

Trabajo Final de Carrera

Ingeniería Electrónica con Orientación en Sistemas Digitales

Alumno: Facundo Martín Kolos Suarez

Facultad de Ciencias Físico Químico Matemáticas y Naturales
Departamento de Electrónica

Director de Trabajo Final: Ing. Alejandro Silnik



Universidad
Nacional de San Luis



Facultad de Ciencias Físico
Matemáticas y Naturales



Agenda

- 1 Introducción
- 2 Necesidad
- 3 Marco Teórico
- 4 Diseño
- 5 Desarrollo de Software
- 6 Desafíos Abordados
- 7 Conclusiones

Introducción

Canal Web UNSL-TV

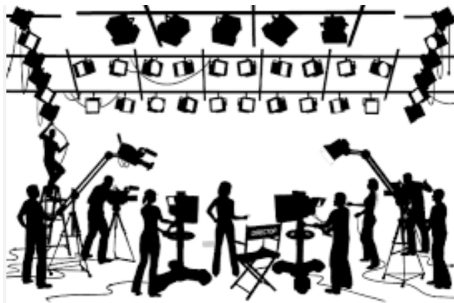
UNSL-TV es la plataforma de contenidos audiovisuales de la Universidad Nacional de San Luis. Se producen series y ciclos de calidad narrativa y estética.

- Ubicación: Chacabuco y Pederñera, 1er Piso Ala Sur, San Luis, Argentina



Problemática

- La implementación de un Sistema de Intercom en estas instalaciones resulta una necesidad imperante para mejorar el desarrollo de la producción audiovisual.
- Permite una mejora significativa en la comunicación e interacción entre los camarógrafos y el Director de Cámara.
- Gracias a dicho equipo puede ser posible cubrir una variedad de eventos, desde programas con niveles de sonido bajos, hasta espectáculos con altos niveles de ruido.



Objetivos

- Diseñar y construir un sistema de intercomunicación VoIP inalámbrico eficaz para un estudio de TV.



- Configurar una Estación Central fija para el control de comunicaciones.
- Implementar cuatro Estaciones Móviles que puedan utilizar los operarios del sistema.
- Integrar un servidor SIP para gestionar las llamadas entre las Estaciones Móviles y la Estación Central.
- Evaluar el sistema a través de pruebas prácticas.

Sistema de Intercom

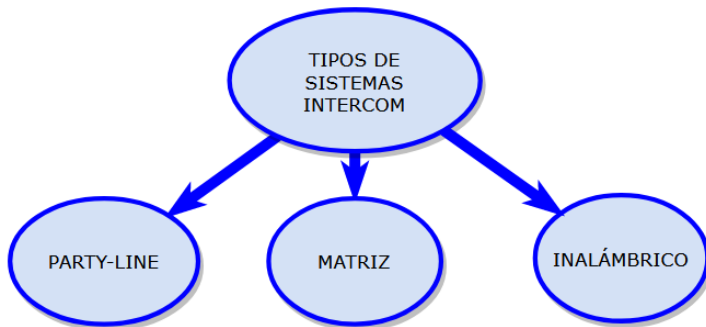
● Ingeniería Electrónica

- Diseño de componentes de audio y comunicación.
- Integración de hardware y software.
- Evaluación de calidad de voz y latencia.

● Temáticas Clave

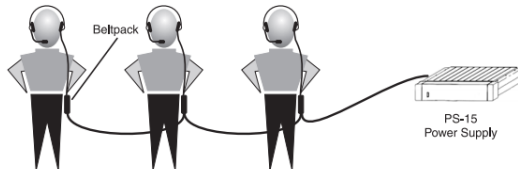
- Transmisión de señales de audio.
- Redes de comunicación y protocolos.
- Sincronización y calidad de audio.
- Flexibilidad y escalabilidad.
- Compatibilidad de equipos.
- Resiliencia y redundancia.

Sistemas de Intercom



Sistemas Party-Line

- Presencia de un medio cableado que interconecta a cada participante.
- Todos los involucrados pueden escuchar lo que todos hablan.
- También conocidos como Two-Wire.



Desventajas de los Sistemas Party-Line

- **Limitación en la Escalabilidad:** Agregar más usuarios o equipos puede ser complicado y costoso.
- **Interferencias Electromagnéticas en Entornos de Estudio:** Susceptibilidad a interferencias electromagnéticas, lo que podría resultar en ruido no deseado en las comunicaciones.
- **Confusión durante transmisiones complejas:** Si el sistema se expande, se dificulta reconocer la persona que se encuentra hablando.
- **Sistema Inflexible frente a cambios de configuración.**

Sistemas de Interconexión de Matriz

- Los sistemas Matrix permiten conexiones privadas entre usuarios.
- Forman una matriz donde las filas y columnas son usuarios.
- Conexiones individuales entre usuarios.

ADAM-301 ADAM Intercom System Matrix Frame Layout

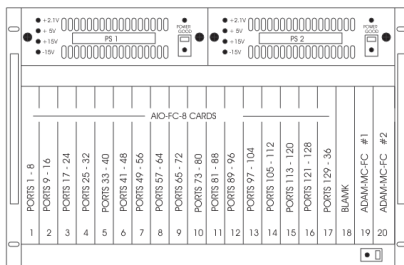


Figura: Sistema de intercom de Matriz.

Desventajas de los Sistemas de Intercom Tipo Matriz

- **Complejidad:** Los sistemas de matriz pueden ser técnicamente complicados de configurar y mantener debido a la cantidad de componentes y opciones disponibles.
- **Costos:** Estos sistemas tienden a ser más costosos tanto en comparación con los sistemas de tipo party-line.
- **Requiere personal capacitado.**
- **Infraestructura:** La implementación de un sistema de matriz puede requerir una infraestructura de cableado más compleja, lo que puede aumentar los costos y la complejidad de instalación.



Sistemas Inalámbricos

- Sistemas que pueden diseñarse para trabajar en la modalidad Party-Line o Matriz.
- Generalmente su uso se destina en aquellos escenarios donde se presta mayor importancia al hecho de no utilizar cables.

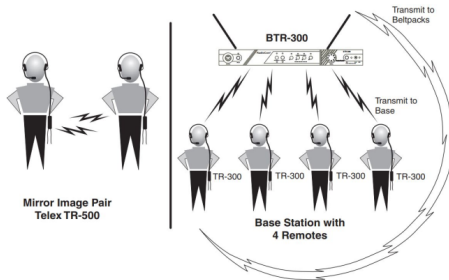
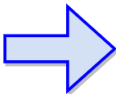


Figura: Sistema de Intercom del Tipo Inalámbrico.

Planteo de Solución

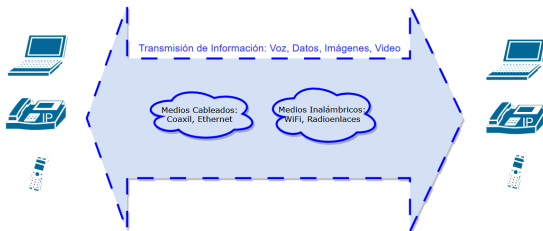
- ESPACIO LIMITADO
- NUMERO REDUCIDO DE PARTICIPANTES
- RÁPIDA IMPLEMENTACIÓN
- COMPATIBILIDAD ENTRE EQUIPOS



LA UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INTERCOM
BASADO EN LAS REDES IP

Redes IP: Principios Básicos

- Internet es una red de computadoras que interconecta cientos de millones de dispositivos informáticos
- Al principio dichos dispositivos eran computadoras personales, luego se incorporaron equipos como televisores, teléfonos móviles, cámaras web, etc.
- Se interconectan mediante una red, utilizando diversas infraestructuras y medios físicos para facilitar la transmisión de información.
- Medios Físicos: Cable coaxial, hilo de cobre, fibra óptica, WiFi, radioenlaces, etc.



Tecnología VoIP y Aplicaciones

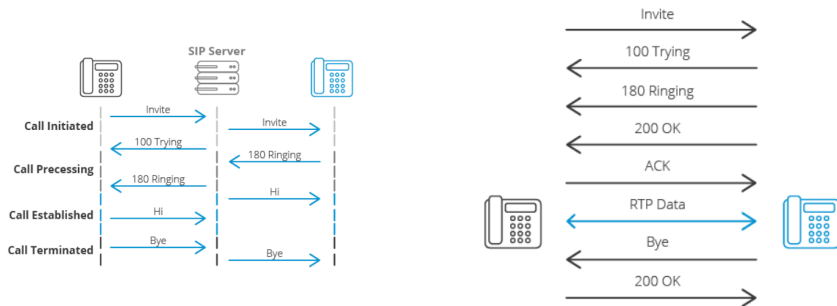
- El termino VoIP (Voice over Internet Protocol) se encuentra asociado a las tecnologías que posibilitan al usuario realizar llamadas telefonicas utilizando redes IP.

Ventajas	Desventajas
Bajo Costo	Imposibilidad de realizar llamadas en cortes de energía
Flexibilidad	Dificultad para llamadas a servicios de emergencia
Provee servicio de email y redirección de llamadas	Dependencia del servicio de internet
Posibilidad de realizar llamadas internacionales y larga distancia	IP no garantiza la calidad de servicio
Facil implementación	
Poca utilización de la red	
Posibilidad de integración con otros servicios de la red	

- Para inicializar, mantener y finalizar las llamadas se utilizan protocolos que gestionan los recursos que se utilizan y facilitan la transferencia de informacion necesaria.
- SIP es un protocolo para el inicio de sesiones multimedia que involucren video, voz, mensajes instantáneos, entre otros.

SIP(Session Initiation Protocol)

- Es un protocolo de señalización utilizado para establecer una sesión entre 2 o más participantes y eventualmente terminar dicha sesión.
- El hecho de que SIP sea un estándar abierto, ha despertado un enorme interés en el mercado de las Centralitas Telefónicas IP.



Análisis del Entorno

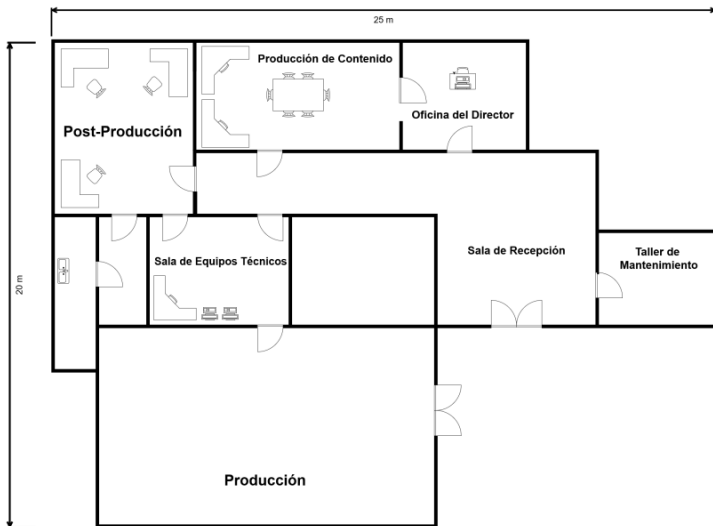
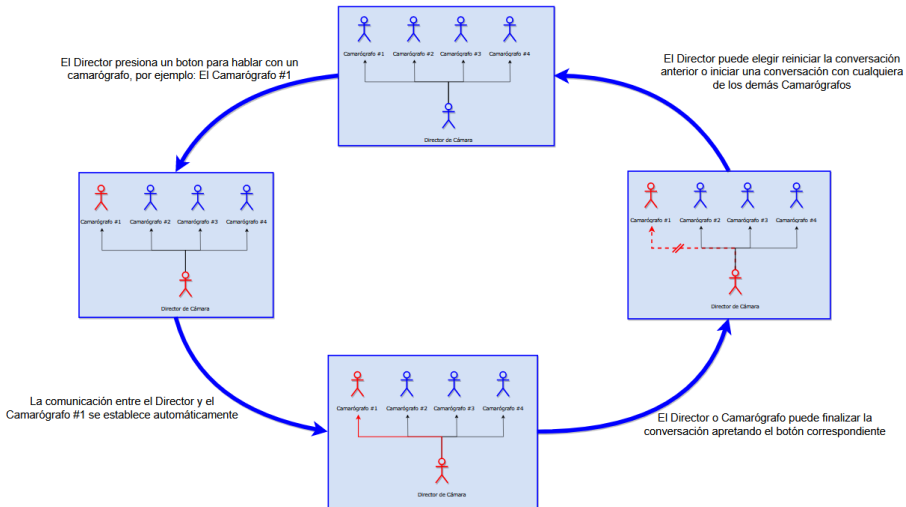
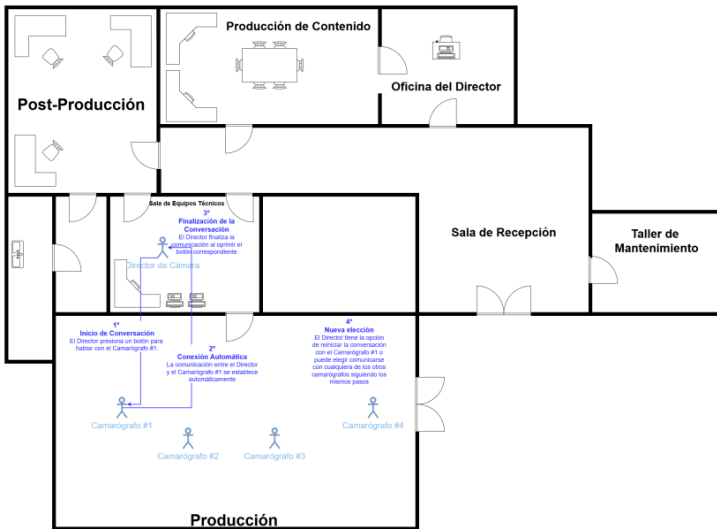


Figura: Croquis del Canal Web UNSL-TV.

Proceso de Comunicación



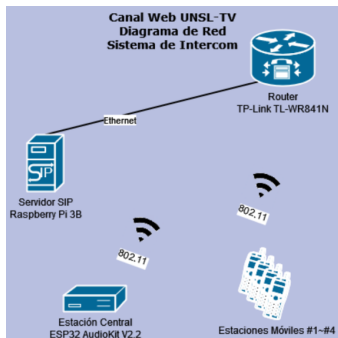
Proceso de Comunicación



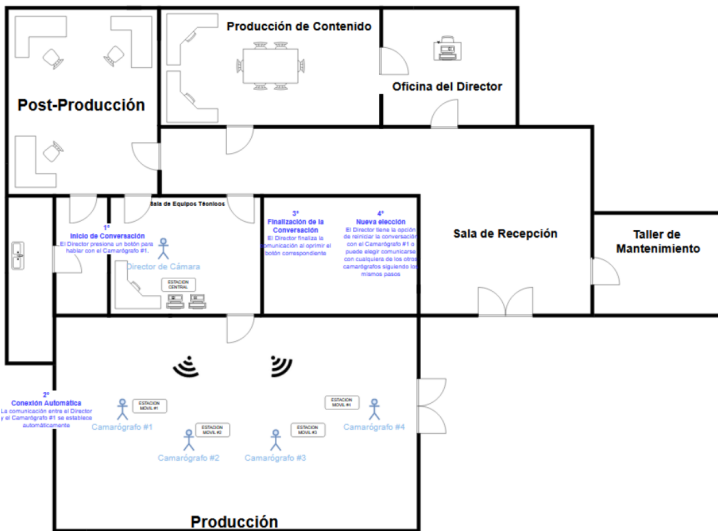
Planteamiento del Diseño

Arquitectura del Sistema

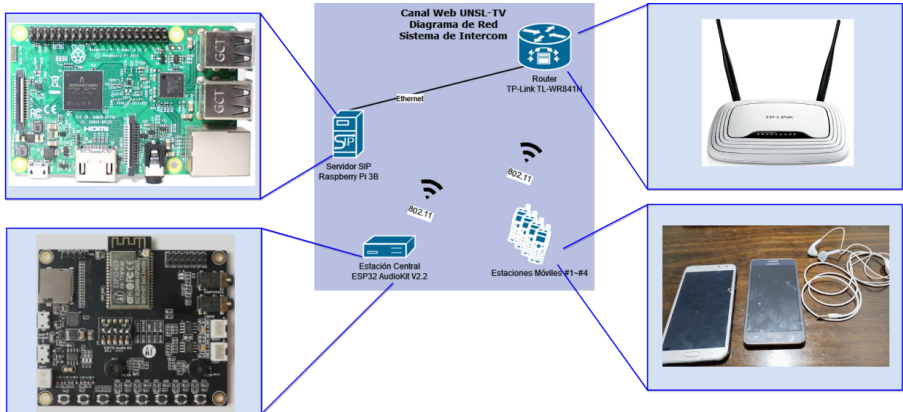
- La arquitectura consta de tres componentes clave.
- **Estación Central:** Utilizada por el operador para gestionar las comunicaciones.
- **Estaciones Móviles:** Dispositivos utilizados en las inmediaciones para comunicarse con la Estación Central.
- **Servidor SIP:** Gestiona sesiones de comunicación y enrutamiento de llamadas.



Arquitectura del Sistema



Arquitectura del Sistema



Planteamiento del Diseño

- El sistema permite la comunicación bidireccional entre la Estación Central y las Estaciones Mviles
- Cada participante del Sistema se registra al Servidor SIP y se le asigna un numero identificadorio (numero de *extensión*)

Usuario	Extensión
Estacion Central	610
Estación 1	300
Estación 2	303
Estación 3	304
Estación 4	620

Planteamiento del Diseño

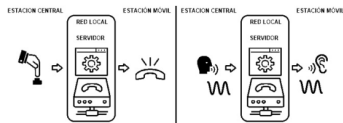
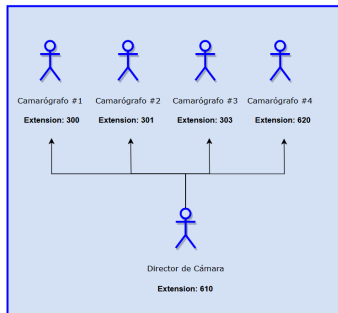
Proceso de Comunicación

Registro y Asignación de Extensiones

- La Estación Central se identifica como extensión 610, mientras que las Estaciones Móviles tienen extensiones como 300, 303, 304 y 620.

Inicio de la Comunicación

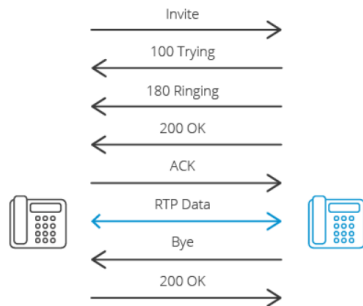
- La comunicación se inicia desde la Estación Central utilizando pulsadores dedicados.
- Los pulsadores en la Estación Central representan extensiones y facilitan la conexión con usuarios específicos.



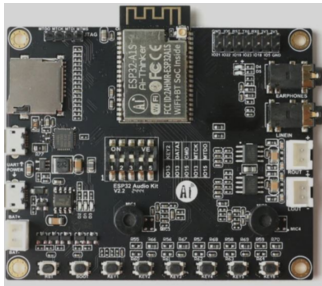
Planteamiento del Diseño

Proceso de Comunicación

- El Servidor SIP se encarga de enrutar las llamadas a las extensiones correspondientes.
- Se establecen sesiones de comunicación en tiempo real entre las Estaciones Móviles y la Estación Central.



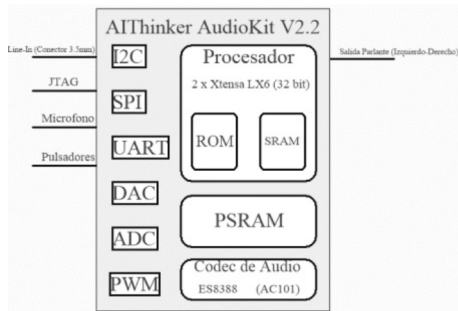
Placa de Desarrollo: AIThinker AudioKit V2.2



- CPU de 32 bits y doble núcleo.
- Frecuencia principal hasta 240MHz.
- Memoria 520 KB SRAM, 8MB PSRAM.
- Altavoces de canal izquierdo y derecho: salida de altavoz de 4Ω 3W de salida doble canal.
- Dos microfones analógicos, soporte para auriculares.

Placa de Desarrollo: AIThinker AudioKit V2.2

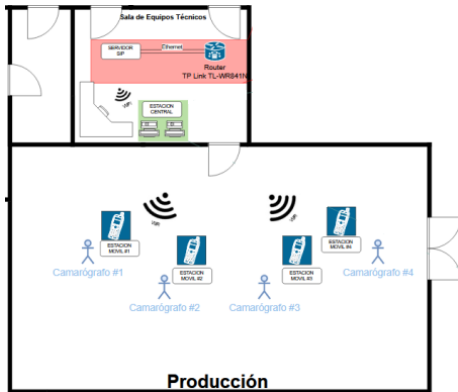
- Proporciona una plataforma integral que incorpora los componentes esenciales para el procesamiento de audio:
 - Convertidores Analógico/Digital
 - Convertidores Digital/Analógico
 - Interfaces a periféricos: Micrófonos, Parlantes
 - Etapas de amplificación y filtrado.
- Reducción de errores de implementación del sistema.



- Dichas características la convierten en la placa de desarrollo empleada para implementar la **Estación Central**.

Estaciones Móviles

- Las estaciones móviles son las unidades que se utilizan en las inmediaciones para permitir la comunicación con la Estación Central.
- Pueden ser dispositivos móviles como teléfonos celulares.
- Cada Estación Móvil se conecta al servidor SIP a través de una conexión de red.
- Solamente pueden recibir llamadas desde la Estación Central.

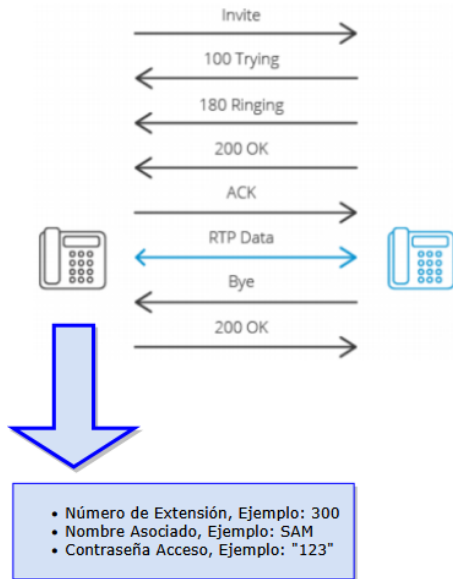


Servidor SIP

- Se implementa un servidor SIP para la integración de los dispositivos utilizados en el estudio de TV.
- Una alternativa que se ajusta a las necesidades del proyecto es la instalación del software "*Asterisk for Raspberry Pi*".
- Este es un proyecto open source para brindar servicio a pequeñas y medianas organizaciones.
- Instala las siguientes herramientas:
 - *RasPBX*: Sistema Operativo.
 - *Asterisk*: Software para implementar aplicaciones VoIP.
 - *FreePBX*: Interfaz gráfica para la gestión del servidor.

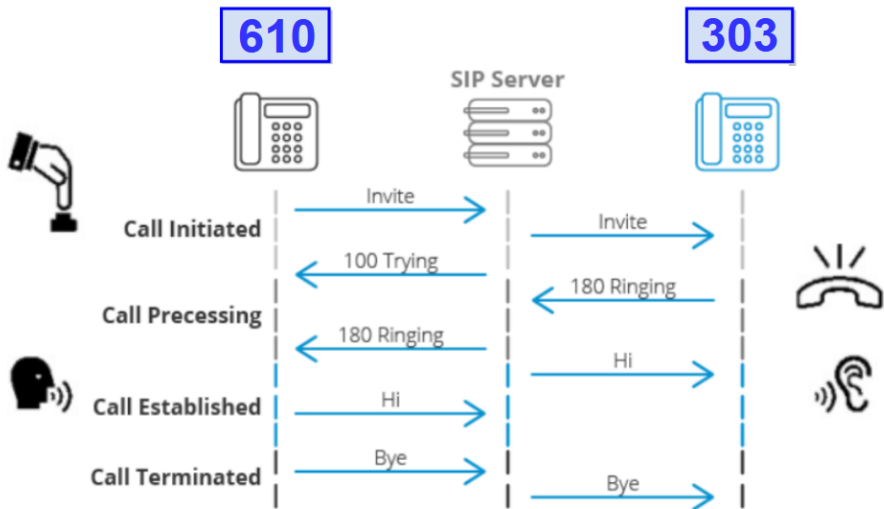
Servidor SIP

- Utilizando la interfaz grafica FreePBX es posible crear las extensiones telefónicas:
 - Número de extensión.
 - Nombre asociado.
 - Contraseña de acceso asociado.
- Brindar configuraciones básicas:
 - Garantizar que solamente los usuarios registrados participen de la conversación.
 - Especificar los códecs de audio que pueden utilizarse (Ley μ , Ley A).

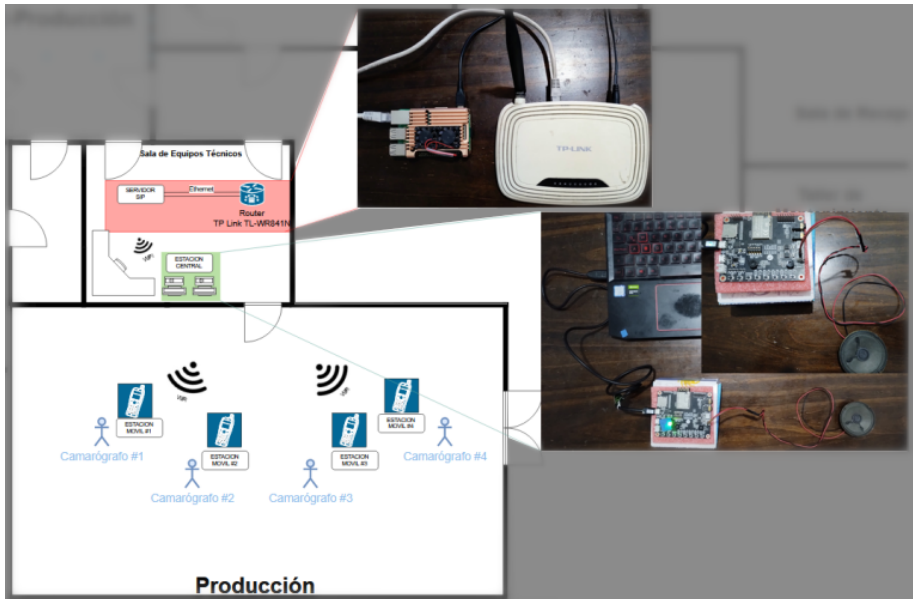


Servidor SIP

Proceso de Comunicación



Implementación Física



Implementación Física



Implementación Física

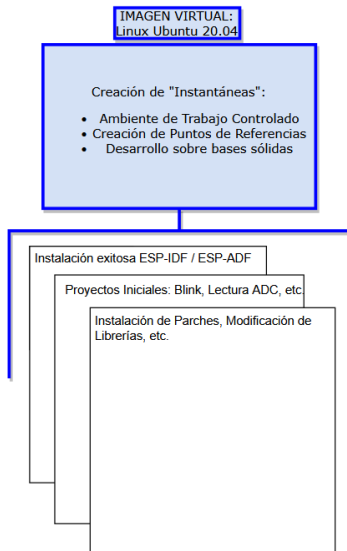


Implementación Física



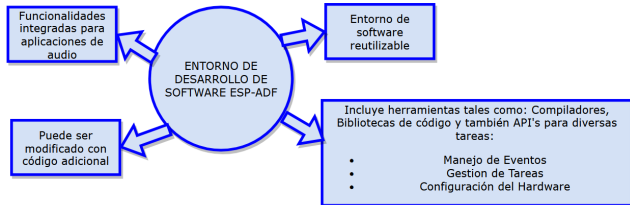
Implementación del Software

- Entorno de Desarrollo “ *ESP-IDF (IoT Development Framework)*” / Instalación complementaria “*ESP-ADF (Audio Development Framework)*”.
- Complejidades que conlleva:
 - Aprendizaje del entorno: Creación, Compilación y Ensayos del software programado.
- Implicancias:
 - Instalación de herramientas adicionales como: *Oracle VM VirtualBox*.
 - Instalación de máquina virtual *Linux Ubuntu 20.04*.



Entorno de Desarrollo ESP-ADF

- Creada bajo la plataforma de desarrollo ESP-IDF.
Para el desarrollo de aplicaciones de software de audio.
- Su propósito es proveer bloques estándar funcionales a bajo nivel.



Entorno de Desarrollo ESP-ADF

Metodología de Trabajo

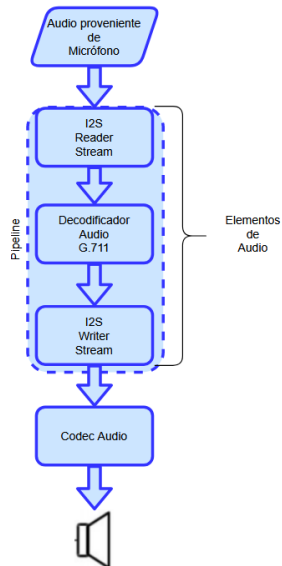


Elementos de Audio en ESP-ADF

- La unidad básica para el desarrollo de aplicaciones en ESP-ADF es el objeto **elemento de audio**.
- Funcionalidad general de un elemento: toma datos de entrada, los procesa y los envía a la siguiente etapa.
- Por ejemplo: Cada decodificador, codificador, filtro, flujo de entrada o flujo de salida es considerado un **elemento de Audio**.

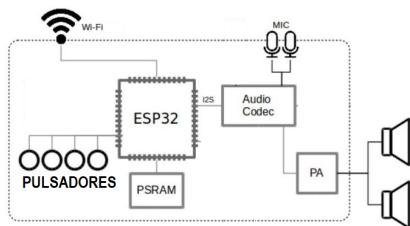
Pipeline de Audio en ESP-ADF

- Los **pipelines** son combinaciones dinámicas de elementos de audio que simplifican el desarrollo de aplicaciones.
- Facilitan una gestión eficiente de operaciones como adquisición, procesamiento y reproducción de audio.



Desarrollo de Software

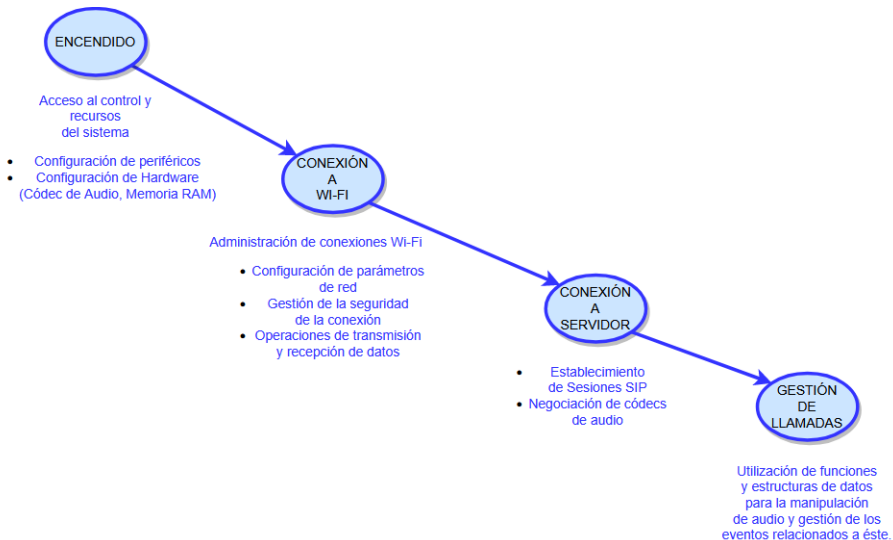
- Tras la creación del proyecto, se establecen los componentes que se emplean en esta aplicación.
- Elementos de entrada:
 - Conexión a señal analógica proveniente del micrófono.
 - Interfaz Wi-Fi.
 - Interfaz I2S.
 - Pulsadores para la interacción con el usuario.
- Elementos de salida:
 - Conexión hacia un parlante.
 - Interfaz Wi-Fi.
 - Interfaz I2S.
 - Luces indicativas de funcionamiento.



	Tecla K1	Tecla K2	Tecla K3	Tecla K4	Tecla K5	Tecla K6
Nombre Ref.ª	REC	MODE	SET	PLAY	VOL-UP	VOL-DOWN
Función	MUTE E.M	STOP CALL	CALL 300	CALL 303	CALL 304	CALL 620

Desarrollo de Software

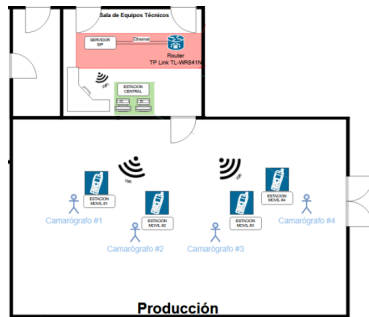
Arquitectura del Software de la Estación Central



Desarrollo de Software

Estaciones Móviles

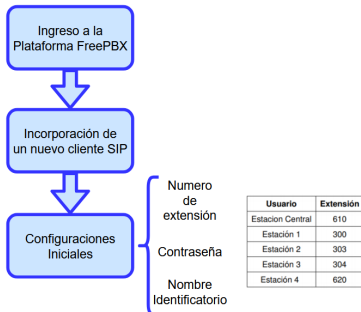
- Para la implementación de las Estaciones Móviles se pueden emplear dispositivos móviles.
- Se procede a instalar la aplicación *Mizu Droid*
 - Calidad de audio.
 - Protocolo de Transporte.
 - Códec empleado (Ley μ , Ley A).
 - Configuraciones de desvío.



Desarrollo de Software

Servidor SIP

- Instalación del Sistema Operativo “*RasPBX*” junto con sus herramientas incorporadas: “*Asterisk*”, “*FreePBX*”.
- Proceso de Gestión y Creación de Extensiones Telefónicas:



- Configuraciones particulares:
 - Establecer que la Estación Central sea el único dispositivo que realice llamadas.
- Configuraciones de conectividad IP:
 - Dirección IP Pública.
 - Dirección IP Privada. Red Local.

Desafíos Abordados

Adaptación Hardware/Software

- El entorno de Desarrollo ESP-ADF se encuentra desarrollado para trabajar con placas de Desarrollo de audio de *Espressif*.
- La placa de desarrollo *AIThinker AudioKit* **no** forma parte de la lista de placas diseñadas por la empresa.
- No existe una perfecta compatibilidad entre el Entorno de Desarrollo y la placa.
- Para su resolución se integró software adicional para incorporar al códec de audio y adaptar correctamente la configuración del circuito.

Desafíos Abordados

Optimización de Memoria

- Durante las pruebas y ensayos se experimentan inconvenientes relacionados a la calidad del sonido. También con accesos no autorizados en la memoria de la placa.
- Medidas para mitigar estos problemas:
 - Inclusión de memorias dedicadas a tareas específicas.
 - Incrementando asignación de memoria para determinadas tareas.
 - Filtro de re-muestreo.
 - Gestión de Eventos en los Periféricos.

Desafíos Abordados

Optimización de Velocidad de Procesamiento

- Muchos problemas de sonido también se asocian al desempeño que tiene el procesador para ejecutar sus tareas.
- Para la optimización de su rendimiento se aplicaron las siguientes configuraciones:
 - Incremento de la frecuencia de procesamiento a 240 Mhz.
 - Incorporación de memoria RAM externa.
 - Incrementando la frecuencia de trabajo de la memoria RAM externa.
 - Configurando la asignación de memoria empleada para la conectividad Wi-Fi.

Evaluación de Calidad de Voz

- Se llevan a cabo ensayos con el fin de evaluar la eficacia del sistema de intercomunicación en condiciones operativas.
- Dichas evaluaciones siguen la metodología del MOS
 - Nivel de claridad percibido
 - Retardo entre emision y recepción.
 - Eco experimentado.
 - Presencia de ruidos no deseados en la señal recibida.
 - Interferencias.
 - Latencia.
 - Interrupciones Significativas del sistema.
- El usuario asigna un puntaje:
 - 1: Muy Mala.
 - 2: Mala.
 - 3: Regular.
 - 4: Buena.
 - 5: Muy Buena.

Llamada	Calidad	Retardo	Eco	Ruido	Interferencias	Latencia	Interrupciones
1	5,0	5,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0
2	5,0	5,0	4,0	3,0	5,0	5,0	5,0
3	5,0	5,0	4,0	3,0	5,0	5,0	5,0
4	4,0	4,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0
5	5,0	5,0	4,0	3,0	5,0	5,0	4,0
6	5,0	5,0	4,0	3,0	5,0	5,0	4,0
7	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0
8	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0
9	5,0	5,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0
10	5,0	5,0	3,0	4,0	5,0	5,0	5,0
Promedio	4,7	4,7	3,8	3,5	5,0	5,0	4,8

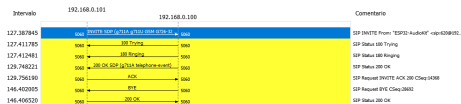
Evaluación de Latencia

- Durante la conversación se transmiten paquetes desde la Estación Central hacia la Estación Móvil y viceversa.
- Para la evaluación de la calidad del servicio ofrecida por el Sistema de Intercom diseñado, se considera:
 - Las evaluaciones MOS durante los ensayos en el Canal Web.
 - La medición de la latencia, empleando el software *Wireshark*.
- A través del software *Wireshark* se mide el tiempo de latencia de los paquetes.
- Como referencia, se puede afirmar que mientras la latencia **no** supere los 150 ms, el sistema ofrece una calidad aceptable.

Evaluación de Latencia

Análisis de Mediciones

- Cada llamada abre una sesión RTP desde la cual se efectúan las mediciones de latencia.



- Se efectúan 10 llamadas para los ensayos:

Evaluación	Latencia(ms)
Llamada 1	30.51
Llamada 2	21.2
Llamada 3	28.96
Llamada 4	70.33
Llamada 5	21.08
Llamada 6	29.88
Llamada 7	31.4
Llamada 8	20.82
Llamada 9	29.9
Llamada 10	29.41
Promedio	31.34

Análisis de Resultados Obtenidos

- A partir de las evaluaciones MOS se visibilizan aspectos a mejorar para el sistema.
- El ruido experimentado puede disminuirse seleccionando la placa de desarrollo que contenga un hardware más apropiado.
- La placa *AI Thinker AudioKit* contiene 2 versiones conocidas.
- Una versión utiliza el códec de audio *AC101*.
- La versión de la placa que utiliza el códec *ES8388* contiene mayor robustez frente al ruido.

Análisis de Resultados

- Considerando el ámbito de aplicación del dispositivo, las conversaciones se limitan a no más de 30 segundos.
- Es posible afirmar que dentro de los límites definidos, la latencia no supera los 150 ms.
- En base a los resultados presentados y las evaluaciones proporcionadas por los operadores del sistema, es posible afirmar que este diseño posibilita una comunicación **fluida** y en tiempo **real** en el entorno del Canal Web UNSL-TV.

Trabajos Futuros

- Incorporar la función de muteado individual para cada Estación Móvil.
- Incorporar la posibilidad de conexión de auriculares a la placa que corresponde a la Estación Central.
- Control dinámico de volumen en la salida de audio de la Estación Central.
- Explorar como los diferentes códecs de audio disponibles pueden influir en la latencia y la calidad del sonido.
- Control Bluetooth de un sistema de luces del estudio.
- Incorporación de notificaciones y alertas ante eventos tales como: Interrupción del sistema, cambios de señal, entre otros.
- Simplificación de la integración de un nuevo dispositivo al sistema.

PREGUNTAS?

Agradecimientos

- A mi familia. Sobre todo a mi madre.
- A mis compañeros.
- Muchas gracias a todos mis profesores.