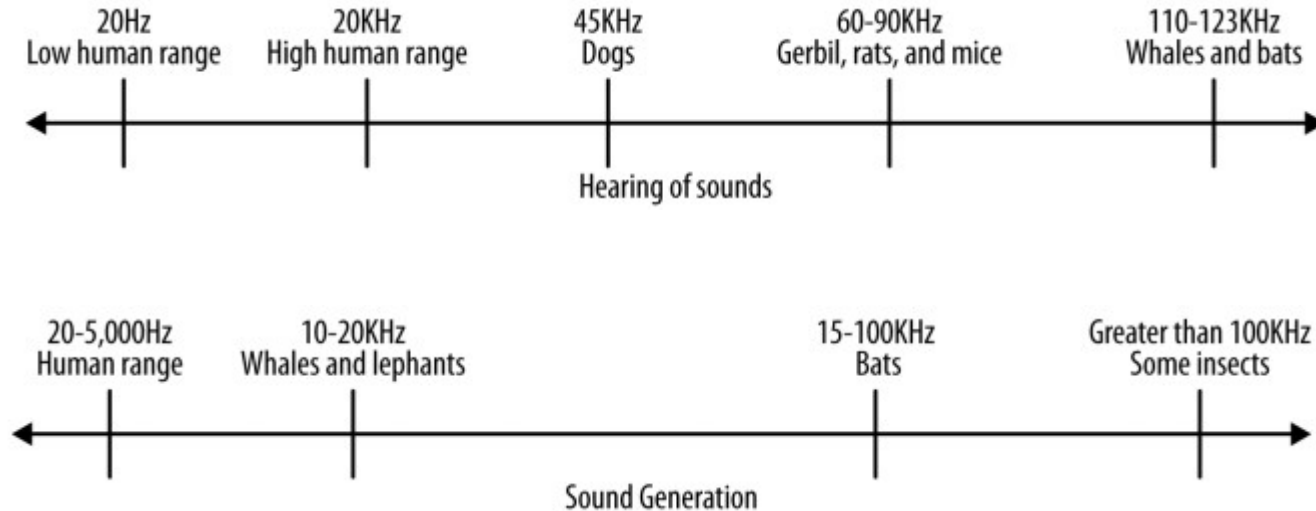
Cantidad de paquetes que se envían con “chunks” de datos.

¿Pocos paquetes de **muchos** bits?

¿**Muchos** paquetes de pocos bits?

¿Qué es mejor? ¿En qué impacta?

Aplicando lo aprendido en VoIP



¿Cual sería una frecuencia de muestreo apropiada?

CODECs en VoIP

G711 por ejemplo son 8000 hz de muestreo y 8 b de resolución, 50 packet rate.

$$\text{Total} = (\text{Payload} + \text{Ethernet} + \text{IP} + \text{UDP+RTP}) * \text{Packet Rate}$$

(20 ms)

Otros CODECs

- G.722 (SB-ADPCM) Subband Adaptive Differential PCM
- G.723.1 Dual-Rate Speech Coder for Multimedia Communications
 - -5.3Kbps—Algebraic Code Excited Linear Prediction (ACELP)
 - -6.3 Kbps—Multipulse Maximum Likelihood Quantization (ML-MLQ)
- G.726 - Adaptive Differential PCM encoding. (ADPCM)
- G.729 - Conjugate Structure ACELP(Algebraic code-excited linear prediction)
- ILBC – Internet Low bitratw Codec (block-independent linear predictive coding)
- GSM - Linear predictive coding (LPC)
- Opus – RFC 6716 / SILK (Skype) + CELT (Contrained Energy Lapped Transform)

¿Qué pasa si ambos user agent no soportan el mismo CODEC?

Transcodificación

Costos para un servidor Asterisk (microsegundos por un segundo de información)

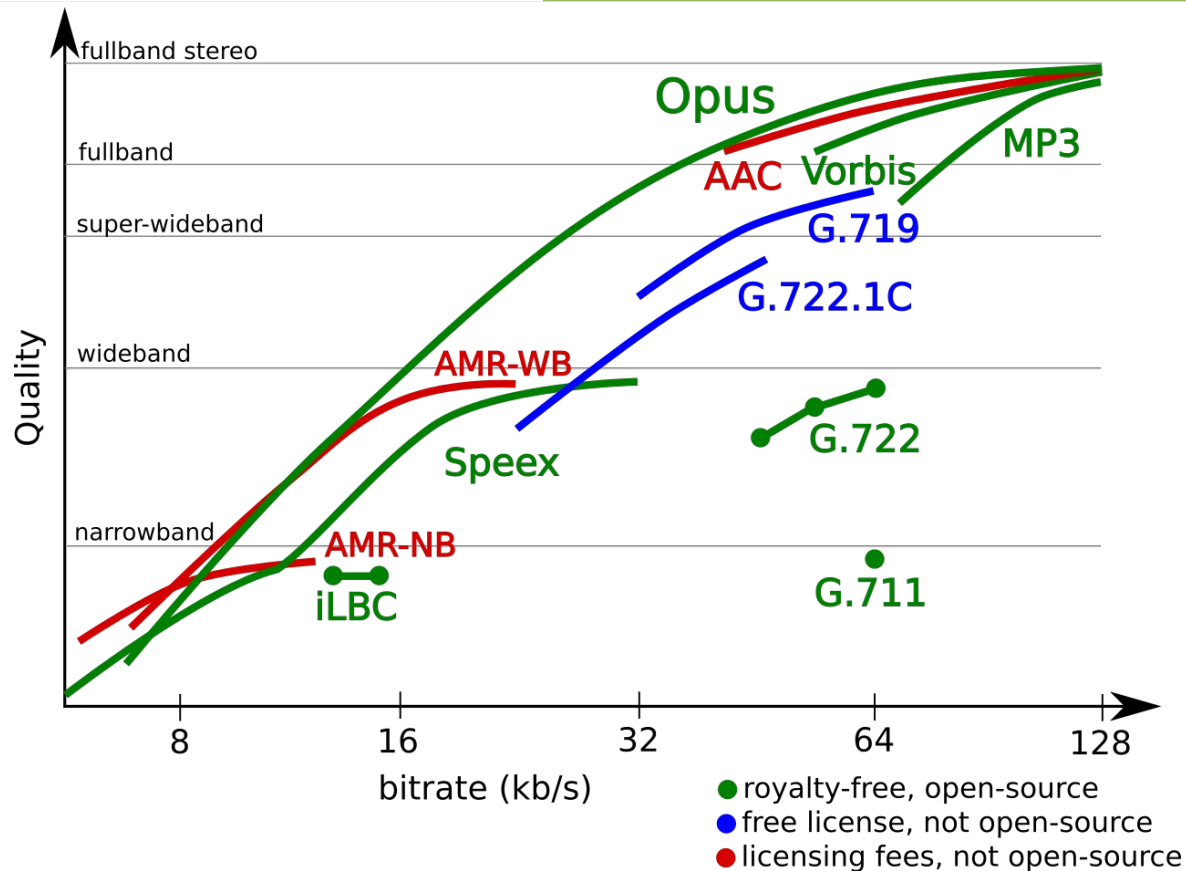
	g723	gsm	ulaw	alaw	g726	adpcm	slin	lpc10	g729	speex	speex16	ilbc	g726aal2	g722
g723		15	15	15	15	15	9	15	15	15	23	15	15	17,25
gsm	15		15	15	15	15	9	15	15	15	23	15	15	17,25
ulaw	15	15		9,15	15	15	9	15	15	15	23	15	15	17,25
alaw	15	15	9,15		15	15	9	15	15	15	23	15	15	17,25
g726	15	15	15	15		15	9	15	15	15	23	15	15	17,25
adpcm	15	15	15	15	15		9	15	15	15	23	15	15	17,25
slin	6	6	6	6	6	6		6	6	6	14	6	6	8,25
lpc10	15	15	15	15	15	15	9		15	15	23	15	15	17,25
g729	15	15	15	15	15	15	9	15		15	23	15	15	17,25
speex	15	15	15	15	15	15	9	15	15		23	15	15	17,25
speex16	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	17,5	23,5	23,5	23,5		23,5	23,5	15
ilbc	15	15	15	15	15	15	9	15	15	15	23		15	17,25
g726aal2	15	15	15	15	15	15	9	15	15	15	23	15		17,25
g722	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	9,6	15,6	15,6	15,6	15	15,6	15,6	

Balance entre calidad y bitrate

La siguiente figura ilustra la calidad de varios códecs en función de la tasa de bits. Intenta resumir los resultados de una colección de pruebas de audición y (cuando no existen datos) muestra evidencia anecdótica.

En general, es bastante representativa, pero no se recomienda intentar extraer ningún valor exacto a una tasa de bits particular.

<https://opus-codec.org/comparison/>



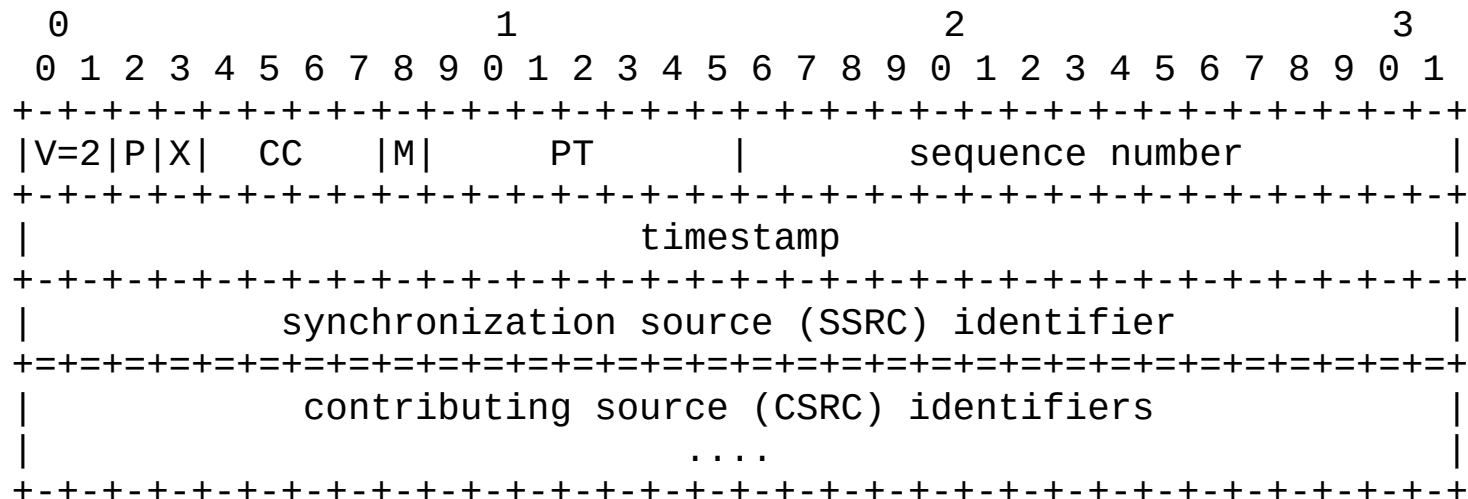
RTP

Proporciona servicio de entrega extremo-a-extremo para datos con características de tiempo real, como audio y video interactivo.

- Real-time transport protocol (RTP) para transportar datos multimedia.
 - Utiliza UDP como protocolo de transporte (puerto efímeros)
 - Identificación de tipo de carga
 - Numeración de secuencia
 - Marcas de tiempo
 - Monitoreo de entrega
- RTP control protocol (RTCP), para monitorear la calidad del servicio.
 - Permite controlar codificaciones adaptables.

RTP

Encabezado RTP



V=Versión P=Padding X=Extensión CC=Cantidad de CSCR M=Marker
PT=Payload Type (profiles definidos en RFC 3551 o dinámicos)

RTP en un captura

▼ Real-Time Transport Protocol

▶ [Stream setup by SDP (frame 6)]

10.. = Version: RFC 1889 Version (2)

..0. = Padding: False

...0 = Extension: False

.... 0000 = Contributing source identifiers count: 0

0... = Marker: False

Payload type: ITU-T G.711 PCMU (0)

Sequence number: 24525

[Extended sequence number: 90061]

Timestamp: 11360

Synchronization Source identifier: 0x53116479 (1393648761)

Payload: 4e4e5455595f6b7cefe3dddad8d8d9dadbdadbdddfef5e9eb...



RTCP

RTCP intercambia información de control de manera periódica entre los participantes de una sesión:

- Provee feedback sobre la calidad de la distribución de datos. Permite controlar codificaciones adaptables.
- Provee nombres canónicos para las fuentes.
- Todos los participantes envían paquetes RTCP. La tasa a la que se envían es calculada acorde a la cantidad de participantes.
- Opcionalmente conducir información mínima de control de sesión.

RTCP

Tipos de paquetes

- **SR**, Sender Report: estadísticas de transmisión y recepción de los participantes que son emisores activos. (id de fuente, timestamps, paquetes enviados, datos enviados)
- **RR**, Receiver Report: estadísticas de recepción de los participantes que no son emisores activos. (id de fuente, paquetes perdidos -porcentaje desde último reporte y acumulado-, max nro de secuencia recibido, jitter, último SR recibido, delay desde último SR)
- **SDES**, Source Description: descripción de emisores, incluyendo CNAME
- **BYE**: Indica el final de la participación
- **APP**: Funciones específicas de aplicación

Calidad de servicio y métricas.

Codec Information				Bandwidth Calculations					
Codec & Bit Rate (Kbps)	Codec Sample Size (Bytes)	Codec Sample Interval (ms)	Mean Opinion Score (MOS)	Voice Payload Size (Bytes)	Voice Payload Size (ms)	Packets Per Second (PPS)	Bandwidth MP or FRF.12 (Kbps)	Bandwidth w/cRTP MP or FRF.12 (Kbps)	Bandwidth Ethernet (Kbps)
G.711 (64 Kbps)	80 Bytes	10 ms	4.1	160 Bytes	20 ms	50	82.8 Kbps	67.6 Kbps	87.2 Kbps
G.729 (8 Kbps)	10 Bytes	10 ms	3.92	20 Bytes	20 ms	50	26.8 Kbps	11.6 Kbps	31.2 Kbps
G.723.1 (6.3 Kbps)	24 Bytes	30 ms	3.9	24 Bytes	30 ms	33.3	18.9 Kbps	8.8 Kbps	21.9 Kbps

Mean Opinion Score: promedio de calificaciones del 1 (mala) al 5 (muy buena) hechas por personas sobre la calidad de la llamada.

$$MOS = \frac{\sum_{n=1}^N R_n}{N}$$

Software

Servidores: PBX (centrales telefónicas)



Issabel



Elastix.

Clientes: Ekiga, Linphone, Zoiper.



Hardware



Teléfonos IP con o sin cámara.



Placas con interfaz para telefonía tradicional.



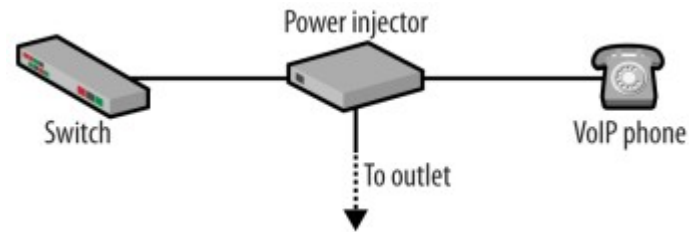
Equipos de VC



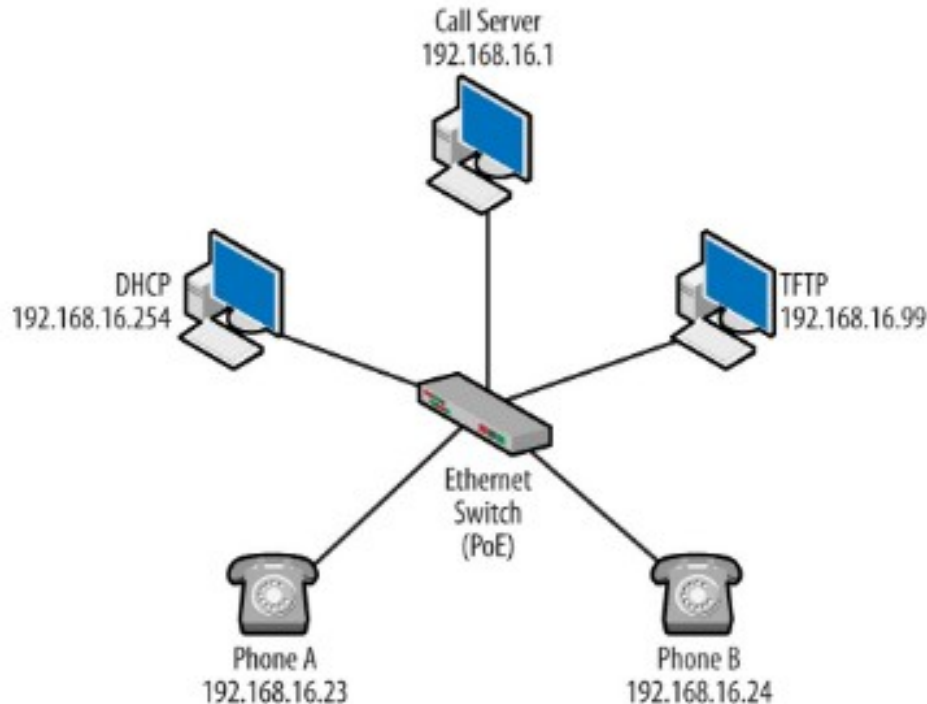
Central Telefónica IP

Power over Ethernet (PoE)

La posibilidad de aprovechar el cable de datos para alimentar dispositivos como Access Points y Teléfonos IP



Protocolos auxiliares



DHCP

Asignación dinámica
de direcciones

TFTP

Provisión de configuración y
de agenda telefónica global

NTP

Hora unificada en dispositivos

DNS

Uso de mnemónicos
para apuntar servidores

Bibliografía

- HARTPENCE, B. 2013. Packet Guide to Voice over IP: A system administrator's guide to VoIP technologies. O'Reilly Media
 - Capítulo 1. "Introduction to Voice over the Internet Protocol"
 - Capítulo 3. "Session Initiation Protocol"
 - Capítulo 4. "The Real-Time Transport Protocol and the Real-Time Control Protocol"
 - Capítulo 5. "Codecs" (págs. 121 a 135) sin incluir la sección Video Signals ni siguientes
 - Capítulo 6. "H.323 ITU-T Recommendation for Packet-Based..." (págs. 151 a 156)
- WALLINGFORD, T. 2005. Switching to VoIP. Ted Wallingford. O'Reilly
- LANDIVAR, E. 2008. Capítulo 14: "Protocolos SIP y RTP al descubierto" en Comunicaciones Unificadas con Elastix.
https://sourceforge.net/projects/elastix/files/Tutorials_Docs_Manuals/Comunicaciones%20Unificadas%20con%20Elastix