



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](mailto:florge@unlu.edu.ar))

Santiago Ricci ([sricci@unlu.edu.ar](mailto:sricci@unlu.edu.ar))

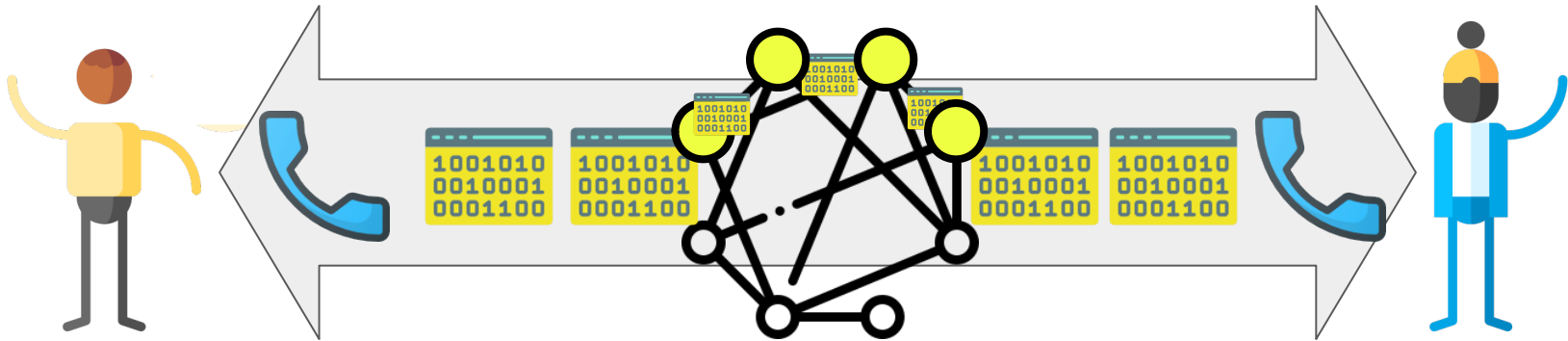
Alejandro Iglesias ([aaiglesias@unlu.edu.ar](mailto:aaiglesias@unlu.edu.ar))

Mauro Meloni ([maurom@unlu.edu.ar](mailto:maurom@unlu.edu.ar))

Patricio Torres ([ptorres@unlu.edu.ar](mailto:ptorres@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

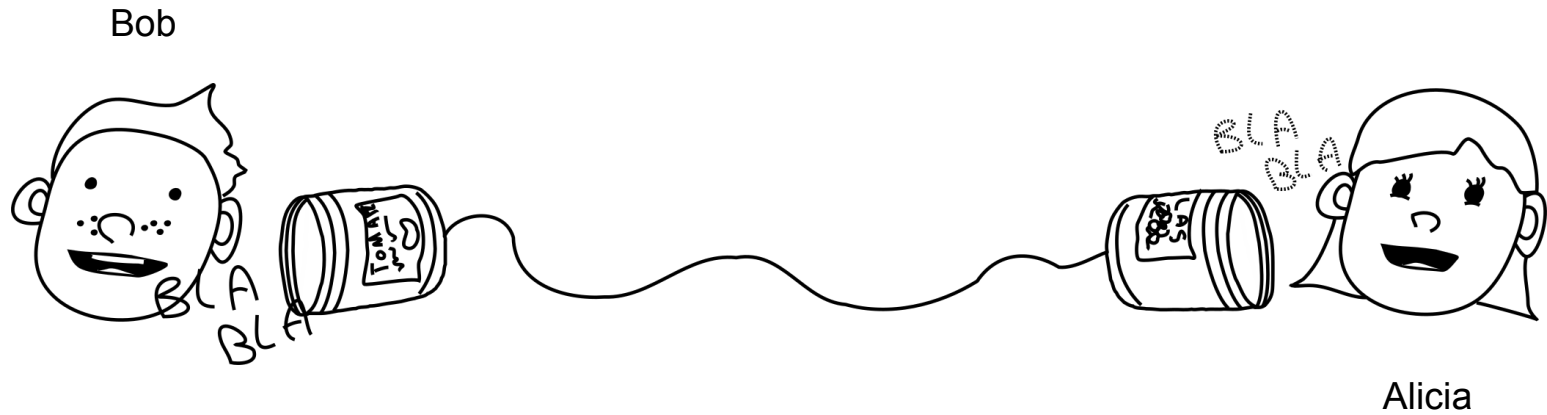


Administración



Adaptabilidad

# ¿Cómo funciona VOIP?



# ¿Cómo funciona VoIP?

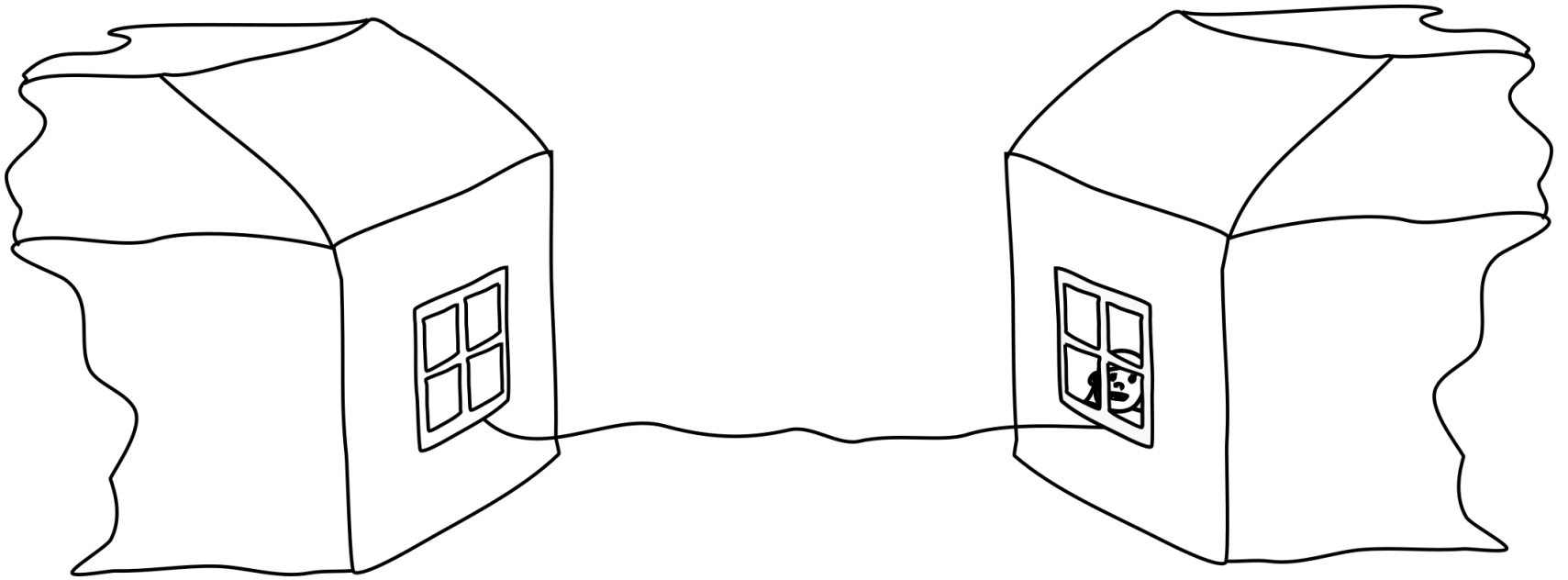
Casa de Bob



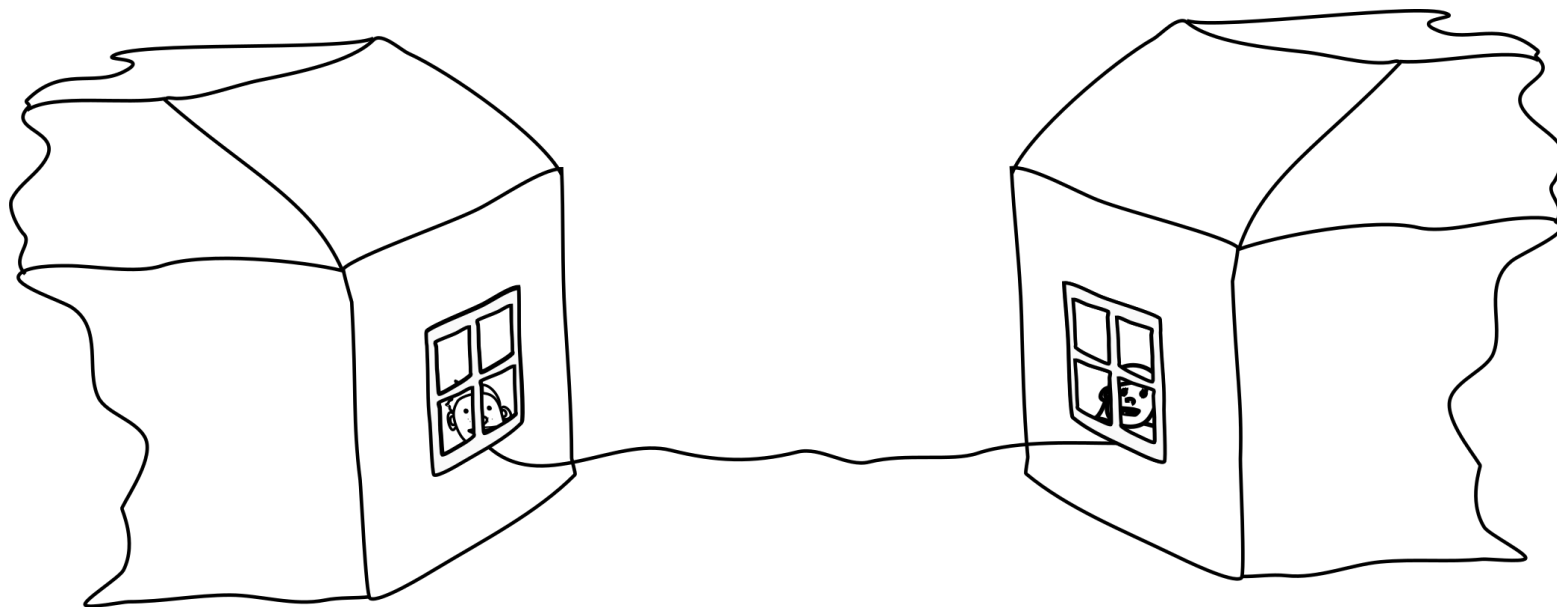
Casa de Alicia



# ¿Cómo funciona VoIP?

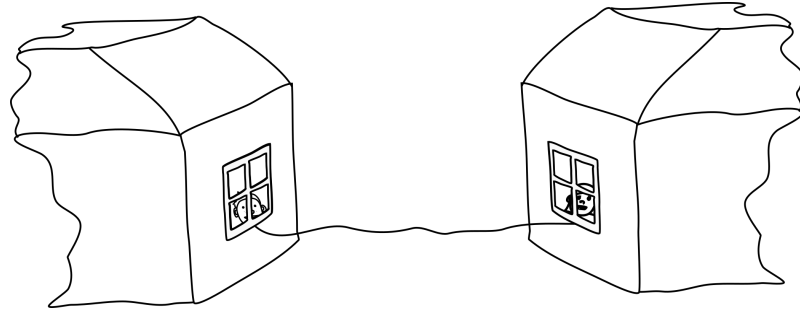


# ¿Cómo funciona VoIP?

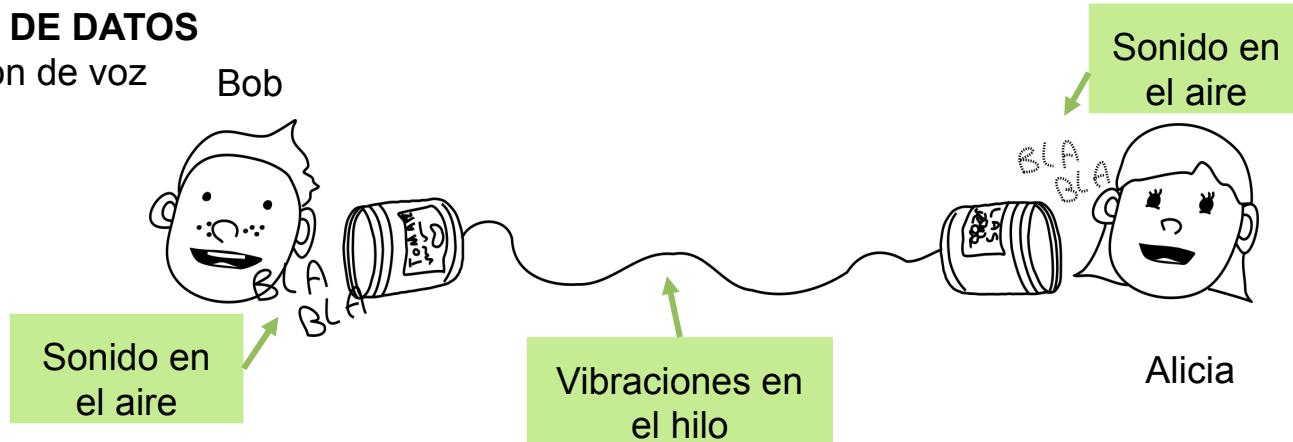


# ¿Cómo funciona VOIP?

**SEÑALIZACIÓN**  
Establecimiento  
de la comunicación



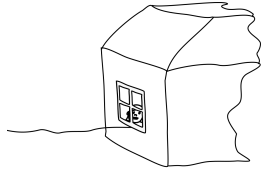
**TRANSMISIÓN DE DATOS**  
Comunicación de voz





# Arquitectura de un sistema VoIP

## Señalización - SIP, H323, etc.



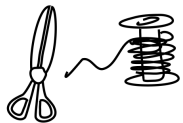
- Localización
- Establecimiento de llamadas (call setup)
- Características de la sesión
- Terminación de llamada

## Transmisión de datos - RTP y RCTP.



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

## Soporte - DHCP, NTP, FTP, etc.



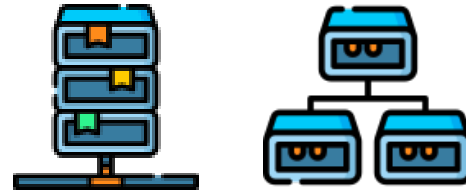
- Autoconfiguración, calidad de servicio
- Autenticación, autorización y contabilidad entre dominios

# 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



## 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
```

# 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

# 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@172.30.1.1

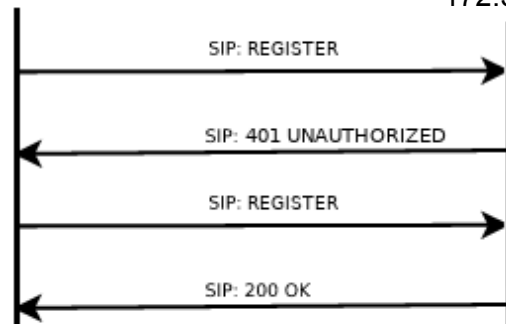


172.30.1.11

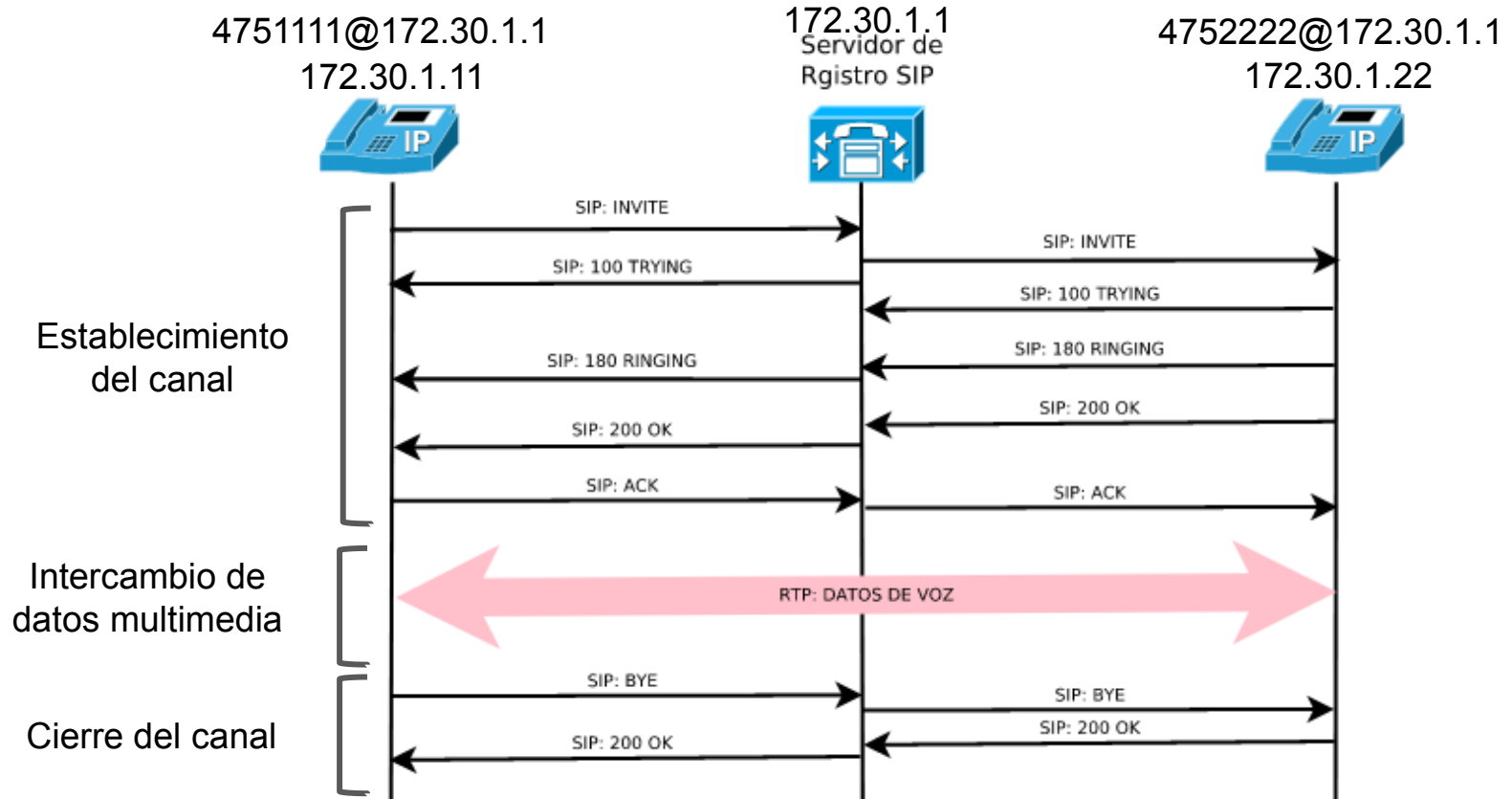
Servidor de  
Registro SIP



172.30.1.1



# Una llamada completa



# Invite

```
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
```

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



# 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: 47511111 <sip:47511111@172.30.1.1>;tag=980906697d6b2c9
    To: 47522222 <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: 47511111 <sip:47511111@172.30.1.1>;tag=980906697d6b2c9
    To: 47522222 <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

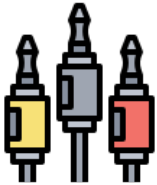
```
Internet Protocol Version 4, Src: 172.30.1.22 (172.30.1.22), Dst: 172.30.1.1
User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: sip (5060)
Session Initiation Protocol
  Status-Line: SIP/2.0 200 OK
  Message Header
  Message Body
    Session Description Protocol
      Session Description Protocol 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” (RFC 8866) es un protocolo 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:

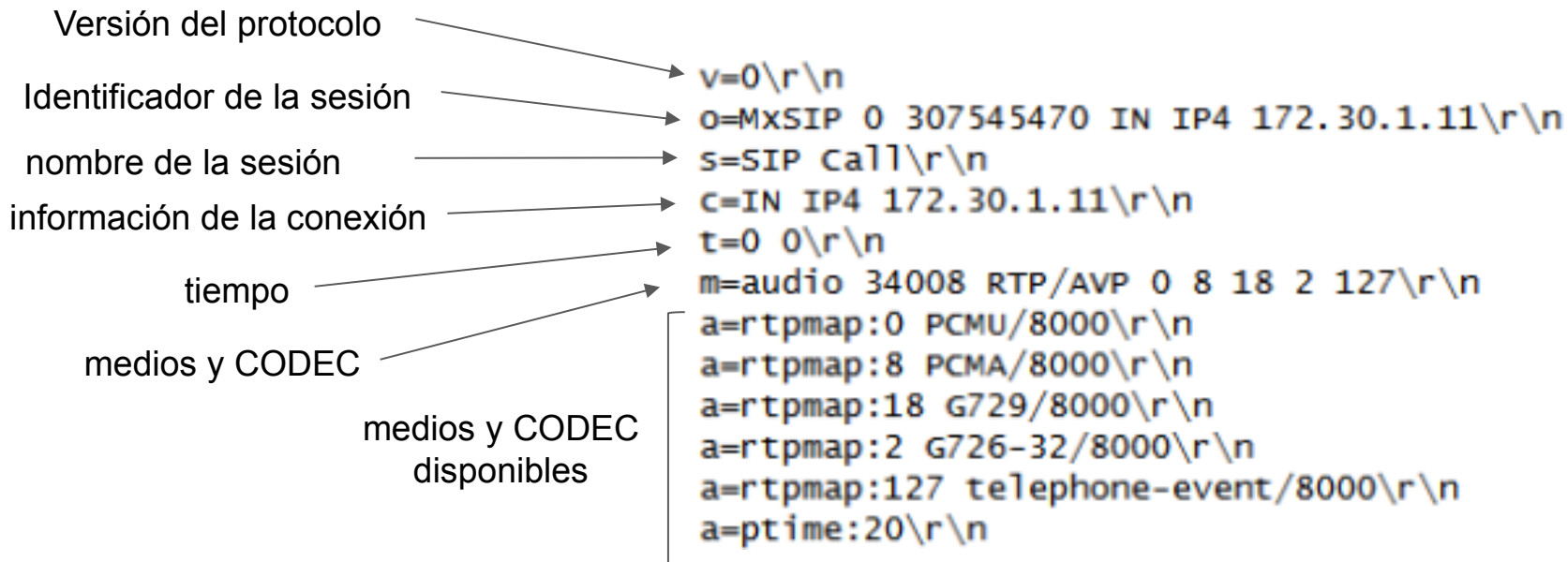
- El tipo de contenido (video, audio, etc.)
- El protocolo de transporte (RTP/UDP/IP, H.320, etc.)
- El formato del contenido (H.261 video, MPEG video, etc.)



## Direcciones y puertos:

- Direcciones unicast o multicast, y números de puertos.

# SDP en una captura

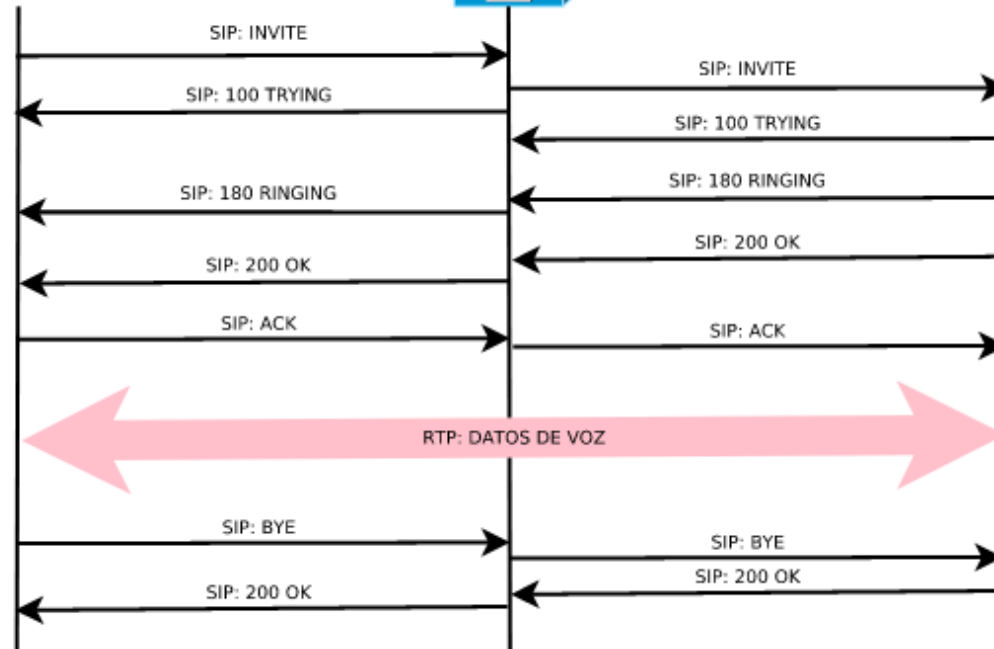


# Una llamada completa

4751111@172.30.1.1  
172.30.1.11

172.30.1.1  
Servidor de  
Registro SIP

4752222@172.30.1.1  
172.30.1.22



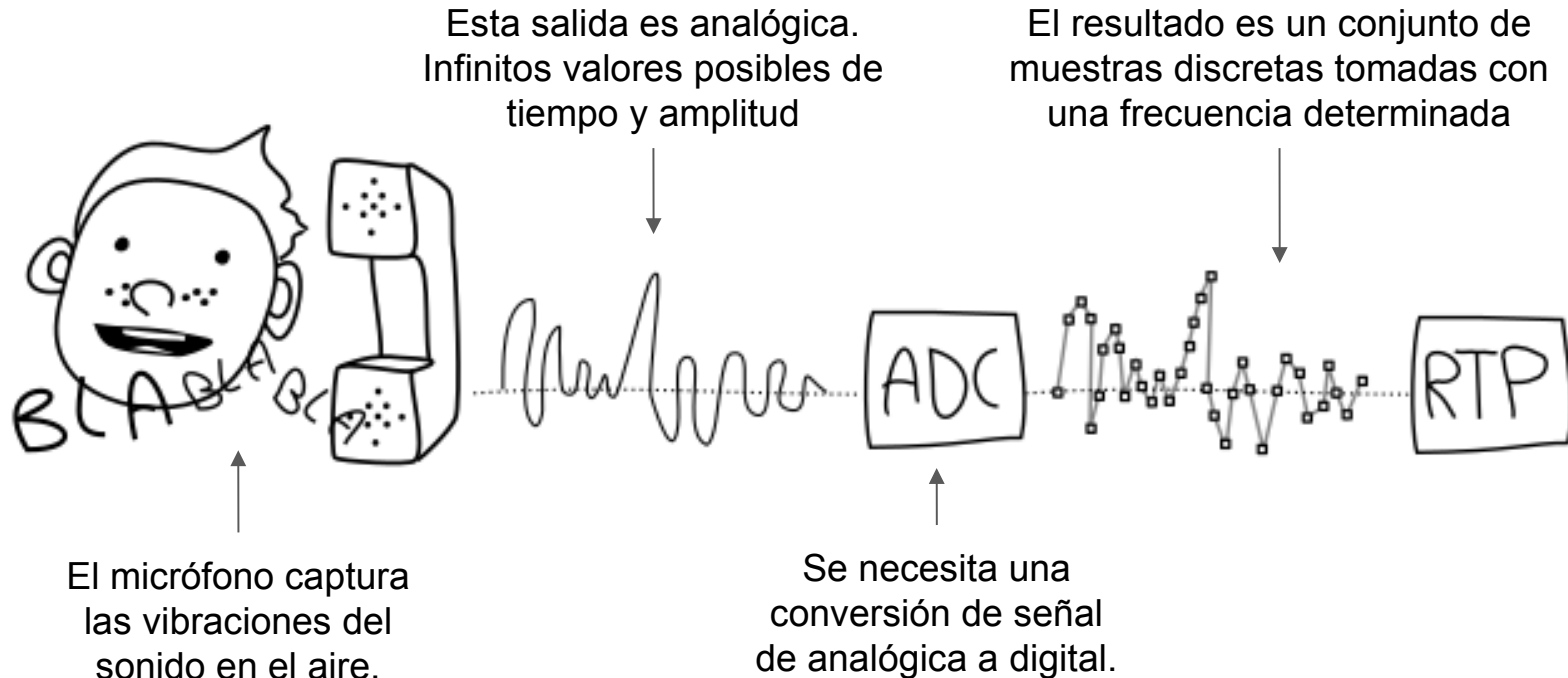
¿Cuántos flujos de datos existen?

¿Cuáles mensajes tienen SDP?

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

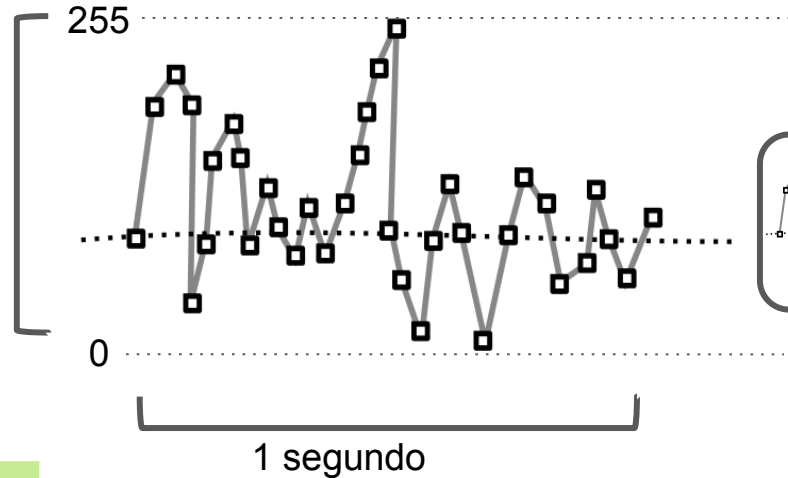
# Un momento... ¿Qué es un CODEC?

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 por unidad de tiempo con “chunks” de datos

¿Cual es la frecuencia de muestreo?

¿Cuál es la resolución?

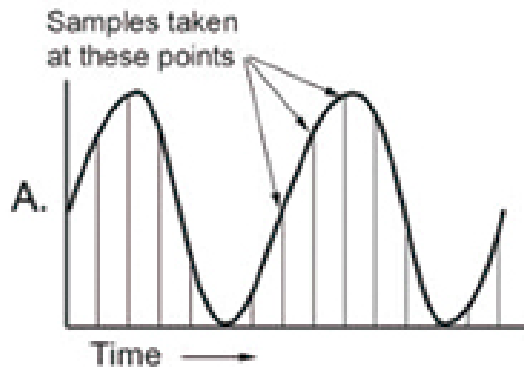
# Muestreo

## Frecuencia de muestreo

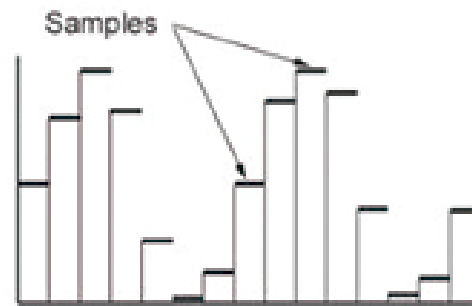
La cantidad de mediciones que se toman por segundo (medida en Hz)

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

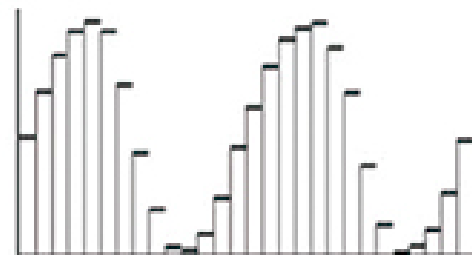
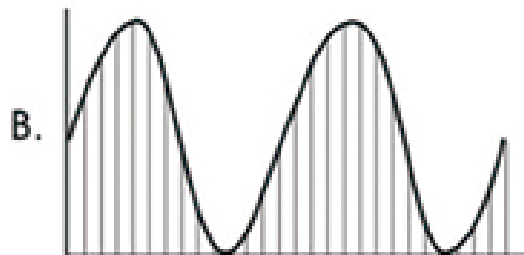
## Analog Wave



## Digital Result



=

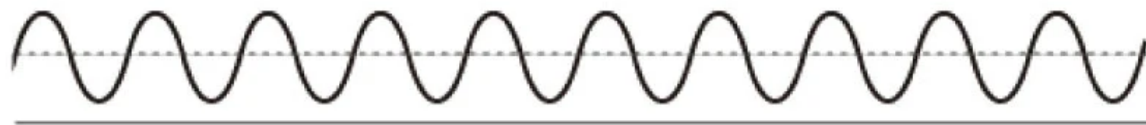


=



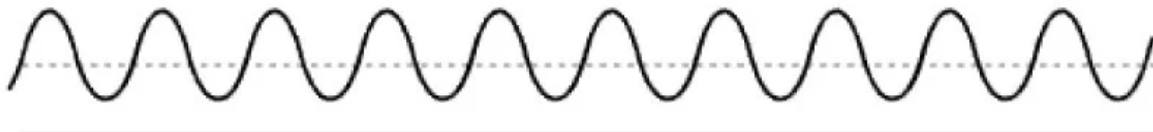
# Cuantificación

Señal no  
cuantizada

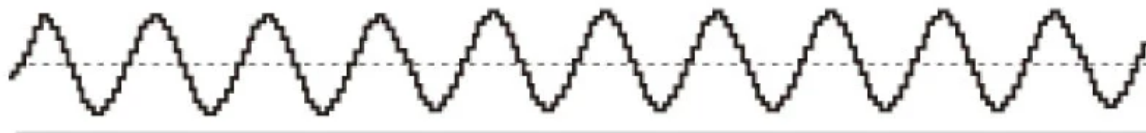


**Resolución.**  
Cantidad de "bits" que se  
utilizar para representar la  
amplitud de una señal.

32

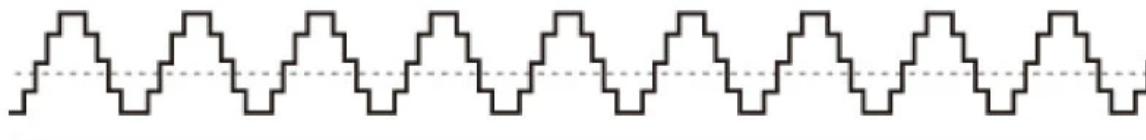


16

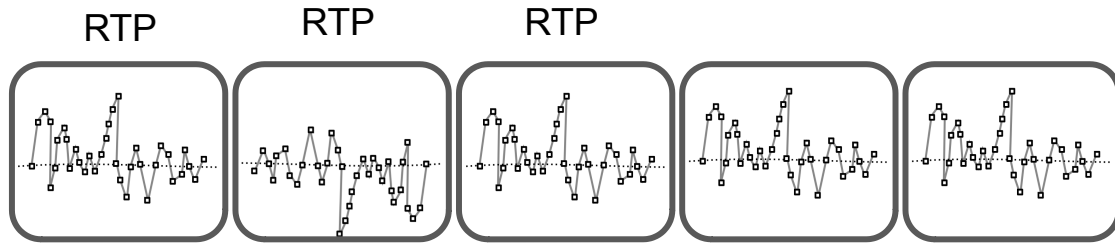


Más bits, mejor resolución.

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.**

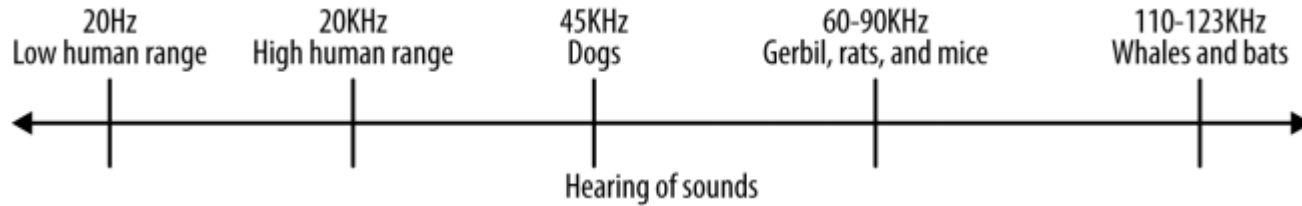
Cantidad de paquetes que se envían con “chunks” de datos.

¿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.

$$\text{Total} = (\underbrace{160}_{\substack{\text{Payload} \\ (20 \text{ ms})}} + \underbrace{22}_{\text{Ethernet}} + \underbrace{20}_{\text{IP}} + \underbrace{20}_{\text{UDP+RTP}}) * \underbrace{50}_{\text{Packet Rate}} = 88.800 \text{ bps}$$

## 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 (Constrained 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)

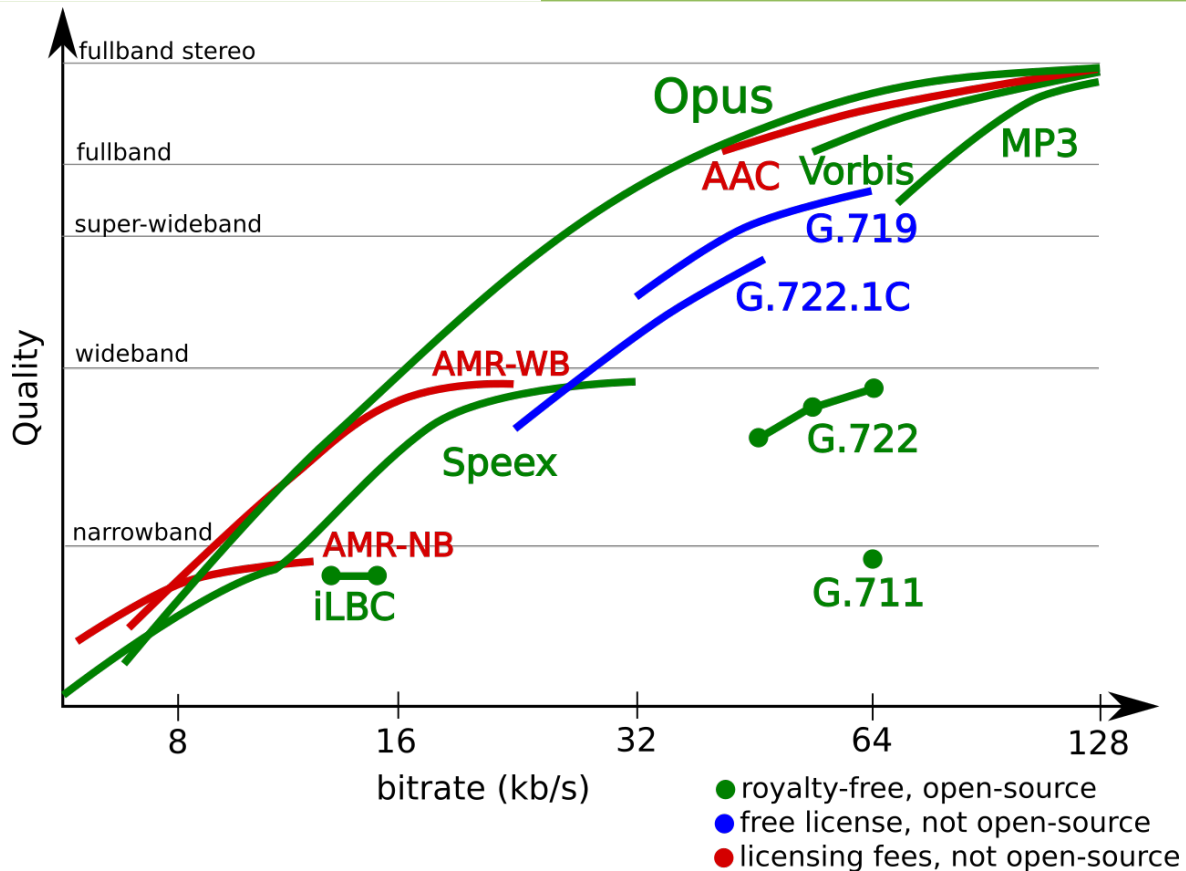
	g723	gsm	ulaw	alaw	g726	adpcm	slin	lpc10	g729	speex	speex16	ilbc	g726aal2	g722
g723		15	15	15	15	15	9	15	15	15	23	15	15	17,25
gsm	15		15	15	15	15	9	15	15	15	23	15	15	17,25
ulaw	15	15		9,15	15	15	9	15	15	15	23	15	15	17,25
alaw	15	15	9,15		15	15	9	15	15	15	23	15	15	17,25
g726	15	15	15	15		15	9	15	15	15	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.
  - 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.

# 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...





# 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.



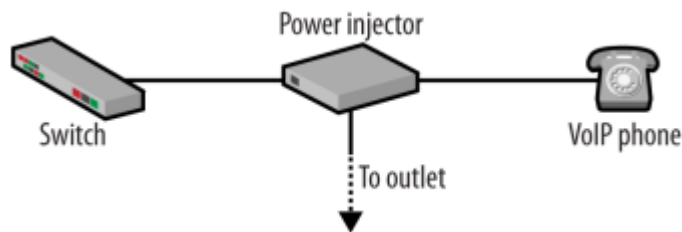
Equipos de VC



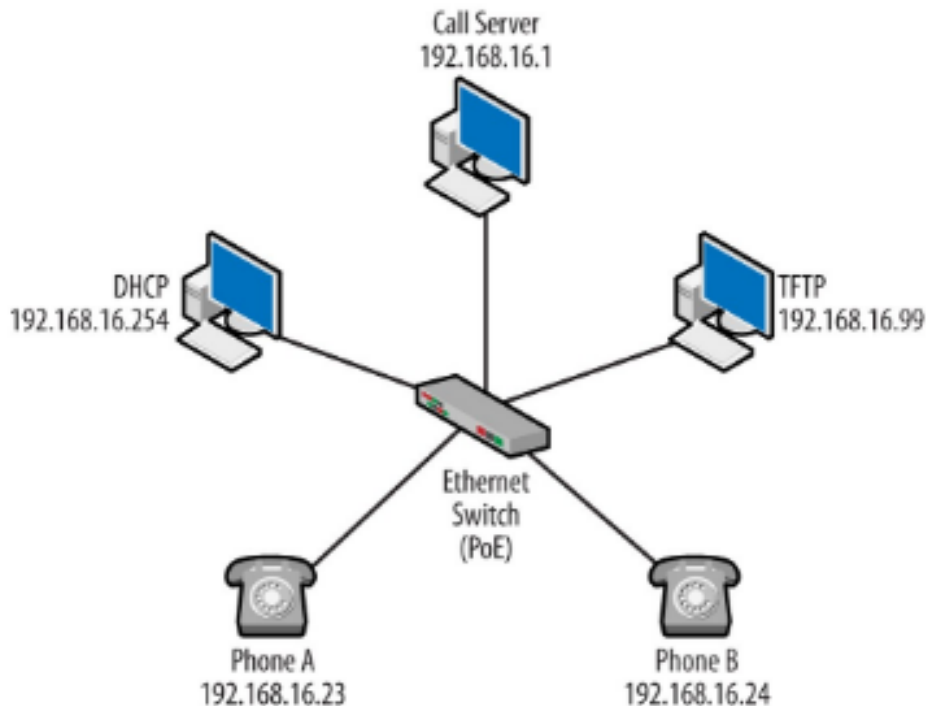
Central Telefónica IP

## 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

- HARTPENGE, 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](https://sourceforge.net/projects/elastix/files/Tutorials_Docs_Manuals/Comunicaciones%20Unificadas%20con%20Elastix)