



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Disseny de l'equipament tècnic d'una emissora de ràdio

Document:

Memòria

Autor:

Mateu Camps Homs

Director – Codirector:

Wenceslao Matarín – Javier Gago

Titulació:

Grau en Enginyeria de Sistemes Audiovisuals

Convocatòria:

Pròrroga, 2022

TREBALL DE FI D'ESTUDIS

Agraïments

A Ràdio Televisió Cardedeu i als col·laboradors per les experiències viscudes i els aprenentatges que m'han aportat.

Als familiars i amics per donar-me suport en tot moment a la meva vocació.

Resum

Aquest projecte s'endinsa en la creació d'un estudi de ràdio local econòmic, versàtil i adaptat a les tendències actuals. La instal·lació es dissenya amb la capacitat d'incorporar vídeo a les emissions de ràdio, per poder transmetre els programes per *streaming* i televisió. La instal·lació s'ha dimensionat per sis locutors al locutori i s'ha dissenyat el control per que dos locutors puguin realitzar programes de manera autònoma. També es fa possible la participació híbrida amb locutors i convidats de forma presencial i a distància.

Per dur a terme la correcta integració de tots els equips proposats, es programen quatre solucions a mida. En primer lloc, es crea un sistema de senyalització i un sistema de control remot de la taula de so pels locutors utilitzant diversos microcontroladors ESP8266. En segon lloc, es programa un rellotge digital i un generador de tons *Greenwich Time Signal*, utilitzant una Raspberry Pi 4B i una aplicació creada amb Python. També utilitzant aquest llenguatge, es genera un *script* per commutar una matriu d'àudio a través de RS-232.

Per poder implementar tot el projecte correctament s'adjunta una documentació annexa composta per plànols CAD amb disseny dels espais i distribució espacial dels equips, planimetria unifilar i llistats de cables amb totes les connexions dels equips, codis font dels programes desenvolupats i fitxes tècniques dels equips de la instal·lació. El cost econòmic del projecte no supera els 40.000 €, convertint-ho en una solució econòmica però fiable, polivalent i de qualitat suficient.

Es tracten temàtiques com la integració d'equips, l'àudio analògic i l'àudio digital, la informàtica i les xarxes IP, programació, distribució i mescla de vídeo digital.

Paraules clau: enginyeria, audiovisual, planimetria, radiodifusió, streaming, microcontroladors, programació.

Abstract

This project focuses on creating an economic, versatile local radio studio adapted to current trends. The facility is designed with the ability to embed video in radio shows and to be able to transmit shows via streaming and television. The installation has been sized for six talents in the booth, and the control room has been designed so that two talents can produce programs independently. Hybrid collaboration with presenters and guests is also possible in person and remotely.

To achieve the correct integration of the equipment, four tailor-made solutions are programmed. First, a signaling system and remote control system for the sound mixer using several ESP8266 microcontrollers. Secondly, a digital clock and a Greenwich Time Signal generator, using a Raspberry Pi 4B and a Python app. By also using this language, we create a script for switching an audio array through RS-232.

In order to be able to implement the entire project, the attached documentation consists of CAD plans with design of the spaces and a spatial distribution of the equipment, single-line planimetry and lists of cables with all the connections of the equipment, source codes of the developed software and the technical sheets of the equipment. The economic cost of the project does not exceed 40,000 €, which makes it a cost-effective but reliable and versatile solution.

Subjects such as equipment integration, analog and digital audio, computing and IP networks, programming, distribution and mixing of digital video are discussed.

Keywords: engineering, audiovisual, planimetry, broadcasting, streaming, microcontrollers, programming.

Índex

Agraïments	1
Resum	2
Abstract	3
Índex	4
Índex de taules	6
Índex de figures	7
Glossari	8
1. Introducció	10
1.1 Objecte.....	10
1.2 Abast.....	11
1.3 Requeriments.....	12
1.4 Justificació.....	13
2. Equipaments tècnics per la producció de continguts audiovisuals	14
2.1 Espais.....	14
2.1.1 Locutori.....	14
2.1.2 Control.....	15
2.1.3 Redacció.....	16
2.1.4 Sala de <i>racks</i>	17
2.2 Diagrama de blocs de producció.....	19
2.2.1 Fonts sonores.....	19
2.2.2 Distribució de senyal.....	20
2.2.3 Mescla i processat.....	21
2.2.4 Processat de final de cadena.....	21
2.2.5 Gravació.....	22
2.2.6 Emmagatzematge i ús compartit.....	22
2.2.7 Realització audiovisual.....	23
2.2.8 Distribució.....	24
2.2.8.1 <i>Ràdio FM</i>	24
2.2.8.2 <i>TDT</i>	25
2.2.8.3 <i>Streaming</i>	26
2.2.8.4 <i>Podcast</i>	27
3. Metodologia	28
4. Solucions proposades	30
4.1 Proposta relativa al mesclador d'àudio.....	30
4.2 Proposta relativa al sistema de continuïtat.....	31
4.3 Proposta relativa al sistema de senyalització.....	31
4.3.1 Rellotge.....	31
4.3.2 Panells de locutors.....	32
4.3.3 Senyalització <i>On Air</i>	32
4.4 Proposta relativa a la realització audiovisual.....	33
4.4.1 Càmeres.....	33

4.4.2 Mesclador de vídeo.....	33
4.4.3 Ordinador.....	33
4.5 Proposta relativa a l'emissió.....	34
4.6 Proposta relativa a la distribució de senyals.....	35
4.7 Proposta relativa al servidor d'arxius i IP.....	36
4.8 Proposta relativa a la sala de control.....	38
4.9 Proposta relativa al locutori.....	39
4.10 Proposta relativa a la sala de <i>racks</i>	40
4.10.1 Ordinador amb xassís <i>rack</i>	41
5. Desenvolupament.....	42
5.1 Control de matriu Kramer VS-1616A.....	42
5.2 Rellotge.....	45
5.2.1 Mòdul Bips.py.....	46
5.2.2 Mòdul DataHora.py.....	50
5.2.3 Mòdul Gui.py.....	52
5.2.4 Scripts main.py i settings.py.....	54
5.2.5 Configuració extra.....	55
5.3 Senyalització On Air.....	56
5.4 Panells de locutors.....	58
6. Pressupost.....	59
7. Conclusions.....	60
8. Normativa.....	61
9. Bibliografia.....	62

Índex de taules

Taula 1: Paquets lliurables.....	11
Taula 2: Llistat de serveis en un múltiplex FM.....	24
Taula 3: Resum de característiques de la taula Behringer X32.....	30
Taula 4: Potència total dels equips electrònics de la instal·lació.....	40
Taula 5: Característiques dels ordinadors amb xassís rack.....	41
Taula 6: Descripció dels 4 bytes per controlar la matriu Kramer.....	42
Taula 7: Paraules per commutar les entrades i sortides de la matriu Kramer.....	43
Taula 8: Directives i valors de retorn de la funció strftime().....	50
Taula 9: Taula de veritat de FADER i MUTE per un canal de la taula.....	57
Taula 10: Cost econòmic del projecte.....	59

Índex de figures

Figura 1: Plànol de planta dels nous estudis.....	11
Figura 2: Diagrama de blocs de producció.....	19
Figura 3: Esquema de blocs de la cadena d'emissió.....	34
Figura 4: Interconnexió entre servidor i estacions de treball.....	36
Figura 5: Estructura de carpetes de treball al servidor.....	36
Figura 6: Disseny CAD de la sala de control, vista de planta (esquerra) i vista frontal (dreta).....	38
Figura 7: Disseny CAD del locutori, vista de planta.....	39
Figura 8: Part frontal i posterior de la matriu Kramer VS-1616A.....	42
Figura 9: Relotge LEDI 7-60 de la marca Gorgy Timing.....	45
Figura 10: Tons del GTS. Imatge de Greenwich Time Signal a la Wikipedia.....	48
Figura 11: Forma d'ona del senyal generat per la funció __generaBips().....	49
Figura 12: Interfície gràfica de l'aplicació de rellotge.....	52
Figura 13: Panell LED On Air d'AEQ.....	56
Figura 14: Circuit per interconnectar la tira LED amb l'ESP8266.....	56
Figura 15: Esquema de connexions i disseny conceptual del panell.....	58

Glossari

AES3	Protocol d'àudio digital sense compressió
AES50	Protocol d'àudio digital a través de cable CAT 5e
AES67	Protocol d'àudio digital de capa 3 (transport IP)
ASIO	Protocol d'àudio de baixa latència per Windows
BROADCAST	Transmissió d'un programa de televisió, ràdio o Internet. Conjunt d'equips electrònics d'ús professional per a aquesta finalitat.
BYPASS	Mode de funcionament on no s'altera el senyal
CODEC	Codificador/descodificador d'un senyal o flux de dades
COFDM	Modulació en múltiples freqüències portadores ortogonals
DANTE	Protocol d'àudio digital de capa 3 (transport IP)
DMX	Protocol de control d'il·luminació
DSB-SC	Modulació de doble banda lateral sense portadora
DSP	Processador de senyals digitals
DVI	<i>Digital Visual Interface</i> , connexió per monitors informàtics
FADER	Dispositiu regulador que es desplaça en un eix
GPS	Sistema de posicionament global
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i> , connexió per monitors informàtics
IFB	Sistema d'intercomunicació commutable entre un senyal de programa i ordres
JACK	Connector d'àudio balancejat o estèreo
KVM	<i>Keyboard Video Mouse</i>
MPX	Múltiplex
NDI	Protocol de vídeo digital de capa 3 (transport IP)
NTP	<i>Network Time Protocol</i> , protocol de sincronització horària
PATCH	Encaminador de senyals
PLAYLIST	Llista de reproducció
PLAYOUT	Sistema de reproducció de vídeo o àudio
POE	<i>Power over Ethernet</i> , alimentació de dispositius IP a través d'un cable UTP
PS/2	Connexió de dades de teclat i ratolí
PTZ	<i>Pan Tilt Zoom</i>
RACK	Moble vertical que permet muntar-hi equips electrònics de mateixa amplada
RSS	<i>Really Simple Syndication</i> , format de distribució de continguts

SAI	Sistema d'alimentació ininterrompuda
SDI	Transmissió de vídeo digital per cable coaxial
SELFCONTROL	Programa de ràdio operat, locutat i mesclat per una persona
STREAMING	Transmissió d'un flux de dades a través d'Internet
SWITCH	Concentrador de connexions Ethernet de dins d'una xarxa informàtica
TALKBACK	Intercomunicació entre tècnic i locutors
TIE-LINE	Línia o cable polivalent
TRS	<i>Tip Ring Sleeve</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i> , protocol de comunicació entre dispositius informàtics
UVC	Controlador per càmeres tipus webcam de Windows
VGA	<i>Video Graphics Array</i> , connexió per monitors informàtics
VNC	<i>Virtual Network Computing</i> , protocol de control remot
XDSI	Xarxa digital de serveis integrats
XLR	<i>External Line Return</i> , connector d'àudio balancejat

1. Introducció

1.1 Objecte

Conèixer els fluxos de treball dins d'una emissora actual. Amb la digitalització s'abandonen tots els sistemes d'edició i reproducció lineal i es substitueix per sistemes informàtics. Tota la producció de notícies, programes i continguts queda centralitzat en un servidor i tots els llocs de treball (redacció, controls tècnics, remotament) hi tenen accés.

La tecnologia orientada al *broadcast* professional segueix incorporant millores. Pel que fa a àudio, es redueix l'ús dels senyals analògics als mínims imprescindibles i es distribueix tot l'àudio de manera digital. Es simplifica la instal·lació i dona molta més flexibilitat al gestionar la matriu d'àudio, que en moltes ocasions és una matriu descentralitzada.

Apareixen alternatives que contribueixen a la producció remota. L'accés a Internet per fibra òptica i xarxes 4G permet enviar i rebre àudio i vídeo de bona qualitat i baixa latència, sense requerir contractar una línia XDSI a l'operador.

Es produeixen programes híbrids de ràdio i vídeo, molt més participatius per l'audiència i amb més abast gràcies a les xarxes socials.

Amb totes aquestes innovacions es vol aconseguir dissenyar un estudi de ràdio que acabarà sent la nova seu de Ràdio Cardedeu. Es definirà una llista de necessitats, es valorarà econòmicament la viabilitat, i es buscarà la millor manera d'implementar-ho tècnicament, si cal buscant alternatives que ofereixin un resultat similar i s'adaptin a la mida i ritme de producció d'aquests estudis. Es presentaran diagrames de blocs, planimetria d'instal·lació i proposta d'ús de l'espai.

1.2 Abast

A continuació es llisten els paquets de treball que s'entregaran:

Fita	Descripció
Memòria: State of the art	Part de la memòria escrita que explica com són els estudis de ràdio, quins fluxos de treball hi ha i quins equips tècnics són necessaris.
Pressupost	Tenint en compte els equips d'una emissora, i les necessitats i pressupost del client, decidir una llista d'equips a adquirir.
Plànols d'instal·lació CAD unifilars i llistat d'equips i cables	Amb el pressupost tancat, fer el plànol de la instal·lació a nivell d'àudio, vídeo i dades, amb la corresponent numeració.
Proposta distribució equips i mobiliari	Tenint en compte tres sales clau (locutori, control i sala tècnica) fer una primera distribució tenint en compte els equips a col·locar i els espais de treball que cal tenir.

Taula 1: Paquets lliurables

L'arquitectura immoble de les instal·lacions i l'acústica del recinte ja ve donada per l'Ajuntament de Cardedeu. Per tant no es tractarà cap contingut sobre construcció d'espais.

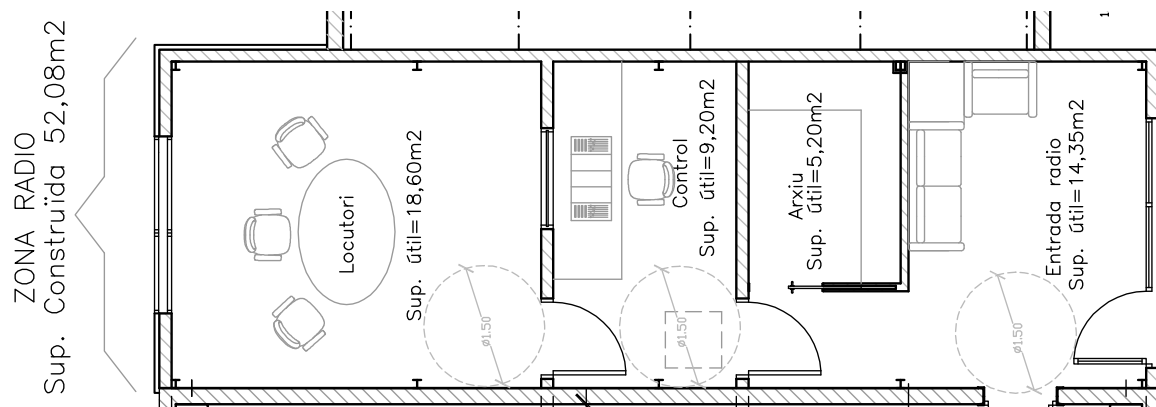


Figura 1: Plànol de planta dels nous estudis

Tot i que es parlarà d'electricitat no s'entrarà en el detall de la instal·lació elèctrica de l'edifici.

1.3 Requeriments

Es preveu trobar solucions de baix cost a productes de gamma mitja/alta de tipus *broadcast*. Per exemple:

- Comptar amb una taula de so amb suficients entrades i sortides que s'ajustin a les necessitats (número de micròfons, sortides auxiliars, processador d'efectes, ordres per via interna, etc.)
- Comptar amb un sistema de continuïtat de baix cost, que pugui reproduir àudios gravats al servidor i àudios provinents de streaming. Poder automatitzar commutacions de senyal a fonts externes.
- Tenir un sistema de senyalització complet i sincronitzat amb els canvis de la taula de so (rellotge, senyals horaris, panell de locutor amb botó de la tos i *talkback*, llum tipus *On Air*).
- Poder entrar senyals provinents de telèfon, videotrucades o altres fonts IP.
- Sistema de realització amb càmeres PTZ, per emetre o gravar el programa a través d'Internet o TV.
- Aïllar tots els equips informàtics i que generin soroll a una sala separada, disposats en un *rack*.
- Possibilitat de monitorar senyals d'entrada i de sortida.
- Tenir un servidor de treball amb tot el mèdia de l'emissora (cançons, arxius de programes, publicitat, indicatius, etc.).

Per la creació dels plànols s'utilitzarà NanoCAD 5 (*Freeware*) i per la creació de diagrames s'utilitzarà draw.io (*Open Source*). Per la generació del llistat de cables s'utilitzarà LibreOffice Calc i per la redacció del projecte s'utilitzarà LibreOffice Writer.

1.4 Justificació

Els equips tipus *broadcast* professionals de vídeo i àudio sempre han sigut econòmicament costosos. La característica principal és que són productes de disseny industrial i de tipus modular, amb sistemes redundants i robustos. El tipus de clients que es beneficien d'aquests productes són emissores que no es poden permetre una incidència tècnica que comprometí l'emissió, i que depenen del servei tècnic i de la garantia del fabricant o empresa subministradora.

Amb el temps han aparegut alternatives més assequibles que televisions i ràdios d'àmbit local, o inclús productores petites sí que es poden permetre. Aquest tipus de client no compra productes audiovisuals amb tanta freqüència ni amb tanta quantitat, però sempre mira molt la relació qualitat/preu.

El cas de Ràdio Televisió Cardedeu és aquest, una emissora que depèn de l'empenta dels seus socis i col·laboradors, i que després de 40 anys la ràdio s'ha vist obligada a canviar d'edifici i començar de nou.

La falta de recursos econòmics sempre porta a la creativitat. RTVC sempre ha estat una emissora electrònicament artesanal, s'han creat molts equips fets a mida i amb un cost molt més reduït que la versió comercial, però que s'adapten perfectament a les necessitats de l'emissora.

El projecte intentarà crear una ràdio nova, amb el màxim de característiques que ha de complir una emissora professional. Es buscaran equips i sistemes que permetin produir programes de manera còmoda i eficaç, i que no sobrepassin les necessitats de l'emissora ni el baix pressupost. Es plantejarà si és viable crear uns sistemes de senyalització propis utilitzant microcontroladors.

2. Equipaments tècnics per la producció de continguts audiovisuals

2.1 Espais

L'arquitectura dels estudis de ràdio va lligada als usos que se li vulgui donar. Comprenem *estudi* com a recinte condicionat per realitzar gravacions i mesclar-les. Les eines principals amb les que ha de comptar un estudi són sistemes d'adquisició de senyals (micròfons, reproductors d'àudio...), sistemes per gestionar fonts sonores i mesclar-les (taula de so, ordinador...), sistemes d'escolta (auriculars, altaveus), sistemes de gravació i un condicionament acústic adequat a l'arquitectura de l'espai.

Normalment un estudi està format per un control i un locutori. Si l'espai ho permet, el disseny d'aquests espais estarà format per dos habitacles separats per un doble vidre i per un material aïllant acústic.

Podem trobar estudis de ràdio que no tenen separació entre control i locutori, i per tant estan formats amb un mobiliari que integra la secció del tècnic de so i la secció dels locutors.

2.1.1 Locutori

Al locutori s'hi situen els micròfons i locutors que intervenen al programa. La sala ha de ser còmoda, ben il·luminada i espaiosa per encabir un locutor principal, col·laboradors i convidats, i si l'espai ho permet pot haver-hi públic. Per poder seguir l'actualitat exterior de forma visual i immediata, els estudis solen comptar una o més televisions sintonitzant canals d'informació 24h per TDT (324, RTVE 24h...).

Per tenir una bona coordinació amb el tècnic i seguir correctament l'escaleta del programa, el locutori ha de comptar amb elements visuals de senyalització, típicament amb llum de color vermell. Un element primordial és el rellotge, que el trobem en forma digital i on hi apareixen hores, minuts i segons. Els segons es compten en format numèric i en forma de circumferència de 59 díodes LED que envolten la hora, que simulen la agulla dels segons d'un rellotge analògic. Per tal que els locutors estiguin atents quan hi hagi micròfons encesos, també trobem el llum *On Air* que indica que com a mínim un dels micròfons està obert.

Els locutors que intervinguin al programa hauran de tenir un retorn d'àudio a través d'auriculars, que idealment cada locutor pot regular-se el volum a través d'un panell de control enfrontat amb ells. Aquest panell sol comptar també amb el botó de la tos, que activa el mute del seu micròfon remotament per poder tossir a distància. També solem trobar un botó de *talkback*, que permet comunicar-se amb el tècnic de so sense interferir a la mescla final. De la mateixa manera, el tècnic pot comunicar-se internament pels

auriculars amb els locutors, o bé només amb el locutor principal i conductor del programa, l'anomenat IFB (*Interruptible Foldback*).

En cas que hi pugui haver espai pel públic, aquests hauran de tenir un retorn d'àudio a través d'altaveus. Per evitar acoblaments de so i que el públic pugui seguir el programa, la taula manté un nivell d'àudio baix quan hi ha com a mínim un micròfon encès. Un cop es paren tots els micròfons (pausa publicitària, minuts musicals...) el nivell torna a pujar.

Amb la tendència de l'*streaming* de vídeo per Internet, els locutors s'han convertit en platós de televisió. Trobarem estudis de ràdio equipats amb material de realització com càmeres PTZ, mescladors de vídeo i control d'il·luminació per DMX, normalment tot operat des de la sala de control. També trobem reproductors de vídeo i generadors de grafisme que es sumen al so de la mescla del programa de ràdio, creant un programa híbrid de ràdio i TV.

2.1.2 Control

La sala de control és on es situa el tècnic de so que mesclarà tots els senyals del programa. Idealment la taula de so ha de ser d'una marca i model orientat a ràdio, ja que ofereix totes les eines necessàries per la producció en directe de programes com per exemple híbrid telefònic, sortides per senyalització, un sol *fader* per entrades estèreo, línies de retorn N-1 o sortides específiques pel monitoratge d'àudio i comunicació interna. També solen tenir un disseny industrial que basa el funcionament i l'estructura física de la màquina en mòduls intercanviables. Això permet substituir un únic mòdul d'un canal o grup de canals sense haver d'apagar o afectar la resta de l'equip, important en casos on la taula ha de romandre encesa 24/7 i el senyal de continuïtat de l'emissora passa per la taula.

L'emissió o gravació del programa també va acompanyada de música, efectes de so i talls de veu, que cal ser reproduïts des d'un sistema de *playout*. Actualment aquesta tasca es delega totalment a un o més ordinadors, amb una o més sortides d'àudio estèreo, que permeten accedir a una base de dades compartida amb altres ordinadors de l'emissora. El software de *playout* consta d'una *playlist* que haurà generat el tècnic o el redactor del programa, i que generalment anirà d'acord amb l'ordre d'escaleta.

En programes on la participació de l'audiència és important, caldrà comptar amb una secció de centraleta telefònica, on un productor contestarà les trucades i les prepararà per ser punxades a l'emissió. Per exemple, abans d'entrar la trucada el productor pregunta el nom, la població i quina consulta volen fer o quina cançó demanen, per assegurar i filtrar trucades que puguin comprometre l'emissió. A l'instant abans de donar pas a la trucada el productor fa ús del *talkback* per comunicar-se amb el conductor del programa i li comunica les dades de nom i població, de manera que el locutor pot dir amb tota seguretat "Ens truca en Josep Maria de Cardedeu, bon dia!".

Depenent de les circumstàncies, el programa pot necessitar intervenció de locutors de forma remota. En aquests casos existeixen eines més enllà del telèfon que transmeten àudio digital amb més qualitat i baixa latència. Des de l'any 1986 la Xarxa Digital de Serveis Integrats (XDSI o ISDN en anglès) conjuntament amb un dispositiu còdec IP

permet comunicar-se amb un altre còdec IP remotament i transmetre àudio de manera bidireccional. El locutor remot enviarà només el seu micròfon, mentre que des de l'estudi principal se li enviarà tot el senyal de programa menys el seu micròfon, l'anomenat N-1 o *Mix-Minus*. El cost del còdec IP i de la tarifa de la xarxa XDSI fa que moltes emissores optin per serveis de videotrucada per Internet (Skype, Meet, Zoom, Discord...) amb una qualitat d'àudio suficient i una latència baixa, però amb l'inconvenient de no tenir la robustesa de la línia XDSI.

Si l'estudi on trobem aquest control és el principal o és l'únic de l'emissora, és probable que també hi tingui lloc el sistema de continuïtat. Seguint la filosofia de funcionament industrial, els sistemes de continuïtat poden ser un sol ordinador o més ordinadors que funcionen de manera redundat amb un sistema de *changeover* que commuta el senyal d'entrada en cas que una d'elles tingui absència de so. L'emissió de continuïtat és una escaleta diària de fórmula musical, re-emissions de programes, entrades de programes en directe, falques publicitàries i indicatius de l'emissora que omplen les 24h del dia. Segons el sistema de continuïtat, les escaletes d'emissió es generen totalment de forma manual, o automàticament seguint uns criteris. Criteris com "de 08:00 a 16:00 música dels 70, 80 i 90", "de 16:00 a 22:00 música POP i top 40", i "cada 20 minuts, 2 minuts de publicitat". El sistema busca dins d'una base de dades els arxius a reproduir, que ja estaran classificats i etiquetats segons el tipus de contingut.

2.1.3 Redacció

Sala d'estil oficina on es duu a terme la creació de contingut dels programes. Compta amb estacions de treball connectades a un servidor comú que permet transferir el material d'àudio cap al *playlist* del control fàcilment.

És vital comptar amb connexió a Internet mitjançant *WiFi* i cable. Degut a la popularització i fàcil accés a les videotrucades, és adequat disposar de càmera web, micròfon i un software per poder enregistrar talls de veu en cas que s'entrevisti a un convidat. Per la captació d'àudio s'utilitza una interfície d'àudio externa, normalment connectada per USB. El micròfon hauria de ser de qualitat propera als micròfons de l'estudi per poder enregistrar cròniques fàcilment sense haver-se de desplaçar de sala. És recomanable que els ordinadors de la sala de redacció tinguin disponibles uns auriculars per poder treballar amb material d'àudio més d'una persona a l'hora sense molestar-se.

Tot i que s'ha d'intentar reduir el consum de paper, és útil comptar amb una impressora per imprimir guions i escaletes a tot l'equip del programa. L'avantatge de tenir aquesta informació en paper permet prendre anotacions en brut sobre moments clau del programa, o bé poder ratllar seccions passades per no distreure la vista.

La il·luminació de la sala i l'ergonomia del mobiliari i equips ha de ser adequada per permetre treballar durant períodes llargs sense causar fatiga al treballador.

2.1.4 Sala de *racks*

També coneguda com sala de servidors o sala freda, és la ubicació on s'hi concentren tots els equips electrònics que generen calor i soroll, principalment ordinadors. Al concentrar tots els equips en una sala separada permet mantenir-los refrigerats i arraconar el soroll generat en un punt de l'edifici.

La sala de *racks* ideal ha de complir uns criteris (Price, 1989):

- Evitar que cap de les parets de la sala connecti amb l'exterior per evitar entrades d'aigua i humitat. També evitar finestres amb l'exterior.
- No construir la sala en una planta baixa (inundacions) o en un àtic (filtracions).
- Ubicar la sala al centre de l'edifici, i des d'allà desplegar el cablatge a les estacions de treball. Es poden ubicar *racks* tipus satèl·lit per l'edifici si no és possible centralitzar-ho tot a la sala de *racks* principal.
- Avaluar i evitar fonts d'interferència electromagnètica.

Aquests requisits són difícils de complir al 100% en casos d'una oficina d'una sola planta i de mida reduïda.

Els equips informàtics i electrònics pensats per usos industrials es dissenyen en mides estàndards per encaixar en armaris metàl·lics tipus *rack*. L'especificació EIA-310 defineix les mides del *rack* de 19 polzades, molt utilitzat per servidors informàtics, equips de telecomunicacions i xarxes, equips de producció audiovisual i equips científics. Els espais d'un *rack* es divideixen en unitats de *rack* (RU) i els equips es manufacturen amb aquestes mides, facilitant la instal·lació i l'escalabilitat si cal incorporar nous equips al sistema.

En el cas d'ordinadors, per tal de controlar-los a distància és necessari un programari de control remot (VNC, TeamViewer, Anydesk, etc.) o un extensor KVM (*Keyboard Video Mouse*), que permet agrupar el senyal de pantalla (HDMI, VGA o DVI) i les dades de teclat i ratolí (USB o PS/2) en un sol cable de dades UTP. Aquest tipus de cable permet longituds de més de 50 metres, sempre depenent de l'estat del cable i de la capacitat de multiplexació/desmultiplexació de l'extensor KVM. Es sol comercialitzar per parells, on un sistema fa d'emissor i resideix a la sala de *racks* al costat de l'ordinador, i un sistema receptor a una distància considerable col·locat a l'estació de treball que controlarà aquest ordinador. A l'estació de treball només hi haurà una pantalla, un teclat, un ratolí, i uns altaveus si l'extensor KVM ho suporta.

Els equips industrials han d'assegurar un funcionament continuat inclús durant una fallada elèctrica. La majoria d'ells incorporen fonts d'alimentació redundants, i per tant amb més d'una connexió elèctrica tipus IEC C14. Per donar servei a les fonts d'alimentació redundants es sol incorporar un SAI (sistema d'alimentació ininterrompuda) que emmagatzema energia elèctrica dins d'una bateria fins que l'entrada d'alimentació principal falla i comença a subministrar electricitat als equips que hi tingui connectats. Les bateries d'un SAI permeten subministrar electricitat durant un període de temps curt, suficient per poder realitzar una apagada segura dels sistemes o bé canviar a un sistema

d'alimentació secundari. Utilitzar un SAI en mode *bypass* durant el dia a dia permet corregir problemes d'alimentació comuns com pics de voltatge, baixades de tensió, reduir el soroll induït a la xarxa elèctrica, freqüència inestable i distorsions harmòniques.

A l'hora d'instal·lar és important preveure separacions físiques entre el cablatge d'alimentació AC i la resta de senyals dèbils com àudio analògic, vídeo i dades. Les variacions de voltatge poden induir interferència electromagnètica a la resta de senyals si es troben molt propers. En el cas de l'àudio analògic és el més reconeixible ja que s'escolta un soroll greu de $f = 50 \text{ Hz}$.

2.2 Diagrama de blocs de producció

En tota instal·lació d'àudio el senyal segueix un flux a través d'unes etapes i sistemes que capten, tracten, encaminen, distribueixen, graven i codifiquen el so segons unes necessitats concretes.

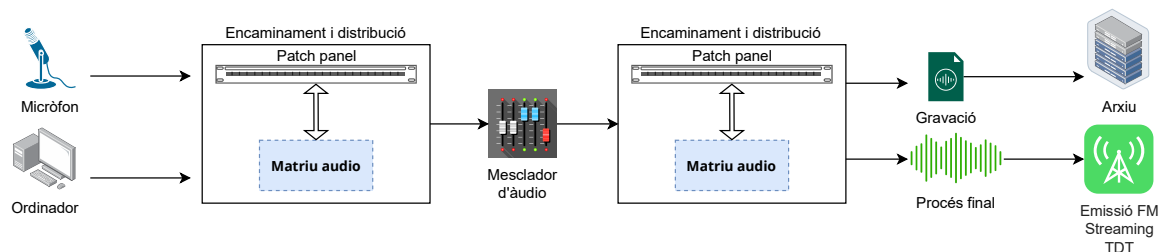


Figura 2: Diagrama de blocs de producció

2.2.1 Fonts sonores

De fonts sonores en distingirem dos tipus: senyals provinents de micròfons i senyals de sortida d'equips electrònics.

El so capturat per un micròfon és en realitat una traducció de les variacions d'ones de pressió de l'aire. De les ones que arriben al micròfon una part són directes, les altres són reflectides i arriben més tard en forma de reverberació, i la resta és so no desitjat (soroll de fons) que també arriba al micròfon (Nisbett, 1990).

El micròfon converteix les variacions de pressió de l'aire en variacions elèctriques. Les imperfeccions en aquest procés indueixen distorsió i altres artefactes no desitjats. D'aquí s'obté el senyal de sortida del micròfon que més tard anirà al preamplificador d'una taula de so.

Un altre tipus de fons sonores són senyals provinents d'equips electrònics. Antigament aquesta tasca depenia de magnetòfons de bobina oberta, reproductors de casset, vinil, minidisc o disc òptic. Actualment són generats per sistemes informàtics, còdecs IP, híbrids telefònics, televisions de l'estudi, etc.

2.2.2 Distribució de senyal

La sortida i entrada d'àudio d'alguns equips actuals també són compatibles amb estàndards d'àudio digital, com ADAT, AES3, AES67, Dante o MADI. Dels protocols descrits, exceptuant AES3, tots tenen mitjans de transmissió diferents al cable de coure d'àudio i connectors diferents als coneguts XLR i TRS. Molts d'ells fan ús de cables UTP i connectors RJ45 o cable de fibra òptica i connectors LC o SC. El cas de Dante i AES67 utilitzen encapsulat IP per la transmissió dels fluxos d'àudio digital, permetent que un *switch* de xarxa actuï com a distribuïdor de senyal.

L'escalabilitat que ofereix un entorn d'àudio digital és majúscula i una instal·lació amb diversos estudis i gran quantitat de fonts d'àudio se'n pot beneficiar de la flexibilitat. A nivell d'instal·lació redueix en gran quantitat el desplegament de cablat ja que per un sol cable UTP o òptic permet incorporar un gran nombre de canals, que en cas d'àudio analògic es traduiria a un cable de coure de tipus TRS per cada canal necessari.

El cost econòmic d'una xarxa d'àudio digital és més elevat que el d'una distribució d'àudio analògic convencional. Cal triar un protocol de transmissió en funció de les necessitats i després assegurar-se que els equips que volem incorporar són compatibles amb aquest protocol.

Si les dimensions del projecte no requereixen d'una xarxa d'àudio digital i a més ja es disposa d'equipament d'àudio analògic es pot optar per una distribució analògica. En aquest cas tots els senyals d'entrada i sortida es disposen en *patch panels* que permeten encaminar els senyals d'àudio cap a altres equips de la instal·lació. El *patch panel* també permet reconnectar entrades i sortides dels equips en cas de fallada o incorporació puntual d'equips d'àudio a la instal·lació.

Si és necessari distribuir senyals o bé realitzar commutacions automàtiques es farà us d'una matriu d'àudio analògic controlable a través d'IP, RS-232, RS-422 o GPIO. És una pràctica habitual que el sistema de continuïtat controli remotament la matriu d'àudio per seleccionar quina font s'envia a emissió. Aquests orígens poden ser la pròpia continuïtat, la sortida de programa de la taula de l'estudi, una recepció externa provinent d'un *còdec* IP, o senyal provinent d'un *tie-line* d'una altra part de l'edifici.

2.2.3 Mescla i processat

La taula de mescles combina totes les fonts d'àudio i l'operador s'encarrega d'obtenir una sortida amb un nivell adequat. Una taula de so s'opera per mitjà de *faders*, potenciómetres i polsadors. En cas d'una taula digital també permet visualitzar informació a través d'una pantalla, i que en ocasions serà una pantalla tàctil. També estenen la funcionalitat cap a una xarxa IP, permetent operar la taula des d'una tauleta o ordinador.

Les taules de mescles digitals incorporen processadors d'efectes en temps real (DSP), que permeten controlar els nivells i aplicar filtres a cada canal de la taula sense necessitar equips externs.

En el cas dels micròfons és vital aplicar un processat ja que és una font sonora molt variable. Es sol aplicar una equalització que redueix altes i baixes freqüències, seguit d'una compressió per reduir el rang dinàmic i estabilitzar el nivell.

Si la taula de so no té suficients entrades de micròfon, és una pràctica comuna mesclar els micròfons dels convidats per separat amb un mesclador extern, i després entrar la mescla a la taula.

Algunes marques i models de taules de so orientades a radiodifusió són Studer Vista 5, AEQ Arena o DHD RM2200D (Niqui, 2007).

2.2.4 Processat de final de cadena

Abans de ser emès, l'àudio necessita un últim tractament que l'adequa per a la correcta difusió. Un cop s'ha encaminat una font d'àudio cap a emissió, a aquest senyal cal sumar-hi uns senyals horaris. Són els coneguts 6 tons que s'emeten 5 segons abans de cada hora i cada mitja hora. Reben el nom de Greenwich Time Signal (Burns et al., 2004).

Aquests senyals poden ser generats per un equip específic o per un ordinador, i cal que estigui correctament sincronitzat amb un senyal GPS o un servidor NTP. Es poden sumar al senyal encaminat cap a emissió amb un mesclador o circuit sumador.

La següent etapa consisteix en aplicar un processat multibanda a l'àudio abans de ser difós. Aquest processat es pot aplicar amb un maquinari específic o per software amb un ordinador. El cost d'un processador d'àudio físic orientat a *broadcast* és molt costós, ja que és un sistema crític que ha d'estar dissenyat a prova de fallades, i les característiques, qualitat i disseny d'aquest és clau per que l'audiència gaudeixi correctament del so de l'emissora.

L'objectiu d'aquesta etapa és maximitzar el nivell d'àudio i optimitzar-lo per aprofitar l'ample de banda que ofereix la FM. Una emissora de grans dimensions no es pot permetre sonar més flux que les emissores de la seva competència. Algunes marques i models del sector són Orban Optimod, Telos Alliance Omnia i TC Electronics DXMax. També hi ha opcions en format software com Sonos 4 o Breakaway Broadcast Processor.

Per emissions de ràdio a Europa s'utilitza la recomanació EBU R128 s3 que estableix el nivell *Programme Loudness* a -23 LUFS (EBU, 2014), però l'emissió processada pot tenir un nivell entre -20 LUFS a -16 LUFS.

El so un cop processat, ja està llest per ser difós per FM, Streaming i TDT o bé gravat per distribuir-lo en format *podcast*.

2.2.5 Gravació

En uns estudis de ràdio és important poder realitzar gravacions en diverses situacions i punts de la cadena, ja sigui per enregistrar programes que més tard s'emetràn i es publicaran, per enregistrar el programa que s'està realitzant en directe sense processat ni senyals horaris, per poder generar un arxiu històric d'emissions o bé per motius legals.

La primera possibilitat és poder enregistrar l'àudio un cop surt de la taula de so. Aquest senyal pot ser capturat amb el mateix ordinador que reproduïx els àudios del programa, o bé fent ús d'un gravador extern dedicat. Antigament era comú fer ús d'un gravador en format *Minidisc*, ara podem trobar opcions que graven en targeta SD i un cop finalitzada la gravació carreguen l'arxiu a un servidor. Comptar amb dues gravacions simultànies ofereix redundància i seguretat. Aquesta gravació serà apta per arxivar i per re-emetre per continuïtat, ja que no tindrà el processat de final de cadena. També pot ser apta per publicar en format *podcast*.

Segons l'article 25 de la Llei 22/2005 de la comunicació audiovisual de Catalunya, és indispensable conservar una còpia legal dels últims 6 mesos d'emissió que el Consell Audiovisual Català podrà sol·licitar en qualsevol moment (Generalitat de Catalunya, 2006). La còpia legal ha de ser una rèplica del senyal que es difon cap a emissió. Podem fer ús d'un equip exclusivament dedicat a gravar l'emissió, o bé fer ús d'un sistema existent com podria ser la pròpia continuïtat o el codificador d'*streaming*, els quals se'ls pot subministrar aquest senyal a l'entrada del sistema.

2.2.6 Emmagatzematge i ús compartit

Per tal que múltiples estacions de treball puguin tenir accés a tots els continguts multimèdia, cal que aquests resideixin dins d'un servidor. Tots els ordinadors hauran d'estar comunicats en xarxa amb aquest servidor.

Físicament, un servidor d'arxius és una agrupació de discos durs que treballen de forma redundat i ofereixen un espai suficient per emmagatzemar dades de qualsevol tipus. La dimensió del servidor i dels discos durs estarà d'acord amb les necessitats de la instal·lació. Al mercat podem trobar marques com QNAP o Synology que ofereixen servidors compactes i amb un rendiment suficient orientats a petites i mitjanes empreses. Gràcies als sistemes embeguts dins dels servidors (molt sovint entorns Linux) permeten oferir més serveis a més de servir arxius, com per exemple virtualització, FTP, sincronització amb serveis al núvol de tercers o servidor de bases de dades.

En entorns *broadcast* és molt necessari comptar amb un arxiu de tot el mèdia que s'ingesta, que s'ha d'utilitzar en un programa i que s'ha d'arxivar per motius històrics. Amb

la digitalització dels continguts audiovisuals es va trobar la necessitat de crear els MAM (Media Asset Manager). Els MAM són capes de software que funcionen sobre un servidor d'arxius, i a partir d'una base de dades ajuden a indexar i ordenar tot el contingut d'una emissora, productora o cadena de televisió. Els MAM són escalables, això vol dir que és fàcilment ampliable amb servidors nous i que les mecàniques de catalogació que ofereixen són prou polivalents per adaptar-se a noves formes de treballar. Algunes empreses del sector que ofereixen solucions MAM són Metus, Avid, Dalet o VSN.

2.2.7 Realització audiovisual

Els nous hàbits de consum audiovisual a través d'Internet han portat a emissores a reinventar-se i incorporar equips de vídeo a la seva producció existent de ràdio. Al mercat podem trobar equips propis d'una realització audiovisual compactes que poden complementar l'emissió o gravació d'un programa de ràdio.

Un exemple són les càmeres PTZ que es poden controlar remotament via IP, i per tant des d'un panell físic, un ordinador o un sistema de realització automàtica. També trobem mescladors de vídeo compactes que a més de mesclar entrades de vídeo poden generar grafismes, reproduir vídeos i transmetre l'emissió per Streaming. Alguns estudis de ràdio s'han reconvertit en platós de televisió, i han incorporat sistemes d'il·luminació controlats per DMX i televisions o pantalles LED que complementen el decorat.

L'accés a les videotrucades fa interessant comptar amb un sistema de participació híbrida que estengui la funcionalitat de la línia telefònica i la XDSI.

2.2.8 Distribució

El format de consum de ràdio més habitual, estès i barat que coneixem és a través de la FM. Des dels anys 2000, l'accés a Internet i la imposició de la Televisió Digital Terrestre han fet aparèixer noves vies de consum.

2.2.8.1 Ràdio FM

La radiodifusió a través de freqüència modulada és una tècnica inventada l'any 1933 per l'enginyer americà Edwin Armstrong. La difusió per FM s'utilitza mundialment per proporcionar àudio d'alta fidelitat sobre ràdio. Permet una reproducció més acurada en comparació amb altres tècniques de modulació com la AM (modulació d'amplitud), més susceptible a interferències electromagnètiques (Radiocommunication Bureau, 2010).

A bona part del món s'utilitza la banda VHF per la transmissió FM. La regió 1 de la ITU que engloba Europa, Austràlia i Àfrica es fa ús de les freqüències entre 87.5 MHz i 108.0 MHz. Aquest rang es divideix en canals de 200 kHz, on la freqüència central de l'emissora està just al mig del canal. A Estats Units utilitzen freqüències amb un sol decimal senar, p.e. 87.5 MHz a 107.9 MHz. A Espanya també s'utilitzen freqüències amb un sol decimal però poden ser parells o senars. Aquesta distribució de canals permet adjudicar fins a 102 freqüències en un territori.

Una transmissió FM és un múltiplex de diversos serveis:

Rang	Servei	Descripció
30 Hz a 15 kHz	Àudio mono (L+R)	Suma dels canals esquerra i dret, permet compatibilitat amb receptors antics
19 kHz	Pilot estèreo	Indica la presència d'informació estèreo
23 kHz a 53 kHz	Àudio estèreo (L-R)	Diferència entre canals L i R, modulats en DSB-SC
57 kHz	Dades RDS	Informació digital

Taula 2: Llistat de serveis en un múltiplex FM

Quan el receptor detecta la presència del pilot estèreo a la freqüència 19 kHz va a buscar el rang de 23 kHz a 53 kHz, on hi haurà la informació de l'àudio estèreo codificada en la modulació DSB-SC i l'àudio en forma de diferència de canals L-R. D'aquesta manera es poden recuperar els canals esquerra i dret. Algebraicament:

$$\frac{(L+R)+(L-R)}{2} = L$$

$$\frac{(L+R)-(L-R)}{2} = R$$

La informació RDS està situada als 57 kHz i ocupa un ample de banda de ± 2 kHz. Es tracta d'una codificació Manchester diferencial. Inclou multitud de serveis com:

- **AF:** Llistat de freqüències alternatives de l'emissora
- **CT:** Data i hora actuals
- **PS:** Identificació de l'emissora (màxim 8 caràcters)
- **RT:** Eslògan de l'emissora (màxim 64 caràcters)
- **TA/TP:** Butlletí informatiu de trànsit

2.2.8.2 TDT

La norma tècnica que es fa servir en la TDT és la *Digital Video Broadcasting – Terrestrial*. Permet incloure estacions de ràdio en subportadores dins del múltiplex dels canals de televisió. Per això tots els receptors de TDT i *Smart TV* actuals inclouen opció de llistar canals de ràdio.

L'estàndard DVB-T forma part d'una família d'estàndards europeus DVB per transmissió de vídeo digital sobre diferents mitjans i tecnologies (Broadcasting, 2009):

- **DVB-T:** Transmissió utilitzant la xarxa de distribució de TV analògica tradicional
- **DVB-S:** Transmissió utilitzant satèl·lits geoestacionaris
- **DVB-C:** Transmissió per xarxes cable
- **DVB-H:** Transmissió destinada a ser rebuda per dispositius portàtils, de poc consum i processat limitat
- **DVB-IPTV:** Transmissió de vídeo a través d'Internet.
- **DAB:** Transmissió de ràdio digital

DVB-T utilitza la codificació COFDM (multiplexació per divisió de freqüència ortogonal codificada) que consumeix part de la velocitat del canal disponible i ho substitueix per dades, per tal d'aconseguir una millor tolerància a les pèrdues de senyal degut a interferències.

Un múltiplex DVB-T (MPEG Transport Stream) conté diversos canals de televisió i ràdio, normalment provinents d'una mateixa cadena o corporació (e.g. CCMA). Cada canal dins d'aquest múltiplex (*MPEG Program Stream*) conté vídeo, àudio i dades annexes. Un canal de ràdio per TDT és un canal sense dades de vídeo.

El codificador que s'utilitza en les transmissions d'àudio per TDT és *MPEG-1 Audio Layer II*, també conegut com a MP2. Mentre que l'MP3 és més popular per usos d'Internet, MP2 té una millor resiliència davant els errors de recepció. Suporta freqüències de mostreig de 32 kHz, 44.1 kHz i 48 kHz, i taxes de bit de 32 kbps fins a 384 kbps.

L'emissió de ràdio a través de DVB-T no s'ha de confondre amb el DAB / DAB+, que es transmetia per la banda VHF de 190 a 225 MHz i que va tenir molt poca implantació en el sector de la radiodifusió. Les proves realitzades amb DAB a Catalunya, transmetent a una potència d'1 kW, van aparèixer força problemes relacionats amb pèrdua de senyal dins dels edificis (Niqui, 2007).

2.2.8.3 Streaming

Gràcies a les altes taxes de transmissió d'avui dia i a la capacitat de descodificació, la transmissió de fluxos d'àudio i vídeo a través d'Internet pot ser d'alta qualitat i de baixa latència.

La transmissió d'àudio sobre Internet requereix un servidor, un codificador i un format d'àudio compatible i un reproductor d'àudio a la banda del client.

- **Servidor:** programari que distribueix un flux d'àudio origen a diversos clients que es connectin. Els més comuns actualment són *Icecast*, *SHOUTcast* i *HLS*.
- **Codificador i format:** software que rebrà un senyal d'àudio i el convertirà a temps real a un format compatible pel servidor. Alguns formats més estesos són MP3, AAC, OGG i Opus.
- **Reproductor:** Els clients escoltaran l'emissió a través d'un *software* d'escriptori (e.g. foobar2000, Winamp) o bé des d'una web (e.g. TuneIn, Ivoox).

Hi ha servidors (e.g. Liquidsoap, AzuraCast) que reben un flux d'entrada d'alta qualitat i generen diverses codificacions per tal de maximitzar la compatibilitat entre dispositius i amples de banda. Si no comptem amb aquesta eina, cal decidir un format i taxa de bits mitjà que permeti als oients escoltar l'emissora sense interrupcions i amb qualitat suficient.

Pràcticament tots els dispositius són compatibles amb MP3 per motius històrics, i actualment també el format AAC, que des de l'aparició dels iPod intenta substituir l'MP3 amb millors taxes de compressió i menys pèrdua de qualitat. Una prova empírica demostra que AAC a 128 kbps té una qualitat molt similar a un MP3 a 192 kbps.

En cas que es tracti d'un programa de ràdio amb contingut de vídeo, es pot realitzar un streaming a través de plataformes com *YouTube* o *Twitch*, que a més ofereixen mecàniques per fomentar la participació de l'audiència a temps real.

2.2.8.4 Podcast

L'origen de la paraula *Podcast* és la combinació de «iPod» i «*broadcast*». La distribució d'aquests continguts es realitza publicant-los a un servidor web i utilitzant la sindicació RSS, un format basat en XML pensat per difondre entrades de blogs, titulars de notícies, episodis d'àudio i vídeo. Una entrada RSS inclou l'enllaç al mèdia i un conjunt de metadades que acompanyen el contingut (p.e. títol, descripció, autors, data i hora de publicació, copyright o imatge de portada).

També, conegut com a àudio o vídeo sota demanda, permet escoltar un capítol d'un programa de ràdio a conveniència de l'usuari, on sigui i quan sigui. Tot i que és possible contractar un servei de *hosting* a Internet, pujar-hi els programes i crear una sindicació RSS, existeixen diverses plataformes de *podcasting* que agrupen tot tipus de continguts d'àudio. Aquestes plataformes són a l'hora xarxes socials i és més fàcil donar a conèixer un podcast. Algunes són *SoundCloud*, *Ivoox*, *Spotify*, *Google Podcasts*, *Apple Podcasts* i *TuneIn*.

Algunes plataformes de *podcasting* no permeten la pujada d'àudios al seu servidor i només difonen els continguts d'una sindicació RSS (p.e. *Google Podcasts*, *Spotify*, *TuneIn*). Les plataformes que sí que permeten pujada d'arxius solen aplicar restriccions i limitacions en la qualitat dels àudios publicats en cas que s'utilitzi la versió gratuïta (p.e. *Ivoox*, *Soundcloud*).

En cas que es tracti d'un programa de ràdio amb contingut de vídeo, és possible publicar-lo a plataformes de vídeo sota demanda com *YouTube* o *Vimeo*.

3. Metodologia

Planificar una instal·lació és un procés que ha de tenir en compte molts factors, per assegurar que s'ajusta a les necessitats del client (Gary Kline, 2019).

Tant si es tracta d'una nova instal·lació com si és una renovació, és necessari escoltar a l'equip humà que farà ús dels nous estudis. El *feedback* que obtinguem serà útil per prendre decisions sobre quins equips incorporar, quines necessitats hi ha, què ha de ser més accessible o còmode, com de polivalent ha de ser la instal·lació, etc.

És vital generar una documentació pel correcte desenvolupament del projecte, i que l'equip humà involucrat en la instal·lació i operació la conegui i sigui possible incorporar requeriments crítics durant la fase de disseny. En cas que l'arquitectura dels nous estudis estigui per definir, aquests requeriments s'han de traspassar a l'arquitecte. Un disseny adequat pot facilitar la instal·lació de cablatge entre sales, o bé comptar amb un bon accés a la teulada per instal·lar antenes de transmissió o recepció de senyal.

El funcionament dels equips i la col·locació del mobiliari ha d'afavorir l'experiència d'usuari. S'ha de separar els equips que necessiten interacció física dels que es poden controlar remotament, i col·locar-los a una distància apropiada per l'operador. Algunes característiques que cal estar al cas són l'alçada de col·locació de pantalles, els tipus de braç de micròfon, la il·luminació, l'ergonomia, una vista correcta entre control i locutori, les finestres, l'espai de treball, les taules de control, les alçades de taules i cadires i les dimensions de les sales de treball.

La planificació ha de tenir en compte un possible creixement o expansió de les instal·lacions, o la incorporació de nous equips. Per tant serà convenient preveure canals lliures i línies preparades per la connexió d'equips puntuals.

Un cop llistats els equips necessaris caldrà anotar totes les entrades i sortides físiques per reflectir-ho en una base de dades i en un plànol de connexions. Cada connexió que ens interressi se li assignarà un cable amb una identificació que permetrà localitzar els dos extrems d'un cable ràpidament enmig d'un número considerable de senyals.

El sistema de numeració s'estableix a l'hora de planificar la instal·lació. Alguns exemples són:

- Si els cables són pocs es poden numerar amb tres dígits: **000** a **999**.
- Es pot incloure un caràcter que identifiqui el tipus de senyal. En el cas d'àudio analògic: **AA000** a **AA999**.
- Si està previst realitzar instal·lacions contínuament es pot incloure l'any d'instal·lació a la numeració, i si s'escau reiniciar el comptador: **22AA0000** a **22AA9999**.
- Es pot incloure caràcters que identifiquin sala d'origen i sala destí del senyal. Àudio analògic de control a locutori: **CLAA0000** a **CLAA9999**.
- La numeració pot fer referència a un punt de *patch*. Senyal d'àudio analògic connectat al *patch* panel 2 al port B5 amb origen i destí a la sala de *racks*: **AA02B05RR**.

La instal·lació i distribució del cablatge ha de ser ordenada, numerada i separada segons el tipus de senyal que es transmeti. No només a la sala de *racks*, sinó a tota la instal·lació de l'edifici.

4. Solucions proposades

Al mercat trobem productes de gamma mitjana que ens permet realitzar la integració del projecte amb un cost més reduït que les alternatives categoritzades com a *broadcast* professional.

4.1 Proposta relativa al mesclador d'àudio

Degut a l'elevat cost de les solucions de ràdio professionals, s'optarà per utilitzar una Behringer X32. Les característiques de connectivitat IP permeten controlar remotament la taula a través del protocol OSC (Open Sound Control). La taula porta incorporat un micròfon per ser utilitzat com a *talkback* i poder-se comunicar amb els locutors.

Característica	Descripció
Número d'entrades d'àudio analògic	32 XLR + 6 TRS
Número de sortides d'àudio analògic	16 XLR + 6 TRS
Sortides de monitoratge (<i>Control Room</i>)	Sí, 2 XLR i 2 TRS
Ports AES50	2 ports
Entrada AES/EBU	Cap
Sortida AES/EBU	1 XLR
MIDI	1 entrada i 1 sortida
Control per Ethernet	Sí
Control per USB	Sí
USB per àudio	32 canals d'entrada + 32 canals de sortida

Taula 3: Resum de característiques de la taula Behringer X32

Per tal d'obtenir una mesura fiable del volum d'àudio de sortida, utilitzarem un TC Electronic Clarity M Stereo connectat a la sortida digital AES/EBU de la taula X32. El Clarity M Stereo permet mesurar el *loudness* del programa seguint les recomanacions broadcast ITU BS.1770-4, ATSC A/85, EBU R128, TR-B32 i OP-59. Clarity M Stereo també compta amb una vista RTA (Real Time Analyzer), un vectoscopi, mesura de correlació estèreo i mesura de desviació mono.

Tot i que la distribució d'àudio serà analògica, per donar la possibilitat de poder realitzar una gravació multipista digital utilitzarem una interfície Klark Teknik DN9630. La interfície es connectarà a un port AES50 de la X32 i a través d'un cable UTP transportarà àudio digital fins al PC de Control. Aquest equip ofereix 50 canals d'entrada i 50 canals de sortida simultanis. Degut a que funciona sobre *drivers* ASIO no és compatible amb els *drivers* nadius MME de Windows, per tant no la podrem utilitzar com a interfície d'àudio estàndard, sinó només amb un programari multipista DAW (*Digital Audio Workstation*).

4.2 Proposta relativa al sistema de continuïtat

El sistema de continuïtat estarà format per un ordinador muntat en un xassís de 3RU (Rack Units) (veure 4.10.1). Està previst un funcionament continuat de 24/7. Aquest ordinador s'operarà des de la sala de control mitjançant un extensor KVM a través de cable UTP.

L'ordinador comptarà amb una targeta de so USB Behringer UMC202HD, que ofereix una sortida estèreo i una entrada estèreo, ambdues d'àudio analògic balancejat.

Per la reproducció de música, programes i commutacions automàtiques de matriu es farà servir el programa gratuït ZaraRadio. També s'instal·larà un programari de control remot a través d'Internet per operar el sistema a distància si les circumstàncies ho requereixen. L'ordinador de continuïtat també realitzarà la funció de streaming i còpia legal amb el programari de codi obert BUTT (Broadcast Using This Tool).

ZaraRadio no té control sobre matrius d'àudio i dispositius de tercers, però sí que ofereix la possibilitat d'executar programari o *scripts* en instants concrets. Farem ús d'un *script* de Python per controlar la matriu a través del protocol RS-232 (veure 5.1).

4.3 Proposta relativa al sistema de senyalització

4.3.1 Rellotge

Es preveu implementar sobre una Raspberry Pi 4B i utilitzant Python un rellotge digital que es mostrarà a través de dos televisors de 24 polzades, ubicats a control i locutori a la part central superior del vidre que separarà les dues sales. La Raspberry Pi s'ubicarà a la sala de *racks* i s'enviarà senyal cap als dos televisors amb un cable HDMI i un distribuïdor HDMI d'una entrada a dos sortides.

Es generarà un àudio que contindrà els senyals horaris i es reproduirà 5 segons abans de cada hora i cada mitja hora. Per obtenir una senyal d'àudio balancejada de la Raspberry Pi es farà ús d'una targeta de so USB Behringer UMC202HD.

La Raspberry Pi estarà sincronitzada pel protocol NTP cap al servidor més proper, com per exemple el servidor públic `es.poo1.ntp.org`.

4.3.2 Panells de locutors

Els panells de locutors han de permetre connectar-hi un micròfon, connectar-hi els auriculars del locutor i regular-los, desactivar el micròfon i parlar amb el tècnic per via interna.

Es proposa la creació d'un panell de 15x8cm sobre una base inclinada. La base del panell es generaria amb una impressora 3D, el panell serà una placa fina d'alumini. A la placa s'hi encastaria un connector XLR femella, un connector TRS femella, un potenciómetre i dos botons retroil·luminats:

- El botó *mute* o botó de la tos, que activarà el *mute* del seu canal corresponent, anul·lant-ne la sortida cap al màster.
- El botó *talk* que, a més d'activar el *mute* del seu canal, activarà el *solo* permetent la pre-escolta del micròfon a través de la sortida Control Room. També existeix la possibilitat d'encaminar l'àudio *pre-fader* cap a una sortida auxiliar lliure de la taula, i connectar-hi un altaveu dedicat a escoltar ordres.

En els dos casos les accions dels botons s'executaran mentre el locutor premi el botó. A l'instant en que s'alliberi, el canal tornarà al seu estat normal.

La comunicació entre els botons i la taula de so X32 es farà mitjançant una placa de desenvolupament ESP8266 connectada a un punt d'accés *WiFi* i que modificarà l'estat de la taula X32 mitjançant el protocol OSC.

4.3.3 Senyalització *On Air*

La senyalització *On Air* s'instal·larà fora de la sala de control i locutori, i servirà com a advertència que com a mínim un dels micròfons de l'estudi està encès, i per tant s'està realitzant una emissió en directe o una gravació.

Per complir el nostre propòsit es farà ús d'un panell d'imitació amb finalitat decorativa amb il·luminació LED i alimentada amb una tensió de 5V. Per activar i desactivar la il·luminació del panell s'utilitzarà una placa de desenvolupament ESP8266 connectada a un punt d'accés *WiFi* i que llegirà l'estat de la taula X32 mitjançant el protocol OSC.

4.4 Proposta relativa a la realització audiovisual

Per incorporar vídeo a les emissions i gravacions de ràdio, es proposa un conjunt d'equips de vídeo d'alta definició compactes i versàtils.

4.4.1 Càmeres

Per cobrir tota la zona del locutori es proposa tres càmeres PTZ Minrray UV510 amb sortida SDI, HDMI i NDI. La posició, el zoom i les característiques d'imatge es poden controlar a través d'IP amb un navegador o bé amb un panell de control dedicat. El panell que es proposa és el Minrray KBD2000.

Per la zona del control es proposa una càmera fixa Marshall CV506. Compta amb sortides HDMI i SDI. La lent inclosa amb la càmera és de tipus gran angular que ofereix un camp de visió de 85°. Es poden controlar les característiques d'imatge a través de RS485 o des del *joystick* incorporat. Aquesta càmera servirà per captar al tècnic del programa en cas que hi tingui participació o s'estigui realitzant un programa en *selfcontrol*. Totes les càmeres s'instal·laran amb un suport de paret sense envair cap zona de treball.

4.4.2 Mesclador de vídeo

Es proposa un mesclador Blackmagic ATEM 2 M/E Constellation de 20 entrades i 12 sortides, i una matriu de vídeo Blackmagic Smart Videohub 20x20. Per la gravació s'utilitzarà un Blackmagic Hyperdeck Studio HD Pro.

S'instal·larà una pantalla amb entrada HDMI dedicada a veure la senyal *multiview* del mesclador. La intenció de la matriu és estalviar un *patch panel* de vídeo i concentrar-hi totes les senyals necessàries. Algunes senyals d'entrada a la matriu seran les quatre càmeres, la segona pantalla del PC de videoconferència, sortides del mesclador i *tie-lines*. Pel que fa a les sortides de la matriu, s'envien a les entrades del mesclador, a l'entrada del PC de videoconferència, al gravador i a les *tie-lines*.

4.4.3 Ordinador

L'ordinador dedicat al sistema de realització estarà orientat principalment a les videotrucades, on s'estendrà la participació de convidats al programa de forma híbrida.

També tindrà la possibilitat de controlar i configurar les càmeres, el mesclador, la reproducció de continguts de vídeo i àudio i la generació de grafismes sobreimpressos a la pantalla.

Per rebre el senyal de programa del mesclador, s'instal·larà una targeta de vídeo SDI. En el cas de l'àudio, s'hi connectarà una targeta de so USB Behringer UMC1820 que oferirà múltiples entrades i sortides d'àudio:

- Per oferir un retorn de programa als participants per videotrucada, es farà ús de dues sortides de la taula X32 en mode *mix minus* o N-1 i es connectarà a la targeta de so USB.
- Per tal de transmetre per streaming o realitzar una gravació del programa amb vídeo, serà necessari entrar senyal d'àudio. Aquest senyal pot ser la sortida màster de la taula X32, o bé un senyal encaminat des de la matriu.
- Per poder mesclar l'àudio de la videotrucada amb la resta de participants, es dedicarà dues sortides de la targeta de so cap a la taula.
- Per poder mesclar l'àudio d'altres continguts audiovisuals reproduïts des de l'ordinador es farà ús d'unes altres dues sortides de la targeta de so, separada de les sortides de videotrucada.

Per complementar la realització i oferir senyal de tornada als participants de la videotrucada es farà us del paquet NDI Tools i el software OBS (Open Broadcaster Studio). Els components d'aquest ordinador són els descrits al punt 4.10.1, afegint una targeta gràfica dedicada i una targeta de vídeo SDI.

4.5 Proposta relativa a l'emissió

El procés multibanda del so és realitzarà informàticament amb el *software* gratuït Sonos 4. Amb funcionalitats similars als processadors de *hardware*, Sonos 4 és compatible amb *drivers* ASIO de baixa latència.

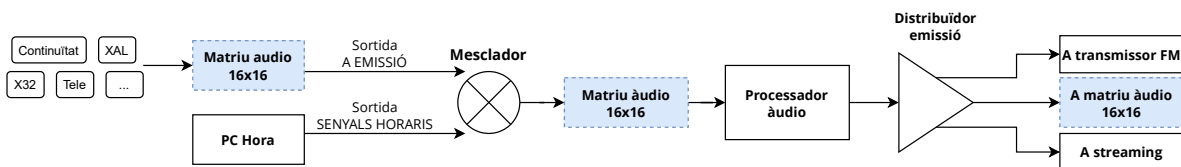


Figura 3: Esquema de blocs de la cadena d'emissió

Es farà us d'una targeta de so USB Behringer UMC202HD amb dues entrades i dues sortides per processar el senyal encaminat cap a l'emissió.

Per a la transmissió FM, codificació estèreo i incrustació de les dades RDS es proposa un transmissor TK Broadcast Axon de 100W amb la finalitat d'actualitzar l'equip existent de la mateixa potència. Conjuntament amb aquest equip, per recomanació del fabricant del transmissor s'incorpora una antena dipol, cable RG 213 A/U i connectors tipus N.

4.6 Proposta relativa a la distribució de senyals

Com a interfície d'entrada i sortida de tots els equips, es proposa fer ús de 3 *patch panels* d'àudio de connexió Bantam:

- **PPA 1:** S'hi concentraran pràcticament totes les entrades (32) i sortides (16) de la taula X32. Les entrades de la taula s'enfrontaran amb micròfons, ordinadors, línies de matriu i híbrid telefònic. De la mateixa manera, les sortides s'enfrontaran amb equips com monitors i distribuïdors d'auriculars.
- **PPA 2:** S'hi concentraran totes les entrades a matriu (32) i les entrades auxiliars de la taula X32 (6). Les entrades s'enfrontaran amb equips que ofereixen senyal i que cal ser distribuïda com còdecs IP, continuïtat i línies de la taula X32.
- **PPA 3:** S'hi concentraran totes les sortides de matriu (32) i les sortides auxiliars de la taula X32 (6). Les sortides s'enfrontaran amb equips que han de rebre senyal distribuïda com l'entrada cap a emissió, els enviaments al còdec IP o línies cap a la taula X32.

Per tal de distribuir senyals i realitzar commutacions automàticament es farà ús d'una matriu Kramer VS-1616A de 32 entrades i 32 sortides, que agrupades en parells estèreo resulten en 16 línies d'entrada i 16 línies de sortida. La matriu es pot controlar a través del panell frontal o bé a distància a través de RS-232, RS422 o tancaments de contacte.

A la sortida de matriu destinada a emissió s'hi sumarà els senyals horaris amb un combinador passiu estèreo, i seguidament la sortida del combinador es tornarà a enviar a matriu. Aquest senyal s'utilitzarà per monitorar i confirmar que l'àudio és correcte, i per distribuir-la al processador multibanda.

La sortida del processador multibanda processada s'enviarà a un distribuïdor de *rack* d'una entrada estèreo a tres sortides estèreo, i de les sortides del distribuïdor s'enviarà a l'emissor FM, al PC de continuïtat per realitzar l'*streaming* i la còpia legal, i a matriu per tornar a distribuir i monitorar.

S'utilitzarà un *splitter* passiu per controlar el senyal que s'envia al còdec IP de la Xarxa Audiovisual Local, degut a que el dispositiu AEQ Phoenix Venus no ofereix cap picòmetre ni sistema per monitorar l'entrada de senyal. Les sortides de matriu destinades al còdec IP passaran primer per l'*splitter* i es distribuïran a entrades de matriu i a les pròpies entrades del còdec.

Per poder controlar en tot moment l'emissió a Streaming i FM es comptarà amb dos receptors Sirius MP2. Un d'ells rebrà el senyal d'*streaming* i l'altre estarà permanentment sintonitzat amb la ràdio FM. Per escoltar aquests dos dispositius es podrà fer a través de la matriu.

4.7 Proposta relativa al servidor d'arxius i IP

Per tal d'emmagatzemar i compartir arxius d'àudio i recursos a través de la xarxa local, es proposa utilitzar un servidor NAS QNAP TS-431 de 4 ranures i connectivitat USB i Ethernet. El NAS comptaria amb 4 discos durs de 8TB, que en una configuració RAID 10 s'obtidrien 16TB útils.

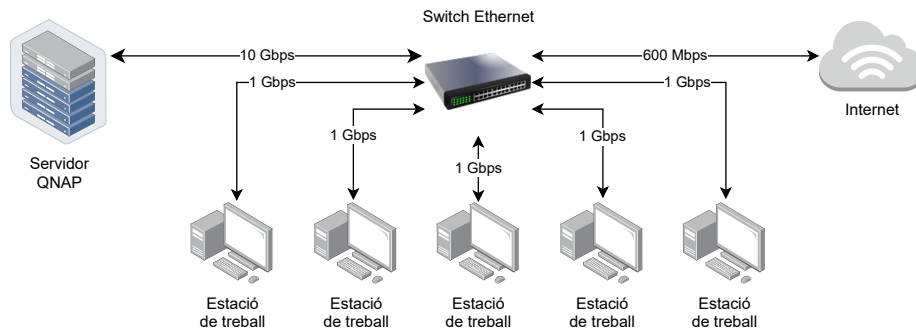


Figura 4: Interconnexió entre servidor i estacions de treball

Per interconnectar tots els equips Ethernet s'utilitzaria un *switch* gestionable D-Link DGS-1510-52X de 48 ports RJ45 i 4 ports SFP+. Per oferir connectivitat sense fils *WiFi* s'utilitzarà un punt d'accés Ubiquiti Unifi nanoHD.

S'opta per no utilitzar un MAM ja que les dimensions dels estudis i la càrrega de continguts multimèdia no ho fa necessari. Per tant es planteja una estructura de volums i carpetes que facilitarà l'organització. Es crearan 5 volums al servidor: 01_PROGRAMES, 02_CONTINUITAT, 03_ARXIU, 04_LEGALREC i 05_DOCS.

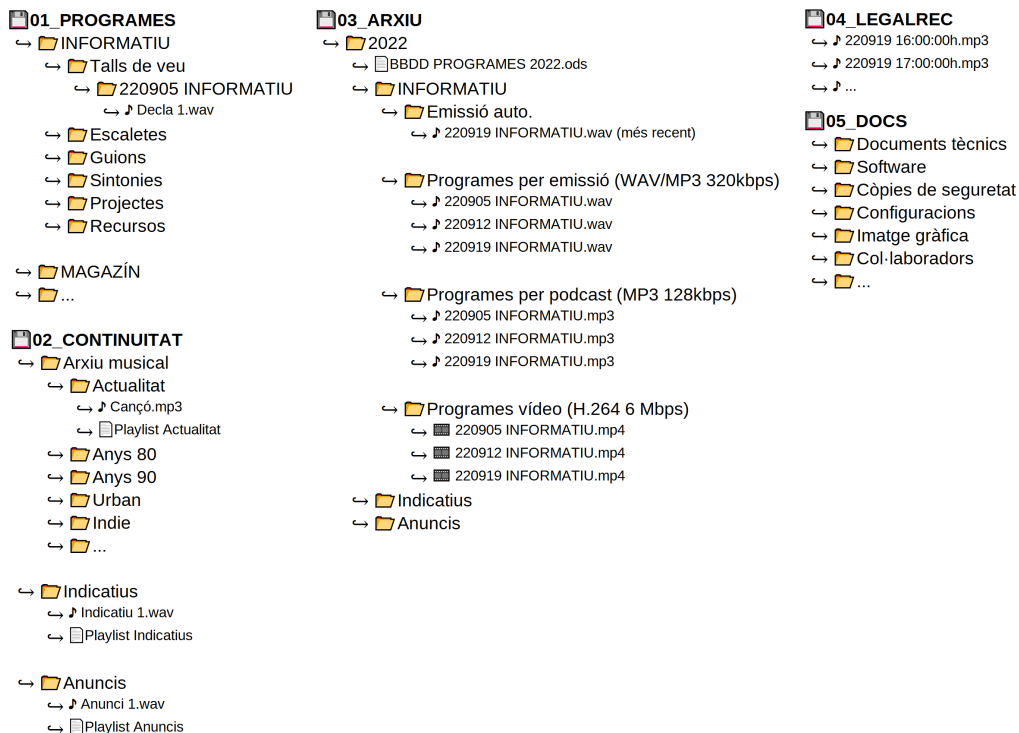


Figura 5: Estructura de carpetes de treball al servidor

El volum 01_PROGRAMES contindrà tots els elements que s'utilitzaran durant l'emissió del programa com talls de veu, sintonies o efectes de so. També contindrà els projectes de programes d'edició d'àudio, els guions, escaletes i llistes de reproducció.

El volum 02_CONTINUITAT contindrà tots els arxius d'àudio vigents que hauran de sonar a l'emissió, tals com la rotació musical, els indicatius, els anuncis i totes les llistes de reproducció necessàries. Aquesta carpeta estarà sincronitzada en local a l'ordinador de continuïtat, de manera que si es produeix un tall a la connexió del servidor la continuïtat seguirà sonant perquè no perdrà els arxius.

El volum 03_ARXIU contindrà tots els programes acabats, preparats per emetre, tant de vídeo com d'àudio. També s'arxivaran tots els indicatius i anuncis, ja que a la carpeta de continuïtat només hi hauran els que estiguin vigents.

El volum 04_LEGALREC contindrà els últims sis mesos de gravacions en mp3. A una taxa de bits de 128 kbps, els sis mesos ocuparan 250 GB.

Finalment, el volum 05_DOCS contindrà documents, programari, còpies de seguretat, carpetes de col·laboradors i altres recursos útils que sigui necessari arxivar.

Al volum 03_ARXIU, dins de la carpeta de cada any, hi haurà un full de càlcul que servirà com a base de dades per indexar els continguts generats durant l'any. Els camps que es guardaran són:

- Programa
- Número d'episodi (número incremental des del primer programa)
- Data d'emissió
- Data de gravació (igual que data d'emissió si és directe)
- Contingut (pot ser un copia-enganxa del guió)
- Noms dels participants
- Nom de l'arxiu d'emissió
- Enllaç podcast

4.8 Proposta relativa a la sala de control

La sala de control, a més d'estar composta per la taula de so i el sistema de senyalització, s'hi integrarà un llistat d'equips que permetran dur a terme la producció radiofònica, i s'habilitarà per ser utilitzat per dos operadors.

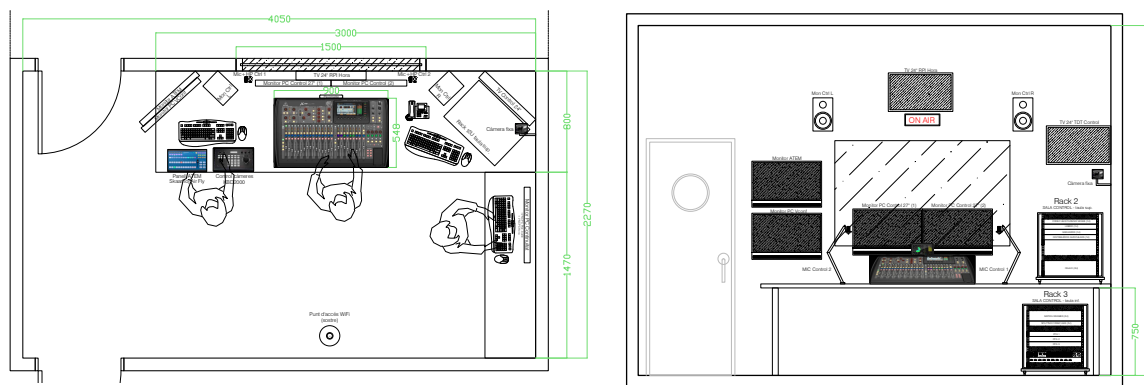


Figura 6: Disseny CAD de la sala de control, vista de planta (esquerra) i vista frontal (dreta)

En cas d'un programa *selfcontrol* es proposa dos micròfons Audio-Technica AT2020 de condensador i patró polar cardioide, acompanyats de dos braços per mantenir els micròfons en suspensió. També es farà ús de dos parells d'auriculars AKG K-240. Per monitorar la senyal de sortida de la taula i la resta de senyals de matriu s'utilitzarà dos monitors auto amplificats Yamaha HS 5 amb entrades XLR i TRS. S'utilitzarà un suport de paret per elevar-los.

Per poder entrar trucades de telèfon convencional a taula, s'utilitzarà un híbrid telefònic D&R Hybrid-1, amb una entrada TRS per enviar-hi la senyal N-1 i una sortida TRS per entrar a la taula de so. Per integrar-se amb la línia telefònica utilitza dues connexions RJ11, una per connectar a la línia telefònica i l'altra per connectar-hi un telèfon per atendre les trucades. Per a la gravació del programa, a més d'utilitzar el propi ordinador de control, es farà ús d'un gravador físic Denon DN-300R que permet emmagatzemar àudio en targeta SD i memòria USB de manera simultània.

L'ordinador de control estarà ubicat a la sala de *racks*, i s'operarà des del control a través d'un extensor KVM. La interfície d'àudio USB Behringer UMC1820 de format 1RU s'utilitzarà per treure dos parells estèreo cap a la taula de so, i entrar-hi un parell estèreo per realitzar gravacions. L'ordinador tindrà les mateixes característiques descrites al punt 4.10.1.

Per concentrar els equips tipus *rack* que han de residir a la sala de control, es farà ús de dos *racks* de 12RU, un es col·locarà sota la taula i agruparà tots els equips que contindran senyals d'àudio però que no s'han d'operar normalment com els *patch panels* d'àudio, panell de *tie-lines* de control, l'*splitter* pel còdec AEQ Phoenix Venus i la matriu Kramer. L'altre *rack* es col·locarà sobre la taula a l'abast de l'operador, i agruparà el còdec IP AEQ Phoenix Venus, l'híbrid, el gravador i el distribuïdor d'auriculars del locutori.

4.9 Proposta relativa al locutori

El locutori tindrà espai suficient com per instal·lar-hi una taula de 3,4 per 1,5 metres i sis posicions de locutors. S'instal·larà una pantalla i teclat que ho operarà el locutor principal o el productor, col·locat a l'extrem de la taula.

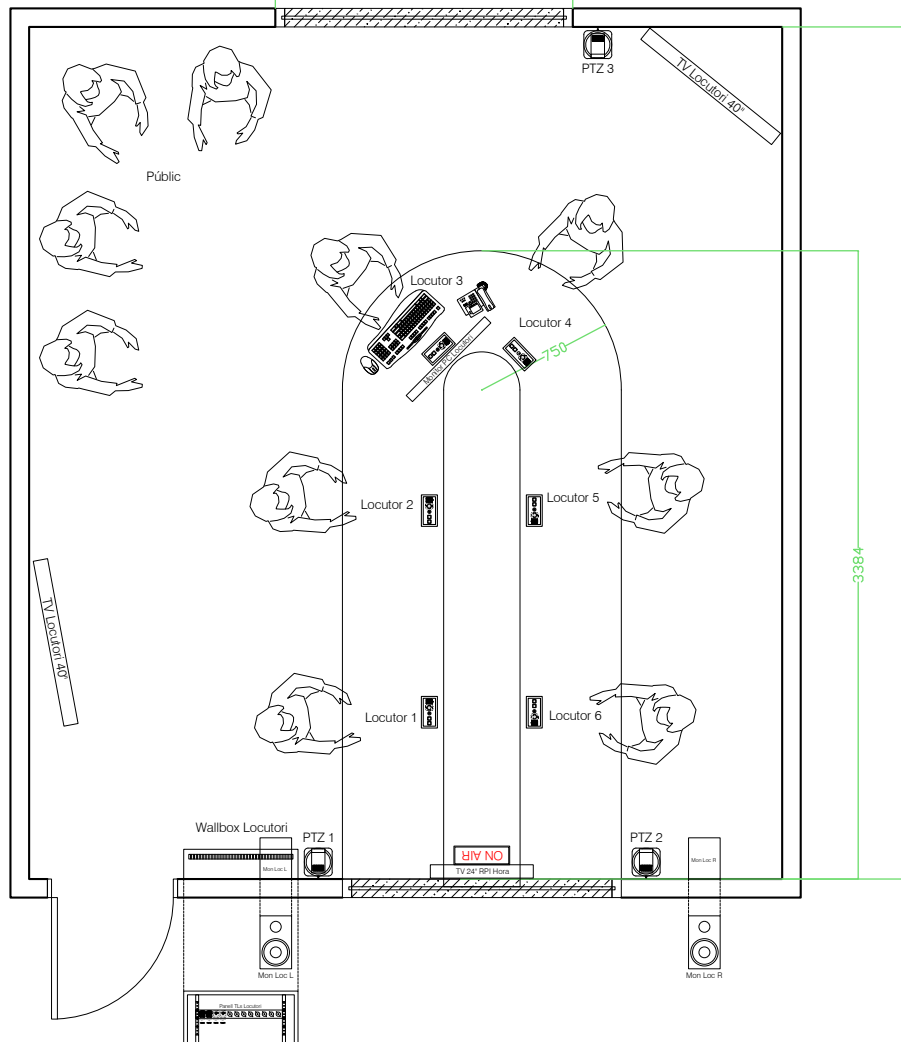


Figura 7: Disseny CAD del locutori, vista de planta

Dins d'aquesta sala s'hi instal·laran les tres càmeres PTZ, dues televisions de 40 polzades, dos monitors d'àudio de retorn i un caixetí amb *tie-lines*. Les sis posicions de locutor comptaran amb un panell que permetrà connectar-hi el micròfon, els auriculars, regular el nivell dels auriculars i interactuar remotament amb la taula.

4.10 Proposta relativa a la sala de *racks*

La sala de *racks* comptarà amb un *rack* de 47 unitats on s'hi concentraran tots els equips que generin calor i soroll. La part superior es reserva a aparells amb prioritat de funcionament, com la infraestructura de transmissió FM, la xarxa Ethernet, el servidor d'arxius i l'ordinador de continuïtat. Tots els ordinadors instal·lats al *rack* es controlaran remotament, bé a través d'un extensor KVM o per software utilitzant un client VNC.

Els aparells de vídeo també s'instal·laran a aquest *rack*, com el mesclador, la matriu 20x20 i el gravador. Des d'aquesta sala sortirà i vindrà tot el cablat de vídeo de la instal·lació.

A la part inferior es reservaran dues unitats per instal·lar un SAI per tal d'actuar com a reserva d'alimentació en cas de fallada elèctrica. El consum calculat de tota la instal·lació d'àudio i vídeo és aproximadament 3,7 kW. Escollim un model de Salicru apte per 4 kW.

Item	Consum unitari (W)	Unitats	Consum (W)
PC tipus <i>rack</i>	500	4	2000
Monitors informàtics HP	32	6	192
PC Locutori tipus NUC	150	1	150
Televisor 40 polzades	80	2	160
Monitors àudio Yamaha HS 5	80	4	320
Distribuïdor auriculars Behringer	35	1	35
Gravador Denon	35	1	35
Televisor 24 polzades	60	3	180
Servidor QNAP	90	1	90
Switch D-Link	40	1	40
Punt d'accés WiFi Ubiquiti	10	1	10
Matriu àudio 16x16	23	1	23
Distribuïdor senyal emissió LD Systems	15	1	15
Reproductor FM i Streaming Sirius MP2	20	2	40
Transmissor FM	100	1	100
Càmera PTZ Minrray	12	3	36
Panell control PTZ	6	1	6
Càmera fixa Marshall	3	1	3
Conversor SDI to HDMI Blackmagic	1,6	3	5
Mesclador de vídeo ATEM 2 M/E Constellation	52	1	52
Matriu SDI Blackmagic Smart Videohub 20x20	34	1	34
Raspberry Pi 4B	15	1	15
Behringer X32	120	1	120
Picòmetre tc electronic	6	1	6
Consum total:			3667 Watts

Taula 4: Potència total dels equips electrònics de la instal·lació

4.10.1 Ordinador amb xassís rack

Es proposa el muntatge d'un ordinador adequat per a la reproducció i gravació d'àudio, sense necessitat d'una alta capacitat de processat d'imatge. Amb aquesta plantilla es crearan 4 ordinadors: PC Continuïtat, PC Processador àudio, PC Control i PC videoconferència/realització. Aquest últim ordinador sí que comptarà excepcionalment amb una targeta gràfica dedicada i una targeta de vídeo SDI.

Processador	Intel Core i5 2.6 GHz
Placa base	Gigabyte B560M DS3H V2
Memòria RAM	Kingston FURY Beast 8GB
Disc dur principal	SSD 480 GB
Font d'alimentació	NOX Urano 500W
Xassís	Rack 3U Rackmatic
Sistema Operatiu	Windows 10 Pro

Taula 5: Característiques dels ordinadors amb xassís rack

5. Desenvolupament

A continuació es descriuen totes les solucions proposades per controlar els diferents equips electrònics de la instal·lació. Tot el codi font dels programes es pot trobar al document d'annexos.

5.1 Control de matriu Kramer VS-1616A

La matriu Kramer VS-1616A disposa de 16 entrades i 16 sortides d'àudio estèreo balancejat. La commutació d'àudio és neta, característica que permet col·locar-lo prop de final de cadena d'emissió.

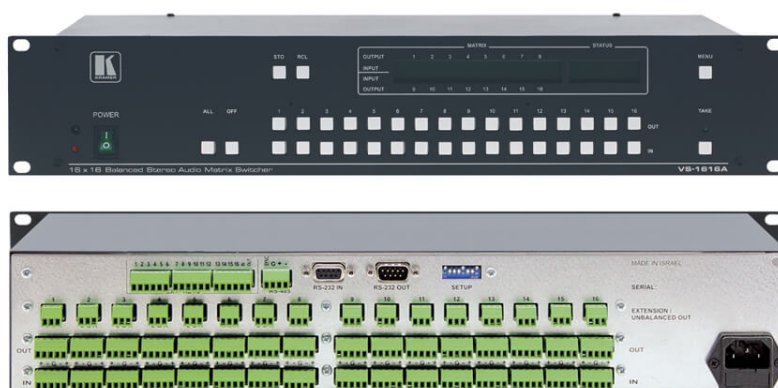


Figura 8: Part frontal i posterior de la matriu Kramer VS-1616A

A la part posterior trobem un port RS-232 IN per on podem interactuar amb la matriu i realitzar commutacions des d'un ordinador. El protocol que utilitza Kramer per la comunicació sèrie és el «Protocol 2000». A la seva pàgina web kramerav.com podem trobar informació de com implementar-lo. Aquí es proposa un *script* de Python que ens permetrà controlar-ho.

La comunicació sèrie es realitza a una velocitat de 9600 bauds, sense paritat, 8 bits de dades i un bit stop. Per enviar les commutacions es fa servir una paraula de 4 bytes:

Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4
Número de matriu	Número de canal d'entrada o origen	Número de canal de sortida o destí	Instrucció a realitzar
<i>Per defecte: 0x01</i>	<i>De 0x81 a 0x90</i>	<i>De 0x81 a 0x90</i>	<i>Per defecte: 0x81 (Enviar entrada a sortida)</i>

Taula 6: Descripció dels 4 bytes per controlar la matriu Kramer

A la taula següent es mostra un exemple de com es construiria la paraula per realitzar les commutacions (els valors són hexadecimals, ometem el prefix '0x' per més simplicitat):

	OUT 1	OUT 2	OUT 3	OUT 4	OUT 5	OUT 6	OUT 7	OUT 8	OUT 9	OUT 10	OUT 11	OUT 12	OUT 13	OUT 14	OUT 15	OUT 16
IN 1	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F	90
	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
IN 2	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F	90
	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
...	
IN 16	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F	90
	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81

Taula 7: Paraules per commutar les entrades i sortides de la matriu Kramer

Per convertir els números d'entrada i sortida del rang decimal 1-16 al rang hexadecimal 0x81-0x90 escrivim la funció següent:

```

1 def routingDec2Hex(num):
2     assert num in range(1,17)
3     return bytes([num + 128])

```

L'assert s'encarrega de comprovar si el número que es passa a la funció està dins del rang 1-16, sinó provoca un `AssertionError`.

La línia del `return` és la que realitza la conversió. Si agafem el valor `0x81` i el passem a decimal obtenim 129, i amb `0x90` obtenim 144. Observem que haurem de sumar 128 al valor d'entrada i després convertir-ho al tipus `bytes`.

Per construir la paraula utilitzarem una altra funció que utilitzarà l'anterior:

```

1 def paraula(_in, out):
2     return b'\x01' + \
3         routingDec2Hex(_in) + \
4         routingDec2Hex(out) + \
5         b'\x81'

```

El primer (`b'\x01'`) i el quart valor (`b'\x81'`) seran sempre iguals, per tant els podem escriure directament a la sortida. El segon i tercer valor els obtindrem amb la funció `routingDec2Hex(num)`. Com que els quatre elements són del tipus `bytes` i estan concatenats, Python dedueix que el valor de retorn de la funció també serà del tipus `bytes`.

El cos de l'aplicació requerirà importar els mòduls `argparse` i `serial`. El mòdul `argparse` permet cridar l'aplicació des de la línia de comandes i incloure arguments que s'utilitzaran durant l'execució:

```

1 parser = argparse.ArgumentParser(description="Commuta matriu Kramer \
2     VS-1616A per RS-232")
3
4 parser.add_argument('-p', '--port', metavar='P', type=str,
5     help="Port sèrie a la matriu (ex. COM3)", required=True)
6
7 parser.add_argument('-d', '--desti', metavar='D', type=int,
8     help="Canal destí", required=True)
9
10 parser.add_argument('-o', '--origen', metavar='O', type=int,
11     help="Canal origen", required=True)
12
13 args = parser.parse_args()
  
```

Si executem l'aplicació amb l'argument `-h` o `--help` obtenim:

```

~$ python3 matriu.py --help
usage: tmp.py [-h] -p P -d D -o O

Commuta matriu Kramer VS-1616A per RS-232

optional arguments:
  -h, --help            show this help message and exit
  -p P, --port P        Port sèrie a la matriu (ex. COM3)
  -d D, --desti D       Canal destí
  -o O, --origen O     Canal origen
  
```

La comunicació sèrie es realitza mitjançant el mòdul `serial`. La classe `Serial` s'inicialitza amb el port especificat a l'argument i el `baudrate` a 9600 bits per segon. L'ordre per enviar tota la paraula pel port sèrie és el mètode `write()`, que guarda el total de bytes enviats a la variable `nbytes`:

```

1 ser = serial.Serial(args.port, 9600)
2 cmd = paraula(args.origen, args.desti)
3 nbytes = ser.write(cmd)
4 ser.close()
  
```

Una commutació es realitzaria de la manera següent:

```

~$ python3 matriu.py -p COM3 -d 8 -o 3
Port: COM3
Baud rate: 9600
Destí: 8
Origen: 3
Bytes enviats: 4
Paraula:
b'\x01\x83\x88\x81'
  
```

Si faltés algun dels 3 arguments durant la crida, `argparse` llençaria un error com el següent:

```
~$ python3 matriu.py -p COM3 -o 3
usage: matriu.py [-h] -p P -d D -o O
matriu.py: error: the following arguments are required: -d/--desti
```

Per tal que l'aplicació s'executi correctament necessitarem tenir instal·lat el mòdul `pyserial`:

```
~$ pip3 install pyserial
```

Trobareu la implementació d'aquest *script* a l'annex 1.

5.2 Rellotge

Amb aquesta aplicació es busca un substitut als rellotges físics de paret utilitzats en l'àmbit del *broadcasting*. Aquests rellotges estan orientats a poder obtenir la hora amb precisió, utilitzant una notació, elements i colors molt vistosos que permeten conèixer l'hora actual amb només un cop d'ull.



Figura 9: Rellotge LEDI 7-60 de la marca Gorgy Timing

Els objectius que volem aconseguir són:

- Que sigui multiplataforma, que es pugui executar en sistemes GNU/Linux com Raspberry Pi.
- Que generi els tons *Greenwich Time Signal* o que permeti carregar un arxiu d'àudio ja creat. Que ho reproduïxi 5 segons abans de cada hora i cada mitja hora.
- Que sigui vistós, utilitzant el color vermell pels textos i el color negre pel fons.
- Que mostri la hora i la data en català.

5.2.1 Mòdul Bips.py

El mòdul `Bips` implementa la classe `Bips` que s'encarrega de generar els tons *Greenwich Time Signal*. Per defecte la classe buscarà l'arxiu `senyals.wav` a la carpeta. Si no el troba, el generarà amb l'ajuda de `numpy` i `soundfile`. Si troba un arxiu `senyals.wav` existent, el carregarà i el farà servir com a senyals horàries.

La classe té dos mètodes públics pensats per fer-se servir des de fora: `play()` i `plot()`. El mètode `play()` reproduïx els senyals de manera *non-blocking*, es a dir, l'aplicació principal seguirà funcionant i el fil no quedarà bloquejat per aquesta tasca. El mètode `plot()` utilitza el mòdul `matplotlib.pyplot` per mostrar la forma d'ona del senyal carregat.

El constructor de la classe `Bips` és el següent:

```

1 class Bips:
2     def __init__(self):
3         self.fs = None
4         self.t = None
5         self.x_estereo = None
6         self.filename = AUDIO_FILENAME
7         sd.default.latency = 'low'
8
9         # Carrega senyals.wav al iniciar, i si no existeix el crea.
10        self.__inicialitza()
11
12    def __inicialitza(self):
13        if os.path.exists(self.filename):
14            # L'arxiu existeix
15            self.__load()
16        else:
17            # L'arxiu no existeix. Crear-lo
18            self.__generaBips(44100)
19            self.__save()

```

El constructor prepara les variables per emmagatzemar la freqüència de mostreig (`self.fs`), els valors d'amplitud dels senyals horaris (`self.x_estereo`), l'*array* de temps per les representacions amb `matplotlib` (`self.t`) i el nom de l'arxiu a buscar o generar (`self.filename`) que serà una variable (`AUDIO_FILENAME`) dins d'un *script* separat `settings.py`.

La funció `__inicialitza()` primer comprova si existeix un arxiu amb el nom especificat a `self.filename`. Si existeix, crida la funció `__load()`:

```

1 def __load(self):
2     # self.x_estereo[:,0] és canal L
3     # self.x_estereo[:,1] és canal R
4
5     try:
6         _x, _fs = sf.read(self.filename)
7     except RuntimeError:
8         print("Format no admès.")
9
10    if len(_x.shape) == 1:
11        # Si l'arxiu és mono:
12        self.fs = _fs
13        self.x_estereo = np.column_stack((_x,_x))
14    elif _x.shape[1] == 2:
15        # Si l'arxiu és estèreo:
16        self.fs = _fs
17        self.x_estereo = _x
18    else:
19        raise Exception("L'arxiu no és mono ni stereo")
20
21    # Recrea array 't' per poder fer plots
22    dur = len(self.x_estereo)/self.fs
23    self.t = np.linspace(0, dur, np.int32(dur*self.fs))

```

Primer intentem llegir l'arxiu amb `soundfile`. Si `soundfile` troba alguna característica incompatible llençarà un `RuntimeError`. Si el format és l'adequat, procedim a comprovar si és mono o estèreo.

El mòdul `soundfile` volca tot l'arxiu d'àudio en un `array` de `numpy`. Els `arrays` de `numpy` poden contenir múltiples files i columnes, que des del punt de vista de l'àlgebra ho converteix en matrius, però dins de l'entorn de `numpy` segueixen sent `arrays`.

Les files de l'`array` seran les mostres d'amplitud d'àudio, i les columnes representaran els canals de l'arxiu d'àudio. El mètode `shape` d'un `array` de `numpy` retorna una tupla del format (files,columnes). Si l'`array` només té una columna, el valor columnes no existeix, i per tant la tupla contindrà només (files,).

`if len(_x.shape) == 1`: Si la longitud de la tupla és 1, vol dir que és un `array` d'una sola columna i per tant es tracta d'un arxiu mono. En aquest cas omplirem l'`array` `self.x_estereo` amb el mateix àudio duplicat en dues columnes.

`elif _x.shape[1] == 2`: Si no és mono, si el valor columnes de la tupla és igual a 2 voldrà dir que és un arxiu estèreo. En aquest cas el podem carregar a `self.x_estereo` tal com ve.

Finalment, a partir de la freqüència de mostreig i de la durada de l'àudio generarem un `array` `self.t` amb els valors de temps. Aquest `array` només l'utilitzarem per si volem representar la forma d'ona amb `matplotlib`.

En cas que a `__inicialitza()` no es detecti cap arxiu d'àudio existent, el generarà i el guardarà. Els tons *Greenwich Time Signal* són sis tons: els cinc primers son de durada 0,1 segon i el to final és de 0,5 segons.

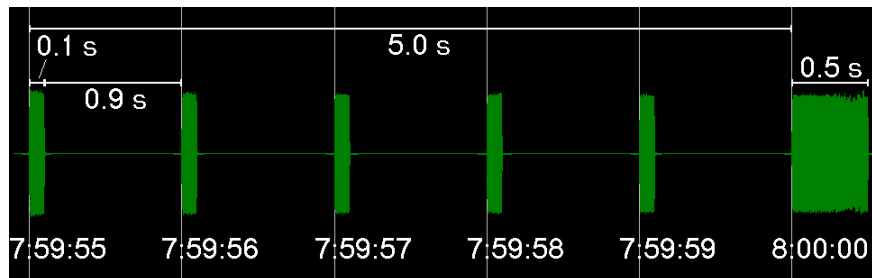


Figura 10: Tons del GTS. Imatge de Greenwich Time Signal a la Wikipedia

La funció que generarà els tons és `__generaBips()`, que rep per argument la freqüència de mostreig que es necessiti. Amb l'ajuda de `numpy` generem un `array` de 6 segons i l'omplim amb un to sinusoidal de $f = 1000 \text{ Hz}$.

Seguidament, per aconseguir el senyal de la figura 10 apliquem silencis posant els valors de l'`array x` a zero en els períodes de temps necessaris. Per acabar, reduïm l'amplitud a la meitat i ho guardem a l'`array self.x_estereo` duplicant el senyal en dues columnes.

El codi de la funció `__generaBips()` és el següent:

```

1 def __generaBips(self, _fs):
2     self.fs = _fs
3     dur = 6
4     f = 1000
5
6     # Inicialitzem array 't' de temps de 6 segons
7     self.t = np.linspace(0, dur, dur*self.fs, endpoint=False)
8
9     # Omplim un array 'x' de 6 segons amb un to sinusoidal
10    x = np.sin(f * 2 * np.pi * self.t)
11
12    # Apliquem silencis a l'array 'x'
13    x[np.int32(self.fs*1.1):self.fs*2] = 0
14    x[np.int32(self.fs*0.1):self.fs*1] = 0
15    x[np.int32(self.fs*2.1):self.fs*3] = 0
16    x[np.int32(self.fs*3.1):self.fs*4] = 0
17    x[np.int32(self.fs*4.1):self.fs*5] = 0
18    x[np.int32(self.fs*5.5):self.fs*6] = 0
19
20    # Reduïm l'amplitud d'àudio a la meitat
21    # (De 0dBFS a -6dBFS)
22    x = x * 0.5
23
24    # Creem un array d'àudio estereo
25    self.x_estereo = np.column_stack((x, x))
    
```

Si cridem el mètode `plot()` obtindrem la representació següent, prou fidel a la mostrada a la figura 7:

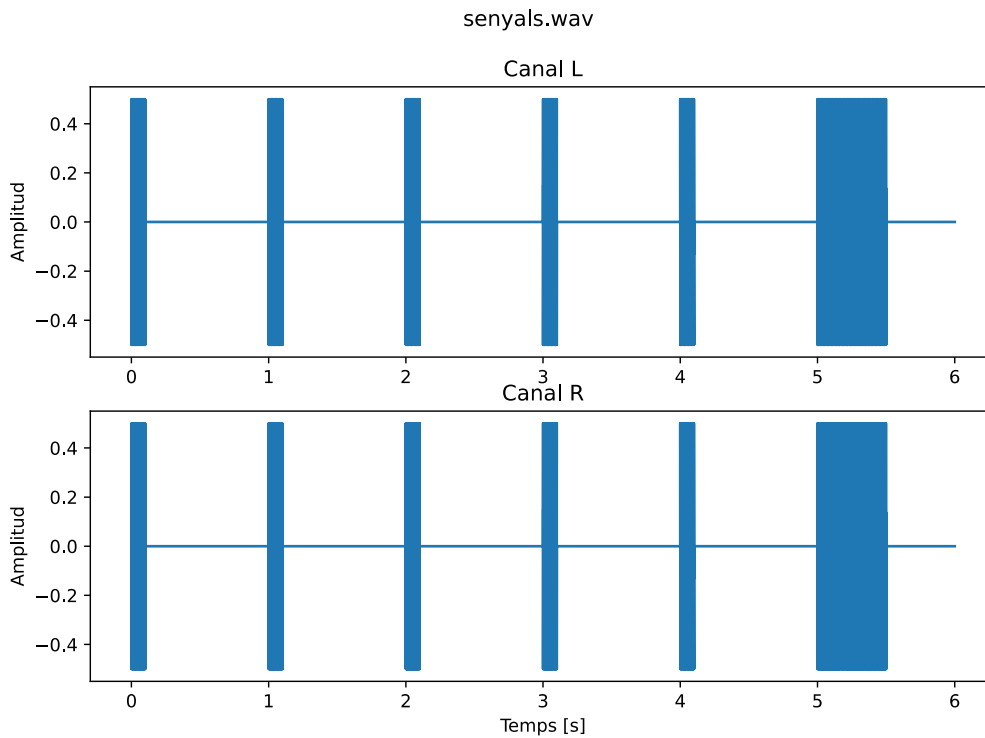


Figura 11: Forma d'ona del senyal generat per la funció `__generaBips()`

La funció `__inicialitza()`, després de fer la crida a `__generaBips()` cridarà a `__save()` que guardarà el senyal generat a un arxiu d'àudio PCM estèreo de 16 bits:

```

1 def __save(self):
2     with sf.SoundFile(self.filename, 'w', self.fs, 2, 'PCM_16') as fd:
3         fd.write(self.x_estereo)
  
```

Trobareu la implementació d'aquest *script* a l'annex 2.1.

5.2.2 Mòdul DataHora.py

El mòdul `DataHora.py` generarà els *strings* de data i hora que sol·licitarà la interfície gràfica per mostrar per pantalla, amb l'afegit que construirà les frases de la data i la hora actual en català.

Aquest mòdul fa un ús intensiu del mètode `.format` dels *strings* de Python sobre els objectes `DateTime` per extreure'n els diferents valors d'hora, minuts, segons, data, mes o any. La configuració regional del sistema pot afectar a l'idioma al retornar valors en format text, que per norma general serà en anglès.

Crida	Valor de retorn
<code>dh = datetime.now()</code>	<code>datetime.datetime(2022, 9, 17, 19, 15, 35, 208260)</code>
<code>"{:A}".format(dh)</code>	'Saturday'
<code>"{:B}".format(dh)</code>	'September'
<code>"{:Y}".format(dh)</code>	'2022'
<code>"{:m}".format(dh)</code>	'09'
<code>"{:d}".format(dh)</code>	'17'
<code>"{:H}".format(dh)</code>	'19'
<code>"{:M}".format(dh)</code>	'15'
<code>"{:S}".format(dh)</code>	'35'

Taula 8: Directives i valors de retorn de la funció `strftime()`

El constructor de la classe `DataHora` és el següent:

```

1 class DataHora:
2     def __init__(self):
3         self.horaStr = None
4         self.dataStr = None
  
```

Els atributs `self.horaStr` i `self.dataStr` són els únics que es recuperen des de fora del mòdul, a més del mètode públic `tic()`.

El mòdul `DataHora` té dues *look-up tables* per traduir els dies i mesos d'anglès a català. Internament aquestes dades estan guardades en un dict de Python per realitzar consultes del tipus clau-valor. Si el dia o el mes no es troben al dict, bé perquè estan mal escrits o bé perquè no són en anglès, es llença una excepció `KeyError`.

Les funcions són `__tradueixDia()` i `__tradueixMes()`:

```

1 def __tradueixDia(self, dia):
2     angles_catala = {
3         'Monday' : 'Dilluns',
4         'Tuesday' : 'Dimarts',
5         'Wednesday' : 'Dimecres',
6         'Thursday' : 'Dijous',
7         'Friday' : 'Divendres',
8         'Saturday' : 'Dissabte',
9         'Sunday' : 'Diumenge'
10    }
11
12    dia_cat = None
13    try:
14        dia_cat = angles_catala[dia]
15    except KeyError:
16        print("ERROR: Aquest dia no existeix. Està mal escrit \
17 o no està en anglès. He rebut: {0}".format(dia))
18
19    return dia_cat
  
```

```

1 def __tradueixMes(self, mes):
2     angles_catala = {
3         'January' : 'de gener',
4         'February' : 'de febrer',
5         'March' : 'de març',
6         'April' : 'd\'abril',
7         'May' : 'de maig',
8         'June' : 'de juny',
9         'July' : 'de juliol',
10    'August' : 'd\'agost',
11    'September' : 'de setembre',
12    'October' : 'd\'octubre',
13    'November' : 'de novembre',
14    'December' : 'de desembre'
15    }
16
17    mes_cat = None
18    try:
19        mes_cat = angles_catala[mes]
20    except KeyError:
21        print("ERROR: Aquest mes no existeix. Està mal escrit \
22 o no està en anglès. He rebut: {0}".format(mes))
23
24    return mes_cat
  
```

Per acabar s'implementen les funcions encarregades d'actualitzar els valors. Aquestes funcions seran el mètode públic `tic()` i la funció `__updateStrings()`.

Quan es crida el mètode `tic()` es consulta la data i hora actual i després es reparteix en els diferents camps any, mes, dia, hora, minuts i segons. També es demana el dia i mes en anglès i es guarda la versió traduïda al català.

La funció `__updateStrings()` s'encarrega d'actualitzar els atributs públics `self.horaStr` i `self.dataStr`.

Trobareu la implementació d'aquest *script* a l'annex 2.2.

5.2.3 Mòdul Gui.py

El mòdul `Gui.py` implementa tota la interfície gràfica de l'aplicació utilitzant el mòdul `tkinter`. Aquest *script* depèn dels mòduls ja descrits `DataHora.py` i `Bips.py`, i dels mòduls externs:

- `HoraCatalana.py` (github.com/mateucamps/HoraCatalana.py)
- `schedule` (github.com/dbader/schedule)



Figura 12: Interfície gràfica de l'aplicació de rellotge

El constructor de la classe `Gui` conté el següent:

```

1 class Gui:
2     def __init__(self, _title, _geometry):
3         self.window = Tk()
4         self.window.title(_title)
5         self.window.geometry(_geometry)
6         if HIDE_MOUSE_CURSOR: self.window.config(cursor = "none")
7         self.window.attributes('-topmost', ALWAYS_ON_TOP)
8         self.window.attributes('-fullscreen', GUI_FULLSCREEN)
9         self.window.resizable(True, True)
10
11         self.fontHora = FONT_HORA
12         self.fontHoraText = FONT_HORA_TEXT
13         self.fontData = FONT_DATA
14
15         self.dh = DataHora()
16         self.bips = Bips()
17         self.hc = HoraCatalana()
18         schedule.every().hour.at("29:55").do(self.bips.play)
19         schedule.every().hour.at("59:55").do(self.bips.play)

```

El constructor rep un títol de finestra i una mida. Alguns paràmetres de configuració es defineixen dins de l'*script* `settings.py`, com ara `HIDE_MOUSE_CURSOR`, `ALWAYS_ON_TOP`, `GUI_FULLSCREEN`, `FONT_HORA`, `FONT_HORA_TEXT` i `FONT_DATA`.

També s'inicialitzen tres mòduls: `DataHora()`, `Bips()` i `HoraCatalana()`, i es programa `schedule` perquè cridi a `Bips().play()` cinc segons abans de cada mitja hora (29:55) i cinc segons abans de cada hora (59:55).

A continuació s'implementa el mètode `creaGui()` que crea les zones i els *widgets* que es mostraran a la pantalla:

```

1 def creaGui(self):
2     self.zonaHora = Frame(self.window)
3
4     self.svHora = StringVar()
5     self.svHora.set(self.dh.horaStr)
6
7     self.svHoraText = StringVar()
8     self.svHoraText.set(self.hc)
9
10    self.svData = StringVar()
11    self.svData.set(self.dh.dataStr)
12
13    self.labelHora = Label(
14        self.zonaHora,
15        textvariable = self.svHora,
16        font = self.fontHora,
17        bg=DATAHORA_COLOR_FONS,
18        fg=DATAHORA_COLOR_TEXT
19    )
20    self.labelHoraText = Label(
21        self.zonaHora,
22        textvariable = self.svHoraText,
23        font = self.fontHoraText,
24        bg=DATAHORA_COLOR_FONS,
25        fg=DATAHORA_COLOR_TEXT
26    )
27
28    self.labelData = Label(
29        self.zonaHora,
30        textvariable = self.svData,
31        font = self.fontData,
32        bg=DATAHORA_COLOR_FONS,
33        fg=DATAHORA_COLOR_TEXT
34    )
  
```

Després s'implementa `posicionaGui()` que col·loca els quatre *widgets* sobre la pantalla i els indica que omplin la pantalla horitzontalment i verticalment sempre que sigui possible:

```

1 def posicionaGui(self):
2     self.zonaHora.pack(fill = 'both', expand = True)
3     self.labelHora.pack(fill = 'both', expand = True)
4     self.labelHoraText.pack(fill = 'both', expand = True)
5     self.labelData.pack(fill = 'both', expand = True)
  
```

Finalment s'implementen les funcions que permetran actualitzar els valors automàticament de fons, sense provocar bloquejos al fil principal. La funció `startCount()` engega un `Thread` delegat a la funció `ticDataHora()`, que conté una condició `while(True)`. Aquesta condició anirà refrescant els mòduls `DataHora()`, `HoraCatalana()` i actualitzarà els *widgets* de la interfície. També anirà consultant a `schedule` si cal disparar les senyals horàries. L'última ordre serà un `sleep()` de 0,1 segons abans de tornar a començar el bucle `while(True)`.

Trobareu la implementació d'aquest *script* a l'annex 2.3.

5.2.4 Scripts main.py i settings.py

L'script main.py és el que executarà tota l'aplicació. Només depèn de Gui.py i de settings.py:

```
1 # main.py
2 from Gui import Gui
3 from settings import *
4
5 gui = Gui(WINDOW_TITLE, WINDOW_SIZE)
6 gui.creaGui()
7 gui.posicionaGui()
8 gui.startCount()
9 gui.window.mainloop()
```

L'script settings.py s'utilitza per externalitzar algunes variables més orientades a la personalització de l'aspecte de l'aplicació. Separar-ho en un arxiu evita haver de navegar pel codi principal i canviar un atribut múltiples vegades:

```
1 # settings.py
2 # GUI
3 WINDOW_SIZE = '1366x768'
4 WINDOW_TITLE = 'Rellojge'
5 REFRESH_RATE_SEC = 0.1
6 GUI_FULLSCREEN = False
7 ALWAYS_ON_TOP = False
8 HIDE_MOUSE_CURSOR = False
9 FONT_HORA = ('Arial', 240, 'bold')
10 FONT_HORA_TEXT = ('Arial', 50)
11 FONT_DATA = ('Arial', 75)
12 DATAHORA_COLOR_TEXT = 'red'
13 DATAHORA_COLOR_FONS = 'black'
14
15 # BIPS
16 AUDIO_FILENAME = 'senyals.wav'
```

5.2.5 Configuració extra

Per tal que l'aplicació s'executi correctament és possible que calgui instal·lar alguns dels mòduls mencionats.

- Mòduls instal·lables amb pip3:

```
~$ pip3 install schedule numpy soundfile sounddevice matplotlib
```

- Mòduls instal·lables amb apt-get:

```
~$ sudo apt-get install python3-tk zlib1g-dev libjpeg-dev libpng-dev
```

Per configurar la sincronització NTP des d'un sistema GNU/Linux caldrà executar:

```
~$ sudo timedatectl set-timezone Europe/Madrid
```

```
~$ sudo timedatectl set-ntp true
```

Seguidament caldrà editar l'arxiu `/etc/systemd/timesyncd.conf`, buscarem la secció `[Time]`, des-comentarem la línia `FallbackNTP` i hi escriurem els servidors més propers:

1	[Time]
2	#NTP=
3	FallbackNTP 0.es.pool.ntp.org 1.es.pool.ntp.org 2.es.pool.ntp.org 3.es.pool.ntp.org

5.3 Senyalització On Air

La senyalització *On Air* als estudis de ràdio es realitza amb un o més panells lluminosos, col·locats a les portes del control o locutori, per avisar que com a mínim hi ha un micròfon encès.

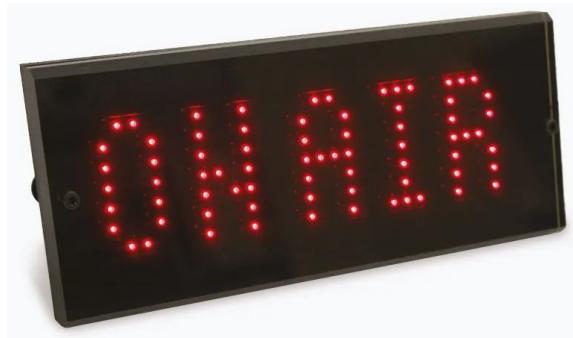


Figura 13: Panell LED On Air d'AEQ

Per Internet i botigues de decoració podem trobar rèpliques ornamentals econòmiques que es poden alimentar amb piles o a través d'USB i que per tant, probablement, comptin amb una tira LED de 5V a dins.

Utilitzant un ESP8266 i un MOSFET lògic podem activar la tira LED a través d'un GPO a 3.3 Volts:

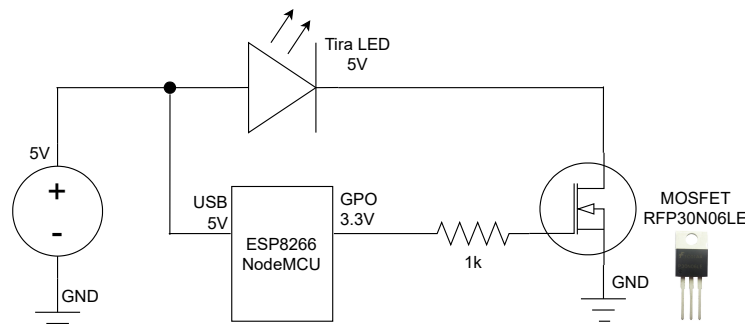


Figura 14: Circuit per interconnectar la tira LED amb l'ESP8266

L'ESP8266 es connectarà a la taula de so Behringer X32. La taula rebrà els missatges a través del port 10023/UDP, i contestarà a través del port 8888/UDP a la mateixa IP del dispositiu que hagi enviat el missatge.

En tot moment es vigilarà l'estat dels *faders* i dels *mute* dels primers 8 canals de la taula, que estaran ocupats pels micròfons de l'estudi. Si un *fader* passa dels -71.2 dB es considerarà que està *On Air*, sempre i quan no estigui el *mute* activat.

Podem construir una taula de veritat utilitzant com a entrades FADER i MUTE. FADER=1 voldrà dir que el *fader* està per sobre dels -71.2 dB i MUTE=0 voldrà dir que el canal està activat.

FADER	MUTE	ON AIR
0 (baix)	0 (no actiu)	0
0 (baix)	1 (actiu)	0
1 (pujat)	0 (no actiu)	1
1 (pujat)	1 (actiu)	0

Taula 9: Taula de veritat de FADER i MUTE per un canal de la taula

Comprovem que només hi haurà un cas en que un canal es considerarà obert, quan el *fader* estigui pujat i el canal no estigui en *mute*.

Al la programació de l'ESP8266, aquesta comprovació s'implementa de la manera següent:

- Es crea tres *arrays* booleans, on `NUM_MICS = 8`:
 - `bool faderState[NUM_MICS]`
 - `bool muteState[NUM_MICS]`
 - `bool onAirState[NUM_MICS]`
- A cada actualització d'estat que llença la taula, es recullen tots els estats dels *faders* i tots els estats dels *mute* i es guarden als *arrays* `faderState[]` i `muteState[]`. L'índex dels *arrays* correspondrà amb el número de canal de la taula. És a dir, índex [0] serà el canal 1, índex [1] serà el canal 2, ..., i índex [7] serà el canal 8.
- Seguidament s'itera per `faderState[i]` i `muteState[i]` de 0 a `NUM_MICS-1`, i es guarda a `onAirState[i]` el resultat de la operació booleana:

$$(\text{faderState}[i] \text{ AND } (\text{NOT } \text{muteState}[i]))$$
- Per acabar s'itera per `onAirState[i]`, i si es troba un sol valor 1 es considera que s'ha d'activar el senyal *On Air*. Per contra, si tots els valors són 0 implica que no hi ha cap micròfon encès i per tant el senyal *On Air* ha d'estar apagat.

Aquest projecte utilitza la llibreria CNMAT OSC (github.com/CNMAT/OSC) i parteix del projecte de l'usuari *yukimizake* a GitHub (github.com/yukimizake/ESP8266-XR-Console-Remote) per controlar una taula Behringer X-Air amb un ESP8266.

S'assumeix que la IP de la taula X32 és 192.168.100.67, i que la IP del dispositiu *On Air* és 192.168.100.87. Les dades de connexió a la xarxa WiFi `*ssid` i `*password` s'han deixat en blanc, però és un requisit omplir-ho pel correcte funcionament.

Per comprovar que l'ESP8266 reacciona bé als canvis de la taula, sense haver de realitzar el muntatge de la tira LED, s'utilitza el `LED_BUILTIN` com a indicador *On Air*.

Trobareu la implementació d'aquest *script* a l'annex 3.

5.4 Panells de locutors

L'objectiu dels panells de locutors és centralitzar les connexions de micròfon i dels auriculars, a més de poder regular individualment el nivell dels auriculars i de poder interactuar remotament amb la taula.

Les dues accions que es poden realitzar són *MUTE* i *TALK*. El botó *MUTE* activa el silenci al canal on estarà connectat el micròfon, i el botó *TALK* també activarà el silenci a més d'activar el *SOLO*, permetent comunicar-se amb el tècnic de so.

Els dos botons funcionen només mentre es premen. Quan es deixen de prémer tot recupera el seu estat original. Si a la taula ja es troba el canal en *MUTE* o *SOLO*, l'acció de prémer algun dels dos botons del panell no ho desfarà, per tant sempre es prioritza l'acció del tècnic de so per sobre del locutor.

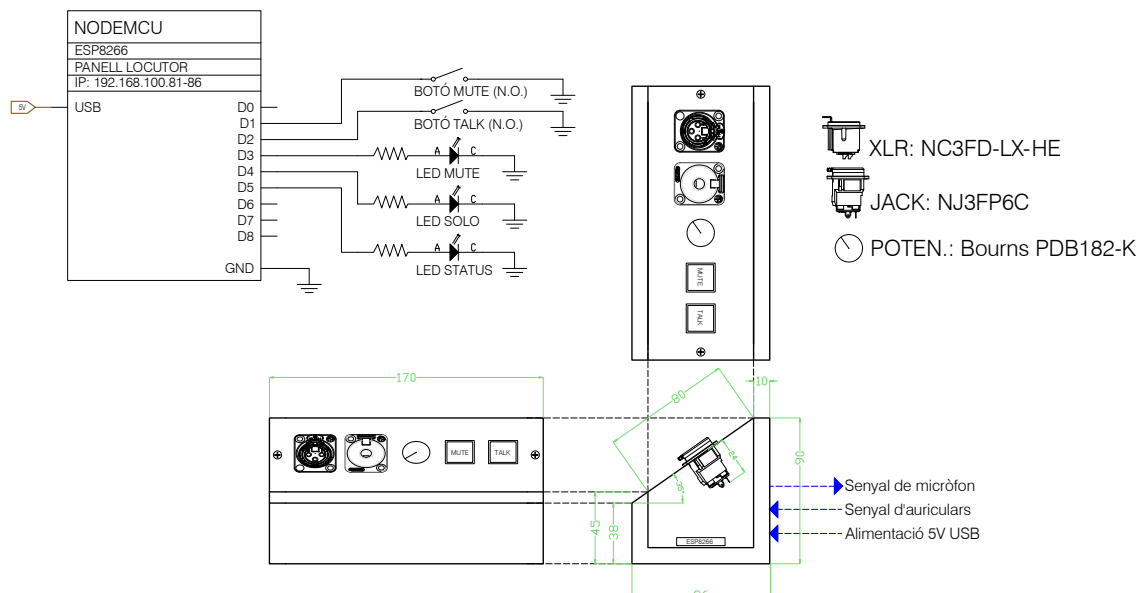


Figura 15: Esquema de connexions i disseny conceptual del panell

Es parteix del codi programat per la senyalització *On Air* i ara s'emmagatzema l'estat del canal en dos variables booleanes `bool channelMuted` i `bool channelSoloed`. Per tal que la llibreria OSC capti aquests paràmetres, es creen dues funcions *handle* que es dispararan cada cop que es rebi una actualització d'estat de la taula. Les funcions són `void muteHandle()` i `void soloHandle()`.

Com que la intenció és que el panell compti amb dos botons retroil·luminats s'assigna 2 GPI per rebre les pulsacions (`#define BUTTON_MUTE_PIN D1` i `#define BUTTON_TALK_PIN D2`) i 2 GPO per encendre el *feedback* lluminós (`#define BUTTON_MUTE_LED D3` i `#define BUTTON_TALK_LED D4`).

Al principi del codi es demana modificar uns *strings* que contenen la ruta OSC per modificar l'estat del MUTE i del SOLO d'un canal concret: `char *muteOSCRoute` i `char *soloOSCRoute`. Trobareu la implementació d'aquest *script* a l'annex 4.

6. Pressupost

A continuació es mostra una versió resumida i aproximada del cost dels equips mencionats al punt 4 i del material necessari per a la instal·lació. Totes les quantitats que es mostren són sense IVA:

Partida	Cost
4.1 Mesclador d'àudio	2.638,88 €
4.2 Sistema de continuïtat	1.054,97 €
4.3 Sistema de senyalització	786,44 €
4.4 Realització audiovisual	10.118,07 €
4.5 Emissió	2.725,56 €
4.6 Distribució de senyals	5.040,22 €
4.7 Servidor d'arxius i IP	2.327,52 €
4.8 Sala de control	3.371,95 €
4.9 Locutori	3.281,75 €
4.10 Sala de <i>racks</i>	4.351,54 €
Cable i connectors	2.000,00 €
Cost total:	37.696,90 €

Taula 10: Cost econòmic del projecte

El desglossament d'aquestes partides està concretat al document de pressupost, annex a aquest projecte. La data de consulta dels preus és del 24 de maig de 2022.

7. Conclusions

Considero que la documentació generada és suficientment detallada, ordenada i facilitaria la implementació de tots els sistemes proposats.

En primer lloc, als plànols CAD de disseny de l'espai s'han col·locat els equips tenint en compte les seves mides reals per assegurar que poden encaixar en un mateix espai. Respecte al mobiliari tècnic de locutori i control pot adoptar una altra forma d'acord amb l'opinió d'una persona experta. De la mateixa manera, la col·locació de les càmeres pot variar d'acord amb l'opinió d'un realitzador audiovisual.

En segon lloc, els plànols CAD unifilars i els llistats de cables s'han construït de forma acurada per assegurar que s'utilitzen totes les connexions necessàries i que les interconnexions entre equips són compatibles. Per facilitar percepció visual de tot l'esquema, els equips que comparteixen moltes connexions s'han dibuixat un al costat de l'altre i les connexions entre ells és en forma de mànega de diversos senyals. També s'ha distingit per colors segons el tipus de senyal. La numeració té en compte l'origen, el destí i el tipus de senyal.

En tercer lloc, s'ha desenvolupat solucions a mida. Utilitzant Python s'ha programat un control remot per la matriu d'àudio i una aplicació gràfica que mostra un rellotge a l'estudi i al control, i que genera els senyals horaris. Utilitzant microcontroladors ESP8266 s'ha pogut interactuar amb la taula de so X32 i generar una senyalització *On Air* i uns panells de locutors amb dos botons. Les proves s'han realitzat amb un sol ESP8266, però és possible que la taula X32 no suporti tantes connexions. Si fos el cas, es podria construir un dispositiu intermediari que s'encarregui de comunicar-se amb la taula i a l'hora amb els panells i les senyalitzacions *On Air*, reduint el número de dispositius connectats de 9 a 1.

Per acabar, el pressupost calculat per aquest projecte és inferior a 40.000 €. La partida més cara és la reservada a la realització audiovisual, que puja a uns 10.000 €. La resta de partides estan més relacionades amb l'àudio i es mantenen sobre els 2.000 € i els 5.000 €. Tot i així, considero que és un estudi de ràdio molt econòmic tenint en compte la polivalència que ofereix i els resultats que es poden arribar a obtenir.

Aquest projecte es podria ampliar creant un sistema de realització automàtica, que llegeixi l'estat de la taula de so, modifiqui la posició de les càmeres PTZ i canviï l'estat del mesclador de vídeo.

8. Normativa

En aquest projecte s'ha tingut en compte les recomanacions de l'*European Broadcasting Union* (EBU), organització que treballa per la interoperabilitat d'estàndards per facilitar l'intercanvi de mèdia audiovisual entre seus. Alguns dels sistemes desenvolupats per EBU són:

- El protocol AES/EBU o AES3
- Protocols sèrie i paral·lel per vídeo digital
- RDS, sistema de transmissió de dades per ràdio FM
- La recomanació EBU R 128 per la normalització del *loudness*.

En l'àmbit legislatiu, s'ha tingut en compte la Llei 22/2005 de la comunicació audiovisual de Catalunya, proposant un sistema de còpia legal tal com indica l'article 25 «Obligacions dels prestadors públics» dins l'apartat f).

9. Bibliografia

- Broadcasting, D. V. (2009). *EN 300 744 - V1.6.1 - Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television. 1*, 1–66.
- Burns, R. W., of Electrical Engineers, I., of Electrical Engineers Staff, I., & Touloukian, Y. S. (2004). *Communications: An International History of the Formative Years*. Institution of Engineering and Technology. <https://books.google.es/books?id=7eUUy8-VvwoC>
- EBU. (2014). Loudness Normalisation And Permitted Maximum Level Of Audio Signals Status: Ebu Recommendation. In *Ebu - R 128* (Issue June, pp. 1–5).
- Gary Kline. (2019). Ten Tips to Help You Create Your Best Studio. *RadioWorld International Edition, December*, 20–23. <https://www.radioworld.com/resource-center/ebooks/designing-the-ideal-radio-studio>
- Generalitat de Catalunya. (2006). *Llei 22/2005, de 29 de desembre, de la comunicació audiovisual de Catalunya (LCA)*. 4543, 84–106.
- Niqui, C. (2007). Fonaments i usos de tecnologia audiovisual digital :com es creen i comuniquen els continguts audiovisuals de la ràdio, la televisió, el cinema, la telefonia mòbil i Internet a la societat de la comunicació [Book]. In *Comunicació* (Vol. 114). UOC.
- Nisbett, A. (1990). *El Uso de los micrófonos* (2^a ed.) [Book]. Instituto Oficial de RadioTelevisión Española.
- Price, B. J. (1989). Computer Room Air Conditioning. *Library Hi Tech*, 7(3), 29–47. <https://doi.org/10.1108/eb047764>
- Radiocommunication Bureau, I. (2010). *Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF BS Series Broadcasting service (sound)*. <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>