



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS  
AUDIOVISUALES Y MULTIMEDIA

**TRABAJO FIN DE GRADO**

DISEÑO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS PARA LA PRODUCCIÓN  
REMOTA DE EVENTOS AUDIOVISUALES

Autor: Jorge Delgado Valencia  
Tutor: Roberto San Millán Castillo  
Cotutor: Leticia Martínez Cano

Curso académico 2021/2022

*Dedicado a la memoria de Antonia Valencia  
Limonas (16/05/1945-22/09/2021)*

*Mamá, te quiero.*

# AGRADECIMIENTOS

Quería darles la gracias a:

Chiqui, mi amor, por su comprensión, paciencia y por querer soñar conmigo.

Mi Padre y mi hermano y a Pepa y Julio, por su apoyo.

Jaime Martín, por su ayuda y paciencia a lo largo de la carrera. Por enseñarme a pensar.

Juan Antonio Piñar, por sus consejos, ayuda, amistad y su mirada profesional.

Elena García Vicente por facilitarme la información sobre Dante.

Javier González, de Netinsight por hacerme un hueco en su apretadísima agenda.

Suso Ramayo y la ecuación que lo desencadenó todo,  $1 + \cos(\theta)$ .

Todas las profesoras y profesores que durante el grado han sido fuente de inspiración y en especial al Profesor Don Roberto San Millán Castillo y la profesora Doña Leticia Martínez Cano. Y también, a los profesores Doña Eva María Castro Barbero y Don José Centeno González

Todas mis amistades y en especial a Esther, Alfonso, Bart, María (gracias por dejarme la habitación de Paula), Charo, Edu y Ainhoa. A mis compañeros y compañeras de trabajo y de grado con las que he compartido grandes momentos.

## RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado, en adelante TFG, tiene como objeto diseñar un sistema para realizar la producción remota de dos partidos de baloncesto en directo consecutivos con dos unidades remotas situadas en dos lugares geográficos diferentes, y un único equipo técnico humano situado en el centro de producción.

Tradicionalmente, el método de producción de un evento audiovisual ajeno al centro de producción o “*producción in-situ*”, se ha venido realizando mediante el uso de las denominadas unidades móviles que suelen ser vehículos de grandes dimensiones dotadas con la infraestructura audiovisual idónea para la producción, grabación o almacenamiento de ese evento.

Con la producción remota, el equipo que se desplazaría en una unidad móvil completa se va a dividir en dos subsistemas. El primer subsistema, que denominaremos unidad remota, se va a desplazar al lugar del evento y será el encargado de producir y transmitir la señal audiovisual al centro de producción. Y el segundo, permanecerá en el centro de producción donde se va a encargar de manejar y ajustar parte del equipamiento situado en la unidad remota.

Con el fin de describir de manera pormenorizada este proyecto se hace conveniente dividir los dispositivos que forman esta producción en 4 circuitos principales como son: circuito de la señal de Vídeo, circuito de la señal de Audio, circuito de la señal de Comunicaciones y circuito de Datos y de Control.

Para ello analizaremos las tecnologías y protocolos necesarios junto al equipamiento destinado a realizar la producción con éxito. Además, se analizarán las ventajas que ofrece este tipo de producción frente al método tradicional de producción de eventos en directo.

Finalmente se realizará un presupuesto donde se describirá cada uno de los elementos y materiales que forman parte del conjunto más la mano de obra que sería necesaria para trasladar este proyecto a la realidad.

## LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
AES	<i>Audio Engineering Society</i>
ARQ	<i>Automatic Repeat Request</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BB	<i>Black Burst</i>
BER	<i>Bit Error Ratio</i>
BNC	<i>Bayonet Neill-Concelman</i>
C	<i>Centro</i>
CAT6A	<i>Categoría 6A</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CCU	<i>Camera Control Unit</i>
CO <sub>2</sub>	<i>Dióxido de Carbono</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
dBFS	<i>Decibel Full Scale</i>
dBu	<i>Decibelio referenciado sobre 0,775v</i>
DiffServ	<i>Differentiated Services</i>
DCT	<i>Discret Cosin Transform</i>
DSCP	<i>Differentiated Services Code Point</i>
DSNG	<i>Digital Satellite News Gathering</i>

DTM	<i>Dynamic Synchronous Transfer Mode</i>
EAV	<i>End Active Video</i>
EBU	<i>European Broadcast Union</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standard Institute</i>
EVS	<i>EVS Broadcast Equipment</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FTP	<i>Foiled Twisted Pair</i>
FTTH	<i>Fiber To Home</i>
Gbps	<i>Giga bit per second</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HANC	<i>Horizontal Ancillary Data</i>
HD	<i>High Definition</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IFB	<i>Interruptible Foldback System</i>
IGMP	<i>Internet Group Management Protocol</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITU	<i>The International Telecommunication Union</i>
JPEG	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
Kbps	<i>Kilo Bit Per second</i>
KHz	<i>Kilo Hertz</i>

Km	<i>Kilómetro</i>
L	<i>Canal izquierdo</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LN	<i>Line Number</i>
LPCM	<i>Linear Pulse Code Modulation</i>
MAC	<i>Media Access Control Address</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
Mbps	<i>Megabits per second</i>
MHz	<i>Megahercio</i>
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
ms	<i>Milisegundo</i>
MTU	<i>Maximun Transfer Unit</i>
mV	<i>Milivoltio</i>
N-1	<i>Mix Minus</i>
ns	<i>Nano segundo</i>
OCP	<i>Operative Control Paney</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
Pa	<i>Pascal</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>
PDH	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i>
PES	<i>Packetized Elementary Stream</i>

PoE	<i>Power over Ethernet</i>
PPM	<i>Peak Programme Meter</i>
PTP	<i>Precision Time Protocol</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
R	<i>Canal derecho</i>
RAVENNA	<i>Real-Time Audio Video Enhanced Next-generation Network Architecture</i>
RDSI	<i>Red Digital de Servicios integrados</i>
RFC	<i>Request For Comments</i>
RGB	<i>Red Green Blue</i>
RJ45	<i>Registered Jack-45</i>
RTCP	<i>Real Time Control Protocol</i>
RTP	<i>Real Time Transport</i>
RS	<i>Recommended Standard</i>
SAV	<i>Start Active Video</i>
SD	<i>Standard Definition</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy Serial Digital Interface</i>
SDI	<i>Serial Digital Interface</i>
SMPTE	<i>Society of Motion Picture and Television Engineers</i>
SNR	<i>Signal Noise Ratio</i>
SPB	<i>Shortest Path Bridging</i>
SPG	<i>Sync Pulse Generator</i>



SPL	<i>Sound Pressure Level</i>
TAI	<i>Temps Atomique International</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDM	<i>Time division Multiplexing</i>
TEM	<i>Transductor Electromecánico</i>
TFG	<i>Trabajo final de Grado</i>
TRS	<i>Time Reference Signals</i>
TS	<i>Transport Stream</i>
TV	<i>Television</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UHD	<i>Ultra High Definition</i>
UHF	<i>Ultra High Frecuency</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
XLR	<i>External Line Return</i>
YCbCr	<i>Espacio de color YCbCr</i>
3G-SDI	<i>HD-SDI, 2.97Gbps, SMPTE424M</i>
4K	<i>Ultra High Definition</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema tipo de producción remota.....	4
Figura 2. Trama Ethernet.....	8
Figura 3. Encapsulamiento de datos en trama Ethernet .....	9
Figura 4. Esquema de distribución de la señal de reloj .....	12
Figura 5. Ejemplo tipo sistema DTM.....	13
Figura 6. Formato de un campo de la señal HD-SDI.....	15
Figura 7. Ejemplo trama HD-SDI .....	20
Figura 8. Ejemplo de multicamino sufrido por una señal de radio frecuencia.....	21
Figura 9. Esquema tipo de una red Dante .....	22
Figura 10. Esquema de “ <i>producción in-situ</i> ” con unidad móvil .....	27
Figura 11. Diagrama de bloques del circuito de la señal de vídeo .....	30
Figura 12. Cámara Grass-Valley Series LDX 86N .....	31
Figura 13. CCU Grass-Valley XCU .....	32
Figura 14. OCP Grass-Valley 400.....	32
Figura 15. Minicámara Marshall CV-420 .....	32
Figura 16. Matriz de vídeo Grass-Valley MV-825-RTR .....	33
Figura 17. Embebedor Albalá Ingenieros HDE3000C01.....	33
Figura 18. Generador de sincronismos Albalá Ingenieros HTG3001C01 .....	34
Figura 19. Distribuidor Albalá Ingenieros AVD3001C01 .....	34

Figura 20. Patch-Panel pinanson fibra óptica ST304.....	35
Figura 21. Patch-Panel BNC SDI pinanson .....	35
Figura 22. Monitor de referencia Black Magic Smartview.....	35
Figura 23. Monitor de referencia AEQ LM7000 .....	36
Figura 24. Analizador de señal de vídeo Black Magic SmartScope Duo 4K .....	36
Figura 25 Unidad remota. Circuito de la señal de vídeo.....	37
Figura 26. Diagrama de bloques del circuito de la señal de audio.....	39
Figura 27. Matriz de Audio Lectrosonics Aspen SPN1624.....	41
Figura 28 Patch-Panel XLR Neutrik Male-Female.....	41
Figura 29 Mesa de comentaristas Sonifex CM-CU21. ....	42
Figura 30. AudioCodec AEQ Phoenix Stratos.....	43
Figura 31. Amplificador de referencia Black Magic Audio Monitor 12G.....	43
Figura 32. Receptor de microfonía inalámbrica SENNHEISER EM-6000.....	44
Figura 33. Unidad remota. Circuito de la señal de audio.....	45
Figura 34. Diagrama de bloques del circuito de comunicaciones.....	48
Figura 35. Panel de intercom Kroma by AEQ TP8000 .....	48
Figura 36. Matriz de intercom KROMA CROSSNET .....	49
Figura 37. Concentrador CE6000 KROMA TELECOM.....	49
Figura 38. Beltpack intercom BP-3004 KROMA TELECOM .....	49
Figura 39. Unidad remota. Circuito de la señal de comunicaciones .....	50

Figura 40 Diagrama de bloques del circuito de datos y de control .....	51
Figura 41 Switch 26 puertos Cisco SG220-26P.....	52
Figura 42. Codec transmisor NIMBRA VA640.....	56
Figura 43. Codec transmisor NIMBRA VA220.....	59
Figura 44. Patch-panel RJ45 CAT6A .....	61
Figura 45. Unidad remota. Circuito de datos .....	62
Figura Anexo IV. Ejemplo prioridades en protocolo Dante. ....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelo de referencia OSI y TCP/IP .....	8
Tabla 2. Conjunto de direcciones IPs de cada dispositivo .....	54
Tabla 3. Conjunto de Vlans Switch CISCO SG220-26P .....	55
Tabla 4. Conjunto de señales de entrada al sistema NIMBRA VA640 .....	59
Tabla 5. Conjunto de señales de entrada-salida sistema NIMBRA VA220.....	61
Tabla 6. Conjunto de Gantt para la ejecución del proyecto .....	66
Tabla 7. Presupuesto de instalación .....	67
Tabla Anexo I Estructura del protocolo DTM .....	80

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS .....	I
RESUMEN.....	II
LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS .....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	XII
<b>1. Antecedentes .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Justificación del proyecto .....	4
1.3 Necesidades técnicas del proyecto .....	5
<b>2. Fundamentos tecnológicos</b>	
2.1. Tecnologías del circuito de control y transmisión de datos .....	7
2.1.1. Protocolos TCP/IP .....	9
2.1.2. Vlan.....	10
2.1.3. PTP .....	11
2.1.4. DTM. ....	12
2.2. Tecnologías utilizadas en el Circuito de las Señal de Vídeo.....	13
2.2.1. Espacio de color.....	13
2.2.2. Interfaz HD-SDI. ....	15
2.2.3. Compresión de la señal de vídeo. ....	16
2.3. Tecnologías utilizadas en el Circuito de la Señal de Audio. ....	19
2.3.1. Audio Analógico.....	19
2.3.2. Audio Digital. ....	19
2.3.2.1. Audio Digital Embebido.....	20
2.3.3. Sistema Diversity.....	20
2.4. Tecnologías utilizadas en el Circuito de Comunicaciones.....	22
2.4.1. Dante.....	22
<b>3. Descripción de Unidad Móvil.</b>	
3.1. Circuitos de Señal en Unidad Móvil .....	23
3.2. Distribución Espacial en Unidad móvil.....	25
3.2.1. Control de realización.....	25
3.2.2. Control de sonido.....	26
3.2.3. Control de cámara.....	26
3.2.4. Control técnico y sala de aparatos o equipos.....	26

#### **4. Descripción de cada circuito y equipamiento en unidad remota**

4.1. Circuito de Señal de Vídeo. ....	28
4.1.1. Descripción del equipamiento de vídeo. ....	31
4.1.1.1. Sistema de generación de la señal de vídeo .....	31
Grass-Valley Series LDX 86N. ....	31
Grass-Valley XCU. ....	32
Grass-Valley OCP 400. ....	32
MARSHALL CV-420 Mini Cam. ....	32
4.1.1.2. Sistema de enrutado y distribución de la señal de vídeo .....	33
Grass-Valley MV-825-RTR Video Matrix 48*48. ....	33
Albalá Ingenieros HDE3000C01 embebedor/desemb. AES/EBU-SDI. ....	33
Albalá Ingenieros HTG3001C01 Generador de Sincronismos. ....	34
Albalá Ingenieros AVD3001C01 Distribuidor Ecualizador de vídeo .....	34
Patch-panel SMPTE 304. ....	35
Patch-panel SDI BNC. ....	35
4.1.1.3. Sistemas auxiliares. ....	35
Black Magic Smartview Monitores de Referencia .....	35
AEQ LM 7000 Monitores de Referencia. ....	36
Black Magic Smartscope duo 4K. ....	36
4.2. Circuito de la Señal de Audio. ....	38
4.2.1. Descripción del equipamiento de audio. ....	40
4.2.1.1. Sistema de enrutado y distribución de la señal de audio. ....	40
Lectrosonics Aspen SPN 1624. ....	41
Neutrik patch-panel audio. ....	41
4.2.1.2. Sistemas Auxiliares .....	42
Sonifex CM-CU.21 .....	42
AEQ Phoenix Stratos. ....	43
Black magic Audio monitor12G. ....	43
Sennheiser EM-6000. ....	44
4.3. Circuito de Intercomunicaciones. ....	46
4.3.1. Descripción del equipamiento de la intercom. ....	48
4.3.1.1 Sistema de generación de la señal de audio para las comunicaciones. .	48
Kroma telecom TP8000. ....	48
4.3.2. Sistema de enrutado y distribución de la señal para las comunicaciones ..	49
KROMA CROSSNET INTERCOM MATRIX. ....	49
4.3.1.3. Sistemas auxiliares. ....	49
KROMA TELECOM CE6000 CONCENTRADOR. ....	49
KROMA TELECOM BELTPACK BP 3004. ....	49
4.4. Circuito de Datos y de Control. ....	51

4.4.1. Descripción del equipamiento del circuito de datos. ....	52
4.4.1.1. Sistema de conmutación y enrutamiento.....	52
Switch Cisco SG220-26P 26-Port Gigabit Poe Smart Switch. ....	55
4.4.1.2. Sistema de codificación y transporte.....	56
Netingsight Nimbra VA640 .....	56
Tarjeta de vídeo señal HD-SDI.....	57
Tarjeta Ethernet .....	58
Netingsight Nimbra VA220 .....	59
Tarjeta de vídeo señal HD-SDI.....	59
Tarjeta de Ethernet.....	60
4.4.1.3 Sistema Auxiliar.....	61
Patch-panel RJ45 568b STP/FTP CAT6.....	61
<b>5. Cronograma de ejecución del proyecto.</b>	
5.1. Primera Fase. ....	63
5.2 Segunda Fase .....	63
5.2.1. Circuito de datos. ....	63
5.2.2. Circuito de la señal de vídeo.....	64
5.2.3. Circuito de la señal de audio.....	64
5.2.4. Circuito de la señal de intercomunicaciones.....	64
5.2.5. Pruebas de emisión y ajustes en estudio .....	65
<b>6. Presupuesto.</b> .....	67
<b>7. Conclusiones.</b> .....	68
7.1. Conocimientos adquiridos y aplicados.....	69
7.2. Líneas Futuras. ....	70
<b>8. Bibliografía</b> .....	73
<b>Anexo I. El protocolo DTM</b> .....	80
<b>Anexo II. Cálculo de la reserva de slots y de los anchos de banda de cada Vlan.</b> ...	84
<b>Anexo III. Cálculo de la tasa de bit de una Trama HD-SDI</b> .....	86
<b>Anexo IV. Dante. Características</b> .....	88
<b>Anexo V. Conjunto de señales de entrada a los sistemas Nimbra</b> .....	91



## 1. ANTECEDENTES

La difusión de contenidos audiovisuales en directo ha ido evolucionando gracias a los avances tecnológicos que se han ido produciendo a lo largo del tiempo.

En principio, la transmisión se realizaba mediante radio enlaces analógicos que eran costosos de montar y mantener. Para usarlos había que construir una red de radio enlaces desde un punto geográfico a otro, a través del uso de torres de comunicación donde se situaban estos radios enlaces que irían “haciendo saltos de un punto a otro”.

El procedimiento era el siguiente: se situaba un radio enlace en la unidad móvil y en una torre cercana normalmente situada en el tejado de un edificio próximo; otro radio enlace con visión directa a la unidad móvil y a la torre de comunicaciones más cercana, que podía estar situada a varios kilómetros. Y desde allí, se iba transmitiendo la señal hasta el centro de producción, de esta forma se establecía una red de radio enlaces creada *exprofeso*.

Si el lugar del evento se utilizaba con gran asiduidad, normalmente se dejaba una instalación fija de radio enlaces, por ejemplo, desde un campo de fútbol como el Santiago Bernabéu.

La transmisión de la señal audiovisual, independientemente del medio que se utilice para transmitir, se va a tener que enfrentar al canal de comunicaciones que tiene como característica fundamental la creación de perturbaciones en la señal. Esta va a sufrir interferencias, atenuación por la absorción producida por las distintas condiciones atmosféricas si se transmite por el medio no guiado, el aire: reflexiones especulares y difusa, difracción, refracción y distorsión. Estas perturbaciones van a afectar a la relación señal ruido (SNR) que es la medida fundamental de la calidad de un sistema de comunicaciones [1].

Posteriormente, se comenzó a utilizar enlaces de fibra óptica, con conversores de señal analógica a señal óptica y viceversa, donde también se necesitaba crear esos circuitos desde el punto de origen hasta el centro nodal de proveedores de telecomunicaciones, por ejemplo, Retevisión, y desde este centro al centro de producción.

Al mismo tiempo que las transmisiones por fibra óptica, comenzaron a usarse enlaces satelitales, pero manejando señales analógicas. El satélite se encargaría de amplificar, regenerar y repetir la señal al centro de producción. Este método de transmisión presentaba una ventaja considerable frente a los radios enlaces o la fibra óptica y es que no se tiene que establecer un

circuito previamente y luego mantenerlos. El día de la retransmisión se alquilaría el uso del satélite durante el periodo que dura la retransmisión hasta la finalización del evento.

Más tarde y con el imparable desarrollo de la tecnología se pasó a transmitir señales digitales o por los mencionados enlaces de fibra óptica, o satélites geoestacionarios.

En la actualidad nos encontramos ante la última generación de producciones audiovisuales donde la señal se transmite por redes de datos IP, en tiempo real y operación en modo local o, la que será el campo de aplicación de nuestro proyecto, Transmisión IP en tiempo real y operación en modo remoto [2].

Los principales problemas que históricamente ha presentado la “*producción in situ*” a la hora de llevarse a cabo y que, con este TFG, vamos a intentar minimizar utilizando las tecnologías de la producción remota son:

**1. Coste económico elevado:** el coste de la propia unidad móvil que puede ser alquilada o en propiedad. Si es en propiedad, se necesita haber realizado previamente una inversión económica para la compra de la unidad tractora, más la construcción por parte del carrocero del recinto o habitáculo donde se realizará la producción, la creación e instalación del mobiliario para alojar los diferentes equipos de cada circuito y la construcción del cableado necesario para interconectar los equipos entre sí.

El día de la retransmisión se necesitan los permisos de estacionamiento, gasoil de los vehículos, alquiler del satélite de comunicaciones, alquiler de la DSNG si no se tiene en propiedad, alquiler de los grupos electrógenos para suministrar energía eléctrica a la unidad móvil y DSNG, si fuese necesario. Si se quisiera implementar este TFG usando la modalidad de la “*producción in situ*” se tendría que disponer de dos unidades móviles completas con dos equipos completos de realización, producción, montaje y que estos equipos se desplacen a dos localizaciones distintas donde se van a necesitar reservar plazas hoteleras y abonar las dietas al personal técnico.

**2. Huella de carbono:** todo proceso productivo implica emisiones, todo proceso humano implica emisiones, en este caso de CO<sub>2</sub>, generadas mayormente por los vehículos involucrados en la producción. En este modo de transmisión tradicional, necesitaremos de al menos tres vehículos que podrían ser: la unidad móvil, que suele ser un vehículo de grandes dimensiones y muy contaminantes, un vehículo auxiliar donde se transportan el conjunto de cables

necesarios para realizar las conexiones entre los equipos audiovisuales más la DSNG y, a veces se hace necesario la presencia de grupos electrógenos móviles.

## **1.1. Objetivos.**

Por lo mencionado anteriormente el objetivo principal de este TFG es el diseño de ingeniería de un sistema de producción remota de eventos audiovisuales que reduzca el número de los equipos y el personal involucrado en el lugar del evento además de contribuir a reducir la huella de carbono. Nos centraremos por tanto en la parte de la unidad remota, es decir, donde se van a generar las diferentes señales que van a formar parte de esta producción y que posteriormente serán enviadas al centro de producción. Del centro de producción sólo mencionaremos las señales que se generan en este y que las denominaremos señales de retorno y que son básicas y necesarias para el correcto funcionamiento de la producción remota.

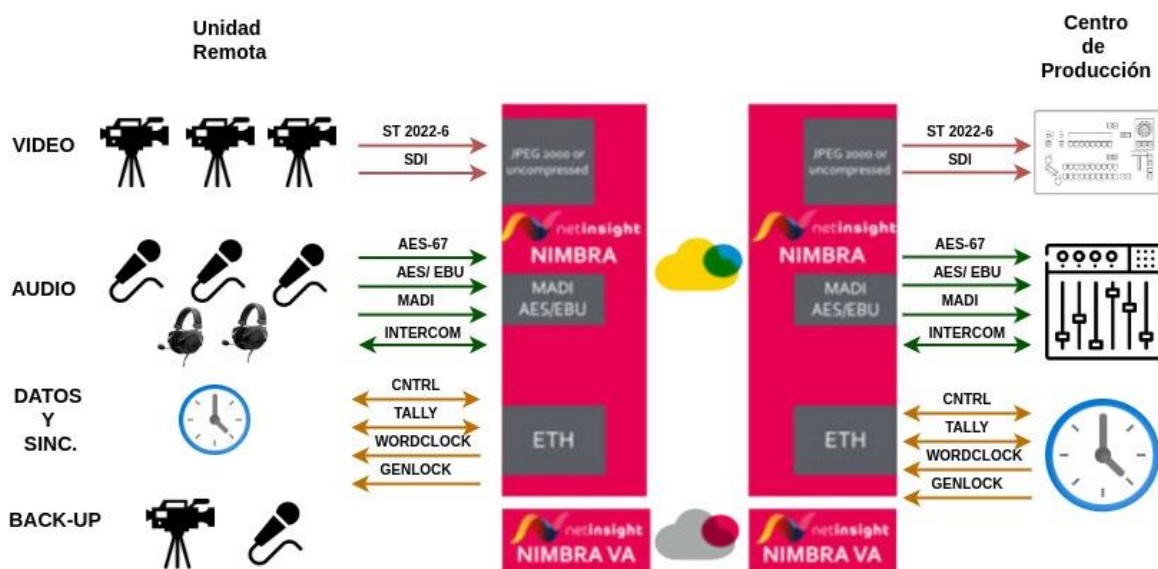
Los objetivos específicos serán los siguientes:

- Recogida de los requerimientos del proyecto mediante un estudio previo de los equipamientos necesarios para poder llevar a cabo de manera óptima esta producción.
- Estudio de los estándares de aplicación. Basado en recursos bibliográficos y en la investigación de los protocolos que rigen los distintos tipos de señales y tecnologías que se van a emplear en este proyecto. Es en este punto es donde se analiza el mercado en busca de los últimos avances del sector y si interesan o no incluirlos en el sistema.
- Descripción de cada circuito implicado en este proyecto analizando la cadena de señal de cada subsistema en que estará dividido este.
- Análisis del equipamiento implicado en cada subsistema.
- Planificación temporal y estimación del coste del proyecto donde se estima la organización completa de la ejecución del proyecto y un presupuesto orientativo del mismo.

## 1.2. Justificación del Proyecto.

Como resultado del rápido progreso tecnológico que han sufrido las redes de transmisión se ha aumentado la capacidad de obtener, procesar y distribuir la información audiovisual. Esto es debido a dos factores claves, el aumento de los anchos de banda lo que influye en el aumento de la velocidad en la transferencia de datos, y los avances significativos en la compresión de la señal de audio y de vídeo sin pérdidas, lo que posibilita transmitir señales más complejas y de una mayor calidad. Estos dos factores han posibilitado la aparición de las producciones remotas de eventos audiovisuales donde solo una parte del equipamiento técnico involucrado en la transmisión de un evento en directo será desplazado y manejado de forma remota desde el centro de producción tal y como se puede apreciar en la **Figura 1**.

El equipamiento para desplazar será el siguiente: cuerpos de cámara y ópticas, CCUs, Audio codecs, microfonía, Matrices de Audio, intercom y vídeo junto a dos dispositivos de transmisión/recepción, de la marca sueca Netinsight modelos Nimbra VA640 y VA220 los cuales serán descritos posteriormente. El resto del equipamiento necesario permanecerá en las instalaciones del centro de producción. Además, dependiendo de cómo esté planteada la producción, podría ser que las personas encargadas de la narración y comentarios debieran desplazarse al lugar donde se desarrollará el evento con lo que habría que dotar de equipamiento auxiliar y de referencia para la correcta retransmisión del evento.



**Figura 1.** Esquema tipo de producción remota.

Las ventajas que presenta la producción remota frente a la “*producción in situ*” son:

### **1.) Reducción del equipo humano en el lugar del evento y, por ende, del coste económico:**

Solo se desplazará una parte del equipo integrante del departamento de transmisiones al lugar del evento, es decir, las personas encargadas de: operar las unidades de cámara, de dirigir las operaciones técnicas, de producir el evento, de narrar el evento (si la narración del evento se realiza in situ) y montar el equipamiento técnico para realizar la producción. Mientras que con un solo equipo de realización que permanece en el centro de producción se puede producir dos eventos seguidos independientemente del lugar donde se encuentren estos. Este equipo estaría formado por las personas encargadas de: supervisar la señal de vídeo, operar la señal de audio, operar la señal de vídeo utilizando las diferentes fuentes de vídeo, producir y coordinar al equipo técnico de personas en el centro de producción, realizar el programa y mezclar la señal de vídeo.

### **2) Reducción de la huella de carbono**

Como el equipamiento es menor en cantidad y este puede ser traslado en un vehículo de menores dimensiones vamos a conseguir, por un lado, paliar el problema de la huella de carbono que se nos plantea cuando se realiza la “*producción in situ*” y por otro, reducir los tiempos dedicados a la instalación de la producción. Las producciones se vuelven más ágiles y flexibles. Por ejemplo, para llevar a cabo este TFG, los equipos necesarios para la generación y transmisión de la señal del programa audiovisual del evento están alojados en un único rack de ‘n’ pulgadas, el cual se puede introducir en el lugar del evento con lo que, la tirada y montaje de las líneas de transmisión entre las cámaras, equipos de audio, Instant-Replay y los aparatos receptores disminuye considerablemente.

### **1.3. Necesidades técnicas del proyecto.**

El departamento de ingeniería es el encargado de diseñar e implementar las necesidades básicas que les traslada el departamento de explotación en coordinación con el departamento de realización de deportes para poder realizar esta producción de manera eficiente.

Para la señal audiovisual de programa se piden: un número total de 6 cámaras que puedan ofrecer una retransmisión correcta para que todo televidente pueda disfrutar con todo lujo de detalle de los lances del juego, además, de que el vídeo arbitraje, pueda llevarse a cabo de

manera correcta [3]. También, un número de canales de audio que puede oscilar entre 8 y 12 canales dependiendo de si el partido se locuta y comenta desde el lugar del evento o desde el centro de producción.

Para poder transmitir esta señal audiovisual se utilizarán dos líneas de transmisión independientes: la principal que será un circuito de datos dedicado suministrada por una empresa de telecomunicaciones con un ancho de banda fijo, constante y estable de 1 Gbps y otra de reserva o Back-up que será la propia red de internet. Los dispositivos encargados de codificar, transmitir y recibir las señales que tienen como origen en el lugar del evento y como destino el centro de producción y a la inversa, son los codecs transmisores/receptores de la empresa sueca Netinsight. En concreto, el modelo Nimbra VA640 como sistema principal y que transmitirá el grueso de la producción mientras que el modelo Nimbra VA220 se utilizará como sistema redundante y que entrará en acción cuando el sistema principal caiga o deje de actuar, transmitiendo las señales imprescindibles para poder continuar con la retransmisión mientras se subsana el problema aparecido en el sistema principal.

A su vez, el centro de producción será el encargado de enviar la señal de comunicaciones internas o intercom al lugar del evento, la señal remota del panel de control de operación (OCP), de cada CCU, la señal de retorno de audio para los comentaristas y la señal de vídeo del Instant Replay generada por el sistema de repeticiones de vídeo.

## **2. FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS.**

En este punto describiremos las tecnologías en las que se basa este TFG. Para ello vamos a desglosar este trabajo en 4 circuitos principales: circuito de control y transmisión de datos, circuito de la señal de vídeo, circuito de la señal de audio y circuito de la señal de comunicaciones.

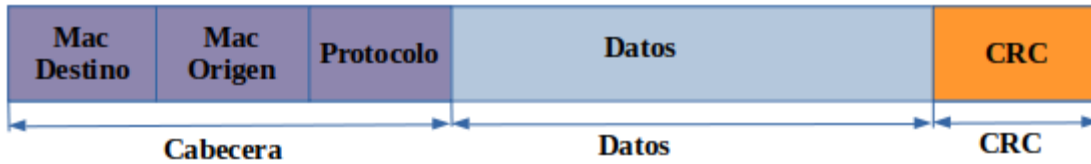
La gran novedad en este tipo de producciones frente a las retransmisiones clásicas es el circuito de control y transmisión de datos. Recordemos que parte del personal técnico permanece en el centro de producción durante la realización del evento con lo que este circuito es de vital importancia para el desarrollo de la producción ya que este va a ser el interfaz entre los dos extremos de la cadena de la señal. Tanto los dispositivos encargados de la captación de la señal audiovisual como los sistemas de retorno al ser controlados remotamente no van a tener los mismos tiempos de acción-reacción que si esos mismos equipos se encontrasen en el centro de producción. Aquí entra en juego el concepto de la latencia que está íntimamente ligado con la velocidad de conexión, el ancho de banda de una red y el nivel de ocupación de esta. La latencia puede influir negativamente en operaciones en tiempo real que deben surtir efecto instantáneamente como son por ejemplo los ajustes de diafragma de las ópticas de las cámaras o la corrección de niveles de ganancia de entrada de señal a un canal de una mesa de sonido, por mencionar unas de las operaciones más comunes dentro de una producción audiovisual. Posteriormente explicaremos las posibles soluciones que hemos aportado para disminuirla a la mínima expresión.

El diseño de esta producción a efecto del usuario final debe de pasar desapercibido.

### **2.1. Tecnologías del circuito de control y transmisión de datos.**

Este circuito será el encargado de gestionar las señales de control vía remota de los equipos desplegados en el evento y la transmisión de las señales de audio, vídeo e intercomunicaciones generadas en el mismo lugar. Los datos viajarán por ambas redes en formato de datagramas, que son unos paquetes de datos que constituyen el mínimo bloque de información en una red de conmutación por datagramas. Estos paquetes se van a encaminar por separado y cada uno de ellos llevará la dirección de destino. El encaminamiento de cada paquete es independiente, por lo que varios paquetes enviados desde el mismo origen al mismo destino pueden viajar por rutas

diferentes, así que puede que no lleguen o lo hagan desordenados. Estos datagramas viajarán en el interior de una trama Ethernet. En la **Figura 2.** vemos como se organiza una trama.[4]



**Figura 2.** Trama de Ethernet.

Las dos arquitecturas de redes en las que se basa internet son el modelo de referencia interconexión de sistemas abiertos (OSI) y el modelo TCP/IP.

Estas arquitecturas de redes se diferencian en el número de niveles, los servicios de cada nivel y Protocolos de cada nivel.

En la **Tabla 1.** se muestran los modelos de referencia OSI y TCP/IP. En ella se definen como están estructuradas las capas o niveles de cada modelo.

**Tabla 1.** Modelo de referencia OSI y TCP/IP.

MODELO OSI	MODELO TCP/IP
7 APLICACIÓN	
6 PRESENTACIÓN	
5 SESIÓN	5 APLICACIÓN
4 TRANSPORTE	4 TRANSPORTE
3 RED	3 RED
2 ENLACE	2 ENLACE Y
1 FÍSICA	1 FÍSICA

El modelo de referencia OSI es un marco al que deben de someterse protocolos concretos para establecer una arquitectura conforme a este modelo. En la actualidad la arquitectura OSI ha caído en desuso, pero se sigue utilizando la denominación de los niveles, mientras que del modelo TCP/IP se usan los protocolos de la capa de transporte y la capa de red que son los que les dan nombre [5]. En la **Figura 3.** se muestra la disposición de los diferentes niveles del



modelo TCP/IP y como se va encapsulando un datagrama IP en la parte de datos del nivel de enlace y en la parte de datos de la trama Ethernet

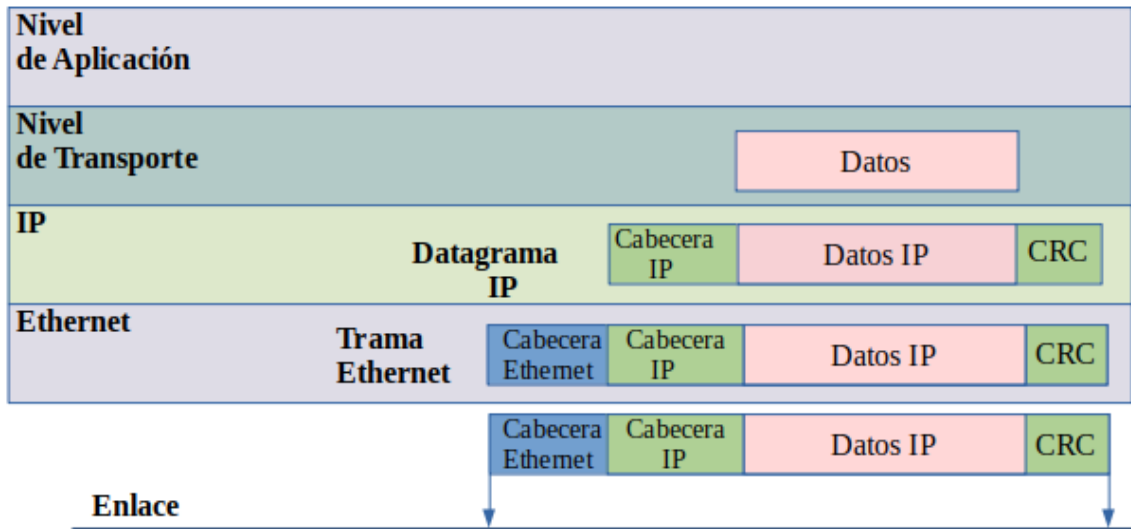


Figura 3. Encapsulamiento de datos en trama Ethernet.

### 2.1.1 Protocolos TCP/IP

La capa de transporte se encarga de gobernar el acceso múltiple a la red de los diversos procesos que se generan en una misma máquina y que necesitan usarla. [6]

Se tienen dos protocolos, TCP y UDP.

#### Protocolo TCP.

En el Protocolo de Control de Transmisión (TCP), RFC 793 [7], las conexiones se componen de tres etapas: establecimiento de la conexión, transferencia de datos y fin de la conexión.

TCP monitoriza la red para evitar la congestión además de controlar el flujo de datos mediante una ventana deslizante y es capaz de detectar la aparición de errores y las posibles pérdidas de paquetes además de gestionar la ordenación de esos paquetes. La unidad de datos se denomina segmento TCP y a esta se le añade la cabecera TCP. Ambas, cabecera y datos se encapsulan en el *payload* o carga útil de un datagrama IP.

**Protocolo UDP.**

El protocolo de datagramas de usuario (UDP), RFC 768 [8], no realiza gestión alguna del flujo de datos, ni control de la congestión, ni garantiza la entrega de mensajes. Cualquier tipo de garantías para la transmisión de la información deben ser implementadas en las capas superiores o de aplicación. La unidad de datos se denomina datagrama UDP. A estos datos se les añade la cabecera UDP y se encapsulan en la parte de datos de un datagrama IP.

**El protocolo IP.**

En la capa de red se tiene el protocolo de internet, RFC 791 [9], basado en datagramas, no fiable y no orientado a la conexión. La unidad de datos que envía este protocolo es el datagrama IP.

Si el nivel de enlace es Ethernet, el datagrama IP viaja en la parte encargada del transporte de datos de la trama Ethernet.

Para la capa de enlace el modelo TCP /IP menciona que los dispositivos que se conecten a la red necesitan implementar el mismo protocolo en ambos extremos de la comunicación con el fin de enviar y recibir el tráfico datos. Se trabajará con el protocolo Ethernet IEEE 802.3 [10], que es un protocolo de red que controla el método de comunicación entre ordenadores y dispositivos. Este ofrece un método seguro y fiable de intercambio de datos entre máquinas. Los datos se transmiten en tramas Ethernet en las cuales, en la parte donde se alojan los datos viajarán la información que se ha ido generando en las capas superiores. Un paquete está formado por dos tipos de campos: la cabecera y la carga útil.

Según han ido evolucionando las tecnologías, este protocolo Ethernet ha ido sufriendo diversas modificaciones o mejoras donde se ha ido aumentando la velocidad de transmisión y reduciendo el tiempo de cada bit. En este proyecto se va a trabajar en el circuito principal con una red Gigabit-Ethernet que posee una velocidad de transmisión de 1 Gbps y en el circuito secundario, la red de internet.

**2.1.2. VLAN.**

Una red de área local virtual (Vlan), es una forma de establecer redes lógicas (vía software) independientes dentro de una red física. Esta red se basa en *switches* especialmente diseñados para este propósito. Estos poseen la capacidad de aislar el tráfico de dispositivos que pertenecen a diferentes Vlans que están conectados directamente a dicho *switch*. Las Vlans basan su

configuración y su funcionamiento en el protocolo IEEE 802.1Q, o dot1Q [11]. Este protocolo define un mecanismo que permite a múltiples redes compartir de forma transparente el mismo medio físico, sin problemas de interferencia entre ellas. Por un *Trunk*, que es una conexión física, se puede transportar diferentes Vlans. Un *Trunk* se define en una conexión entre 2 *switches*.

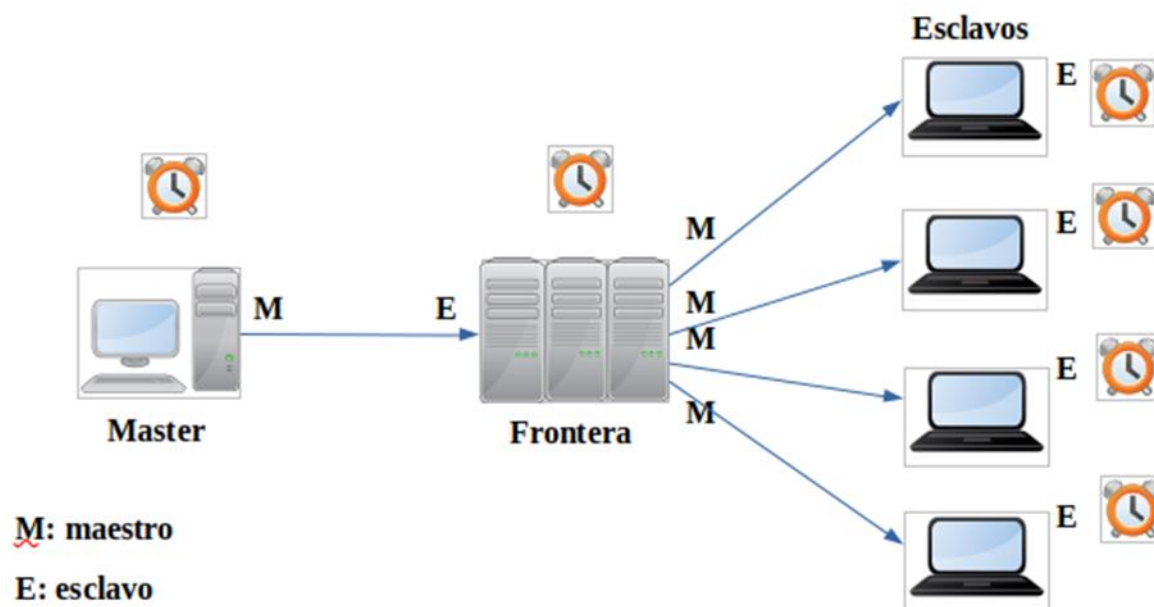
Para poder distinguir el tráfico entre diferentes Vlans, es necesario que dicho tráfico contenga el identificador de la Vlan a la que pertenece. Para ello se añade 4 bytes al encabezado Ethernet original. El valor del campo EtherType se cambia a 0x8100 para señalar el cambio en el formato de la trama.

Al IEEE 802.1Q se le incorporó el puenteo del camino más corto (SPB) que es una tecnología que establece el enrutamiento multicamino, lo que permite mantener activas todas las rutas con un reparto similar del volumen del tráfico de datos por cada una de las rutas, evitándose los bucles en la red que producirían difusiones incesantes de datos en la capa de enlace lo que provocaría que se consumiese todo el ancho de banda disponible para la transmisión de datos colapsando esa red.

### **2.1.3. PTP.**

Para la sincronización de equipos a través de la red IP se utiliza el Protocolo de tiempo de precisión (PTP) que fue definido en el estándar IEEE 1588-2002 o PTPv1 que fue actualizado en el año 2008 [12], IEEE 1588-2008 en su versión PTPv2 [13].

El funcionamiento elemental del estándar es el siguiente: un dispositivo de la red actuará como reloj maestro e irá enviando mensajes de sincronización temporal a los distintos elementos que forman la red los cuales funcionarán como esclavos, tal y como se puede observar en la **Figura 4**. Un dispositivo puede ser esclavo respecto al reloj maestro y suministrar la señal de reloj como si fuese reloj maestro para esos otros esclavos. Estos mensajes de sincronización contienen marcas temporales que indican cuándo fueron transmitidos y recibidos, con lo que se podrá calcular el desfase temporal existente entre los dispositivos. Los equipos que generen la señal de reloj vía hardware podrán realizar la función de máster.



**Figura 4.** Esquema distribución de la señal de reloj.

PTP utiliza como tiempo de referencia la escala o Tiempo Atómico Internacional (TAI). La fecha de inicio se establece las 00:00 del 01/01/1970. Cada “Timestamp” o marca de tiempo, que va incluida en los mensajes tiene 80 bits.

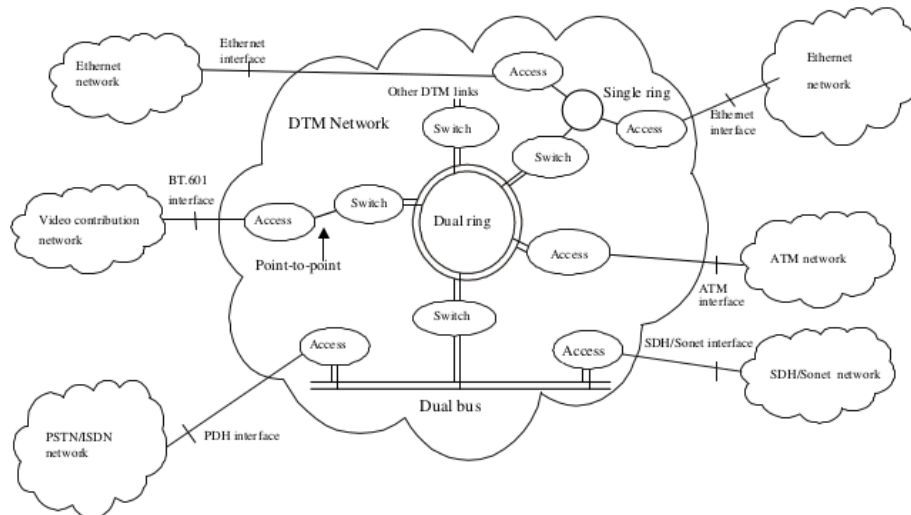
Los mensajes PTP se envían a la dirección multicast 224.0.1.129 y puerto 319. Estos mensajes llegarán a todos los equipos de la red de forma simultánea y automática gracias al estar suscritos al grupo multicast.

#### **2.1.4. DTM.**

El protocolo modo de transferencia dinámica (DTM) es una técnica de red de conmutación de circuitos y multiplexación por división temporal estandarizada por el Instituto Europeo de Normas de las Telecomunicaciones (ETSI), en el año 2001 a partir de la especificación ETSI ES 201 803-1 [14].

DTM combina las ventajas de las redes que utilizan la multiplexación temporal de componentes (TDM) síncronas actuales (SDH/SONET) lo que lo hace ideal para el transporte de tráfico con requerimientos especiales como son las señales audiovisuales: telefonía, vídeo y tráfico de datos porque garantiza la calidad de servicio en la red, es decir, tener un retardo constante, un *jitter* o fluctuación del retardo debido a la variabilidad temporal durante el envío de señales digitales bajo, fiabilidad en la entrega de paquetes, aislamiento de canales y un ancho de banda garantizado y, las ventajas de las redes de conmutación de paquetes, como ATM o Gigabit

Ethernet, la flexibilidad y alta utilización de estas redes. De esta manera, se asegura la eficiencia y la estabilidad de los canales en tiempo real que están siendo sometidos a una gran carga en la red debido al gran volumen del tráfico que circula por esta e incluso, cuando se multiplexa con otro tráfico a través de la misma fibra o Conexión SDH/SONET [15]. En el **Anexo I** se describe el funcionamiento y características del protocolo. En la **Figura 5**, se ve una implementación tipo de un sistema DTM.



**Figura 5.** Ejemplo tipo sistema DTM.

## 2.2 Tecnologías utilizadas en el circuito de la señal de vídeo.

Los equipos relacionados con el circuito de vídeo trabajarán con la recomendación o estándar de la ITU-R BT.709-6 [16], que define los valores de los parámetros de la televisión en alta definición (HDTV) para la producción y el intercambio internacional de programas. Este estándar define el formato HD (1080i50) que posee la relación de aspecto 16:9, con una resolución espacial de 1080 líneas y con 1920 muestras activas por cada línea, una profundidad de píxel, o número de bits utilizados para representar el nivel de intensidad de cada píxel de 10 bits, escaneado entrelazado y relación de aspecto del píxel 1:1.

### 2.2.1. Espacio de Color.

Los dispositivos de captación de imágenes que se utilizan en el mundo profesional del Broadcast poseen la matriz de conversión del espacio de color rojo verde y azul (RGB) al espacio (YCbCr). Se realiza esta conversión entre espacios debido principalmente a que el

espacio RGB requiere de gran espacio de almacenamiento y ancho de banda de transmisión al precisar de las tres componentes R, G, B, es decir 3 veces la resolución espacial de la imagen.

El espacio YCbCR convierte por medio de una transformación lineal las tres componentes RGB en otras tres componentes:

- Y: componente de Luminancia o *luma* que solo aporta información del brillo del color.
- Cb y Cr: componentes de Crominancia o *Croma*. Es la diferencia entre la componente azul o roja y un valor de referencia. que solo aportan información del tono del color y de su saturación.

Las tres componentes están corregidas para compensar la gamma o la respuesta no lineal tensión-brillo que presentaban los tubos de rayos catódicos originales por lo que las componentes pasan a ser denominadas como Y' Cb'Cr'.

Además, en este espacio Y'Cb'Cr' se realiza el submuestreo de color que es un tratamiento de la señal de vídeo por el cual se reduce la información de la croma y que consiste en reducir el número de píxeles con los que se codifican las componentes de color reduciendo por tanto la tasa de transmisión binaria.

El sistema de visión humana está formado básicamente por dos tipos de neuro receptores: los especializados en la visión acromática, es decir, en la presencia/ausencia de luz (denominados *bastones*) y, los responsables de las sensaciones cromáticas y de la agudeza visual (denominados *conos*). Como los bastones son mayores en número, se puede, reducir la información del color mediante los submuestreos de color.

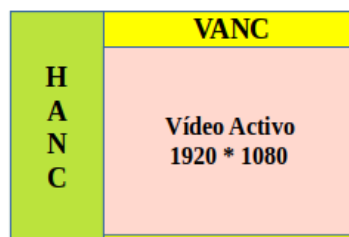
Los submuestreos más utilizados son 4:2:2 y 4:2:0. En el formato 4:2:2: las componentes de crominancia Cb' Cr' se filtran a la mitad de su ancho de banda con lo que se obtiene una resolución horizontal mitad a la resolución horizontal de Y', siendo la misma en la resolución vertical. Es el formato por defecto utilizado en la producción de TV [17].

En el 4:2:0: las componentes Cb' Cr' se filtran a mitad de su ancho de banda tanto en horizontal como en vertical, obteniéndose una resolución mitad en ambas dimensiones. El tamaño total de cada componente se reduce 1/4. Este formato se usa principalmente en la difusión y distribución de contenidos ya que se reduce considerablemente la tasa de transferencia binaria y el espacio de almacenamiento.

### 2.2.2 Interfaz HD-SDI.

Todos los dispositivos del circuito de vídeo que vamos a manejar en este TFG se interconectan entre sí cumpliendo el estándar de la SMPTE-274M [18], interfaz digital serie (SDI) en su formato para señales de Alta Definición (HD-SDI), a través de un cable coaxial tipo conector de cierre en bayoneta (BNC). Este interfaz SDI, es el sistema de cableado y estándar de transmisión de vídeo en tiempo real de los sistemas e instalaciones del sector Broadcast. Este estándar pertenece a la familia de interfaces digitales que se usan para transmitir señales digitales de audio (20 bits) y vídeo en componentes Y'Cb'Cr' (10 bits) sin comprimir con regímenes binarios muy elevados lo que hace que su uso sea restringido a distancias cortas, como máximo 300 metros.

#### Frame SDI completo



**Figura 6.** Formato de un campo de la señal SDI.

Se opta por trabajar en este proyecto con el formato HD-SDI por dos motivos principales:

- El interfaz SDI en sus diferentes formatos de señal permite embeber la señal de audio en los datos auxiliares de la parte de vídeo. De esta manera estamos consiguiendo una solución más económica ya que históricamente todos los centros de producción poseen las infraestructuras para trabajar con este interfaz.
- No todos los centros de producción poseen aún las infraestructuras adecuadas para trabajar directamente con señales audiovisuales en formato IP. Se necesitaría un gran desembolso económico para renovar y modernizar las instalaciones actuales.

### ***2.2.3. Compresión de la Señal de Vídeo.***

El conjunto de las señales generadas por las cámaras va a demandar un ancho de banda total de 8,91 Gbps, ver **Anexo III**. Recordemos que la capacidad de nuestro enlace es de solamente 1 Gbps, necesitamos por tanto comprimir esa señal.

Los dos factores de red que van a influir notablemente en el rendimiento de nuestro sistema son: el ancho de banda de la red (cuántos bits por segundo puede transportar) y la latencia (cuánto tiempo tarda el primer bit en llegar a su destino).

En lo que se refiere al ancho de banda tendremos que diferenciar entre, la transmisión de la señal de cámara que se produce utilizando el medio no guiado fibra óptica entre el cuerpo de cámara y la estación base que prácticamente no tiene limitaciones en el ancho de banda, y la que se producirá entre la salida de ambos codecs Nimbra y el centro de producción

El ancho de banda disponible tanto en una red IP gestionada o sin gestionar (Internet) no siempre permite manejar señales de cámara en banda base tal y como acabamos de comprobar anteriormente, por lo tanto, se hace necesario utilizar algún tipo de compresión en la señal de vídeo. En este TFG vamos a utilizar dos tipos de codificación, por un lado, tenemos la codificación JPEG2000-parte 3 [21] y por otro la codificación H.264 o MPEG-4 parte 10 [22].

#### **JPEG 2000.**

El estándar de compresión y codificación digital de imágenes JPEG2000-parte 3, no emplea la compresión de estructura temporal. En su lugar, cada fotograma es tratado como una entidad independiente codificada por una variante con o sin pérdida. Para ello se usa lo que se conoce como codificación Intra-frame donde sólo se utiliza la información de la propia imagen y gracias a la redundancia espacial, donde un píxel de una imagen es igual o semejante a sus vecinos con lo que en vez de transmitir o almacenar todos los píxeles, únicamente se transmitirá o almacenará el píxel más representativo del conjunto y las diferencias entre los píxeles adyacentes y el más representativo así las diferencias se codifican con un menor número de bits. Todos los elementos necesarios para su reconstrucción por el decodificador se encuentran en la propia imagen.

Este formato se basa en la transformada Wavelet en lugar de la Transformada Discreta del Coseno (DCT) que utilizaba el estándar original. La señal de audio soporta la Modulación de código de pulso lineal (LPCM) así como diversas variantes de MPEG-4 [23].



Esta compresión se define en la norma ISO / IEC 15444-3 y en la UIT-T T.802. En él se especifica el uso del codec JPEG2000 para las secuencias de imágenes programadas (secuencias de movimiento), combinado con audio, y compuesto en una presentación global. También se define un formato de archivo contenedor, extensiones para archivos de vídeo Motion JPEG 2000, MXF [24].

## **H.264.**

El estándar de compresión de vídeo H.264 o MPEG-4 parte 10 proporciona una buena calidad de imagen con tasas binarias notablemente bajas. Utiliza la transformada discreta del coseno junto a la compensación de movimientos que es una técnica que consiste en eliminar la redundancia temporal existente entre las imágenes que componen una secuencia. De esta forma aumentamos la compresión. Posee tamaños de bloque (grupos de píxeles) variable: 16x16, 8x8, 16x8, 8x16, 8x8, 8x4, 4x8, 4x4 y es capaz de eliminar los efectos de bloques mediante el uso de un filtro adaptativo de-blocking.

Cuando se comprime una señal, la latencia en la transmisión de esa señal aumenta y este hecho puede ser crítico en algunos casos. Pongamos por ejemplo una retransmisión deportiva multicámara en directo, donde la realización exige un gran número de planos de imagen. Si esta producción se desarrolla al aire libre las condiciones meteorológicas y de luz pueden no ser las ideales. El supervisor de imagen necesitará corregir constantemente los diafragmas de las cámaras mediante el uso del panel de control de operación (OCP), y estas modificaciones deben surtir efecto de manera instantánea. En estos casos, latencias superiores a 150 ms no serán aceptables. Las producciones remotas requieren de unas latencias muy bajas para las transmisiones de la señal de vídeo.

El codec y la relación de compresión dependerán de la línea de transmisión a utilizar. Por ejemplo, con la codificación JPEG2000, que se utilizará en el circuito principal, se puede utilizar una ratio de compresión 10:1 que es una solución intermedia entre la calidad de la imagen, la tasa de bit y la estabilidad de la transmisión. Si aumentáramos en exceso la compresión veríamos como aparecen artefactos de compresión sobre todo en aquellas secuencias o zonas de la imagen que fuesen muy dinámicas, que poseen mucho movimiento. Como esta producción está destinada a retransmitir partidos de baloncesto donde el ritmo de juego es en ocasiones vertiginoso, podríamos apreciar como disminuye la calidad de la imagen, lo cual es inadmisibles. Si, por el contrario, disminuyéramos la relación de compresión llegaría

un momento que se perderían paquetes con la información a transmitir porque la capacidad del enlace es fija y constante y estaríamos saturando la red, lo cual es también inaceptable. Así que ese valor elegido es óptimo para las condiciones de la red y, por tanto, para la transmisión.

Entretanto, con el codec H.264, podemos trabajar con la extensión High que admite submuestreo de 4:2:0 y hasta 8 bits por muestra, posee perfil alto y nivel 4.1. [25]. El perfil define un conjunto de características que deben soportar los codecs si quieren declararse compatibles con dicho perfil y el nivel define distintos límites en parámetros de codificación como la tasa máxima de bits por segundo o el máximo número de macrobloques que los decodificadores deben ser capaces de cumplir si quieren declararse como compatibles con dicho nivel. Así que para ese perfil y nivel se admite un ancho de banda máximo de 62,5 Mbps. El ancho de banda de un canal HDTV suele ser de unos 20 Mbps así que vamos a aplicar una ratio de compresión 75:1 para que en la recepción tengamos una señal de 20 Mbps que estará dentro del margen que nos define el estándar y que es una solución intermedia entre la calidad de la imagen, la tasa de bit y la estabilidad de la transmisión.

La señal de audio, debido a su naturaleza, requiere de un ancho de banda menor que la señal de vídeo por tanto no requiere de ningún tipo de compresión, pero si exige un transporte transparente.

## 2.3. Tecnologías utilizadas en el Circuito de la Señal de Audio.

En esta producción se manejarán dos tipos de señales en el circuito de audio, señales analógicas y digitales.

### 2.3.1 Audio Analógico.

En el audio analógico tendremos señales con nivel de micro y señales con nivel de línea:

- **Nivel de micro:** es el nivel de señal proporcionado directamente por el transductor, siendo los niveles desde -60 dBu a -40 dBu. Este nivel depende principalmente de tres factores: la tecnología del transductor, la sensibilidad de la capsula que se mide en mV/Pa o dBu y el nivel de presión sonora máximo (SPL max) que soporte el transductor [26].

Como se puede apreciar el nivel de la señal de micrófono es tan débil que lo primero que se debe de realizar es adecuar ese nivel al nivel de línea, es decir, aumentar la amplitud de esa señal antes de realizar cualquier tipo de operación o procesado de la señal.

- **Nivel de línea:** proporcionado por los dispositivos cuyos niveles de salida de referencia al nivel de alineamiento analógico es 0 VU = +4 dBu, o su equivalente digital -18dBFS.

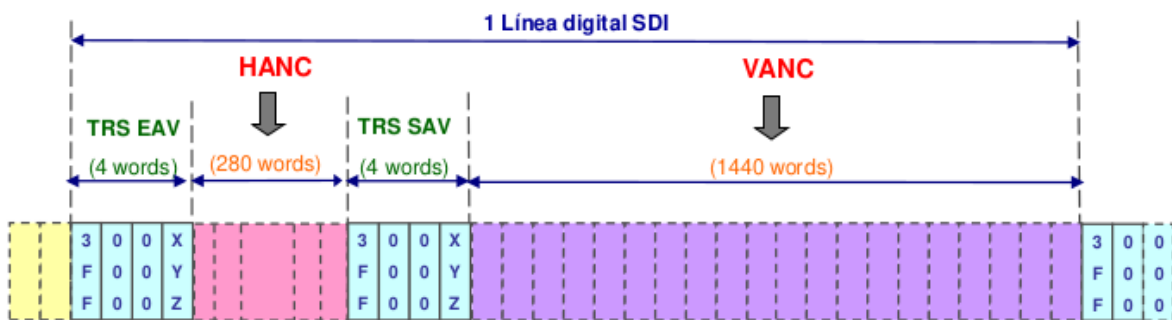
### 2.3.2. Audio Digital.

El protocolo de la Audio Engineering Society y European Broadcast Union, (**AES/EBU**) ha sido adoptado con el propósito de transmitir el audio digital entre los aparatos profesionales de audio digital. Utilizando TDM, este interfaz digital permite: la multigeneración/copia de la señal sin pérdidas, eliminar las distorsiones por diafonías y ruido introducidos por amplificadores, eliminar las distorsiones por respuesta no-lineal de dispositivos analógicos. Además, permite la transmisión robusta con una tasa de error binario (BER) baja y el transporte de metada adicional a los canales de audio. El formato AES3-1992 permite transportar dos canales de audio digital intercalados. Gracias a la multiplexación TDM se pueden transmitir 2 canales en serie por un único cable de hasta 6 MHz de ancho de banda que, o bien puede ser el mismo cable balanceado con conectores XLR, que se utilizan para el audio analógico, o con conectores multipin tipo Sub-D.

El estándar AES/EBU [27], también contempla la posibilidad de comunicaciones de audio digital empleando conexiones no balanceadas, pero en este caso se emplea cable coaxial (RG-59) de una impedancia de 75  $\Omega$  y conectores BNC

### 2.3.2.1-Audio Digital Embebido.

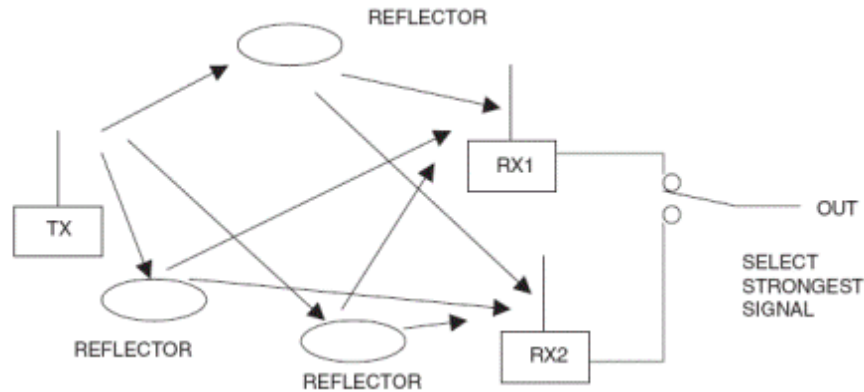
Es el audio digital que va incluido en la trama de la señal de vídeo digital en formato SDI. La señal de audio y de vídeo viajan por un mismo medio no guiado como puede ser un cable coaxial o fibra óptica en formato AES3 con una cuantificación de 24 bits y su información de control se alojan en el espacio que ocupan los datos auxiliares en la trama de vídeo SDI según el estándar SMPTE 292 que como se ve en la **Figura 7**. se alojarían en los datos horizontales auxiliares (HANC) [28].



**Figura 7.** Ejemplo trama HD-SDI.

### 2.3.3. Sistema Diversity.

La técnica conocida como “diversidad espacial” o Sistema Diversity se utiliza para combatir dos fenómenos que se producen en la recepción de señales de radiofrecuencia. Por un lado, tenemos el efecto que se denomina “multicamino” esto es, que la señal transmitida puede llegar al receptor de modo directo, de antena a antena más otro conjunto de señales debidas a las múltiples reflexiones que pueden sufrir las ondas electromagnéticas al incidir en diversas superficies como pueden ser las paredes o techos que se encuentran en su trayecto recorriendo un camino más largo tal y como se puede apreciar en la **Figura 8** [29]. Este fenómeno provoca que en la antena receptora tendremos un buen número de señales con distintas fases y amplitudes que pueden cancelar parte de la señal principal mermando su calidad en la recepción [30].



**Figura 8.** Ejemplo de *multicamino* sufrido por una señal de radio frecuencia.

El segundo de los fenómenos se da cuando se utilizan varios canales simultáneamente con sendos transmisores emitiendo con frecuencias muy próximas entre sí. En la recepción se van a producir cancelaciones parciales en alguna de las señales. Así que con este sistema se dispone, para cada canal, de dos antenas conectadas a dos receptores idénticos. Un circuito se encarga de controlar continuamente la potencia de la señal recibida por cada receptor y de seleccionar automáticamente aquel que reciba con más calidad. Si ambos receptores reciben señal de una manera óptima, la salida del receptor será la suma de ambas señales. Para suavizar las diferencias de amplitud de las señales recibidas se dispone de un fundido entre ambas señales.

La distancia de separación entre antenas depende de la frecuencia con la que se esté operando. De esta forma se logra que las relaciones entre las distintas ondas recibidas (directa y reflejadas) sean diferentes para cada antena siendo poco probable que una zona de sombra para una antena lo sea también para la otra.

La selectividad en los sintonizadores determina la calidad en la recepción en presencia de un gran número de señales. Un receptor puede tener un buen comportamiento cuando hay un único transmisor en uso, pero si tiene un valor de selectividad bajo y se utilizan varios transmisores la calidad disminuirá ostensiblemente.

## 2.4. Tecnologías utilizadas en el Circuito de la Señal de Comunicaciones.

En esta solución diferenciamos el circuito de comunicaciones del circuito de audio, aunque en ambos casos se van a manejar señales de audio, pero tanto los cometidos como los protocolos son diferentes.

### 2.4.1. Dante.

Dante es una combinación de protocolos de software, hardware y red que permite trabajar en tiempo real con señales de audio digital, sin comprimir y de baja latencia en entornos de red basados en IP, que sigue un modelo no orientado a conexión, basado en datagramas y no fiable. Hoy en día es una de las múltiples soluciones que existen en el mercado para la distribución en tiempo real de audio y otros contenidos multimedia, pero en su momento mejoró las tecnologías de transmisión de audio por Ethernet previas como CobraNet o EtherSound [31].

Como protocolo del nivel de transporte Dante, utiliza UDP que a pesar de no proporcionar control de flujo y de tener un servicio de entrega de datagramas no fiable y no ordenado, es más ligero que TCP lo que resulta idóneo para aplicaciones de red que se ejecuten dentro de una subred, sin encaminadores y donde las pérdidas de paquetes son poco probables. En este caso la velocidad en la transmisión es más importante que la precisión.

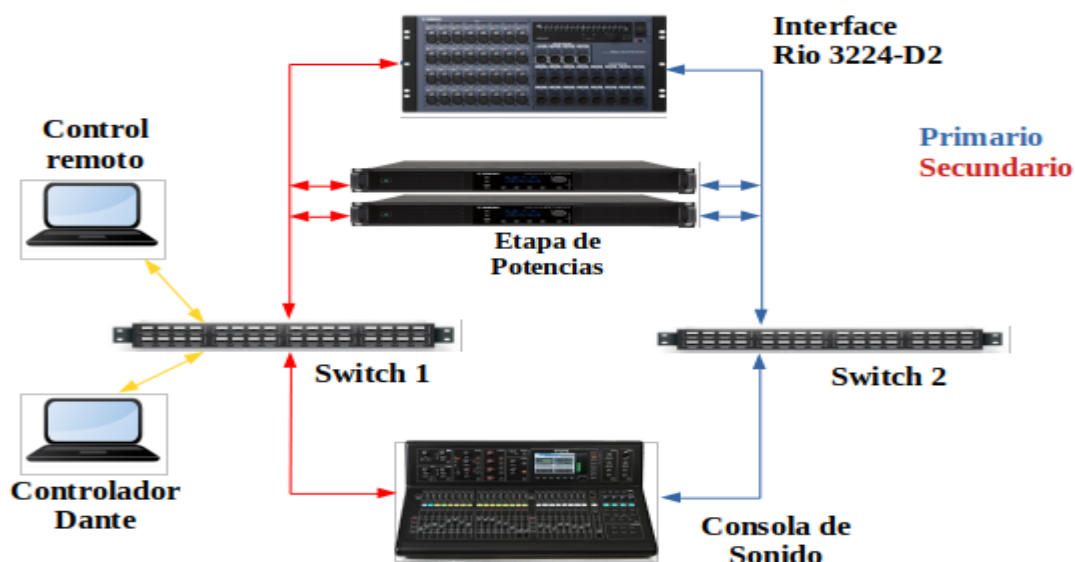


Figura 9. Esquema tipo de una red Dante

### 3. DESCRIPCIÓN DE UNIDAD MÓVIL.

Ahora pasaremos a enumerar y definir los circuitos, los dispositivos y los diferentes espacios en los que se puede dividir una unidad móvil ya que el concepto de producción remota parte de la idea de una “*producción in situ*” en donde el elemento principal es la unidad móvil.

#### 3.1. Circuitos de señal en Unidad Móvil.

En términos de señal, una unidad móvil consta de cuatro áreas o circuitos dedicados que son: el circuito de la señal de vídeo, el circuito de la señal de audio, la infraestructura de enrutamiento/ distribución de señales y el circuito de intercom/comunicaciones.

**El circuito o sistema de vídeo consta de:** Video Mixer (Mezclador de vídeo), un sistema de grabación/reproducción de vídeo, el conjunto de las cámaras y un sistema de grafismo y rotulación.

**El circuito o sistema de sonido consta de:** un mezclador, los codecs de audio, las escuchas de programa, los receptores de microfonía inalámbrica y los Procesadores de frecuencia, dinámica y tiempo.

**El circuito o sistema de enrutado consta de:** una matriz de vídeo, audio e intercom, los distribuidores de la señal de vídeo y los de la señal de audio y un generador de sincronismos propio de la unidad móvil.

**El circuito de intercomunicaciones consta de:** los paneles de intercom.

El flujo de la señal en una unidad móvil es el siguiente. A la unidad móvil llegaran las señales generadas por el conjunto de cámaras y las señales sonoras con sus niveles de presión sonora captados por la microfonía (sonido ambiente y comentaristas), desplegadas en el lugar del evento.

Los cuerpos de cámara están conectados mediante el medio guiado fibra óptica a la unidad de control de cámara (CCU), que actúa como interfaz entre el cuerpo de cámara y el resto del equipamiento.

A la salida de las CCUs se tiene una señal en formato SDI en banda base que va a atacar a:

- los distribuidores de vídeo desde donde se puede enrutar esa señal al multiviewer que es un dispositivo que permite crear un mosaico de imágenes escalando “n “señales en formato SDI en una única señal, para ser visualizada en una pantalla.
- O la matriz de conmutación de N entradas y M salidas (N x M) que también se denominan matrices X-Y o Router de vídeo y que es el elemento principal del sistema de enrutado del circuito de la señal de vídeo. La interconexión entre los diferentes equipos involucrados en este circuito se realiza mediante el uso de esta matriz en la que una entrada se puede asignar a múltiples salidas, pero una salida sólo estará conectada a una única entrada.

Todas las fuentes de señal de vídeo deben de estar sincronizadas para que puedan ser conmutadas/mezcladas en tiempo real [32]. Para ello se usa el generador de pulsos de sincronismo (SPG) que es el encargado de generar esta señal de sincronismo. Esta señal es del tipo analógica y se la denomina sincronismo y *Burst* (BB) y se utiliza para el formato digital definición estándar (SD) y si el formato es HD se utiliza otra señal llamada *Tri-Level Sync* o sincronización de tres niveles que es un pulso de sincronización también en formato analógico

Toda unidad móvil cuenta con un sistema de reproducción de repeticiones que van a lanzar vídeos grabados para su posterior reproducción.

Además, las unidades móviles suelen disponer del sistema de grafismo y rotulación de la señal de vídeo, aunque a veces esta operación se puede realizar desde el control de realización situado en el centro de producción.

El equipo principal del circuito de vídeo es el video mixer o mezclador de vídeo. Todas las fuentes de señal de vídeo (cámaras, video grabadores/reproductores) se introducen en el mezclador donde se realiza toda la composición de imágenes por medio de mezclas, transiciones, generación de efectos (rotaciones 2D y 3D), rotulación, etc. y que formarán la señal final en formato SDI del contenido audiovisual o de programa que posteriormente será enviada a un distribuidor de vídeo y desde este al embebedor de señal en formato SDI de programa.

Por su parte todas las fuentes generadoras de señal de audio involucradas en la producción entregarán su señal al elemento central de este circuito que es el mezclador de audio. A su salida,



se tendrá una señal de audio denominada señal de programa de audio y que se enviará a un distribuidor de audio y desde este, al embebedor de audio y vídeo de programa.

Las señales de audio y vídeo procesadas por cada circuito independientemente se deben multiplexar en un proceso que se conoce como embebido de la señal de audio en la señal de vídeo, proceso que se describe en el **apartado 2.3.2.1**. La señal audiovisual resultante global o señal de programa será la señal de salida de la unidad móvil la cual atacará a una DSNG, para realizar el envío del contenido audiovisual desde el lugar del evento al satélite y desde este al centro de producción.

Algunas unidades móviles cuentan con un circuito de Fibra óptica dedicado a modo de back-up. Si fallase el circuito principal, la transmisión satelital se conmutaría automáticamente al circuito de transmisión por fibra óptica.

La distribución espacial en una unidad móvil se divide en cuatro áreas de trabajo bien diferenciadas: Control de realización, Control de sonido, Control de Cámaras y la sala de aparatos o equipos.

## **3.2. Distribución Espacial en Unidad Móvil.**

La distribución de los equipos en los diferentes controles sería la siguiente:

### ***3.2.1. Control de realización.***

Aquí se suelen situar las superficies de control, los mandos remotos o controles de las electrónicas: el video mixer (Mezclador de vídeo), los mandos remotos del grabador/reproductor del servidor de vídeo digital que se usará como un sistema de repetición (sistema de producción de vídeo digital en vivo), el puente de monitorado de las señales de vídeo donde se mostrará el multiviewer, las escuchas de programa, los amplificadores de referencia y los paneles de intercom.

**3.2.2. Control de sonido.**

En este se situará la superficie de control y los distintos equipos destinados al procesamiento de la señal de audio: la superficie de control, las escuchas de referencia, los codecs de audio, los diferentes patch-panels, el panel de intercom, los reproductores de señal de audio, los procesadores de tiempo, de frecuencia y de dinámica.

**3.2.3. Control de cámara.**

Las OCPs, el Vectorscopio, el puente de monitorado de vídeo, donde se visualizan todas las cámaras por separado y el panel de intercom.

**3.2.4. Control técnico y sala de aparatos o equipos:**

Donde se situará toda la electrónica o dispositivos: las CCUs, las matrices de vídeo, audio e intercom, los distribuidores de la señal de audio y de vídeo, los patch-panels de la señal de vídeo y de la señal de audio, el generador de sincronismos, el receptor GPS, los codecs de audio, los embebedores de las señales de audio y vídeo y el analizador de la señal de vídeo

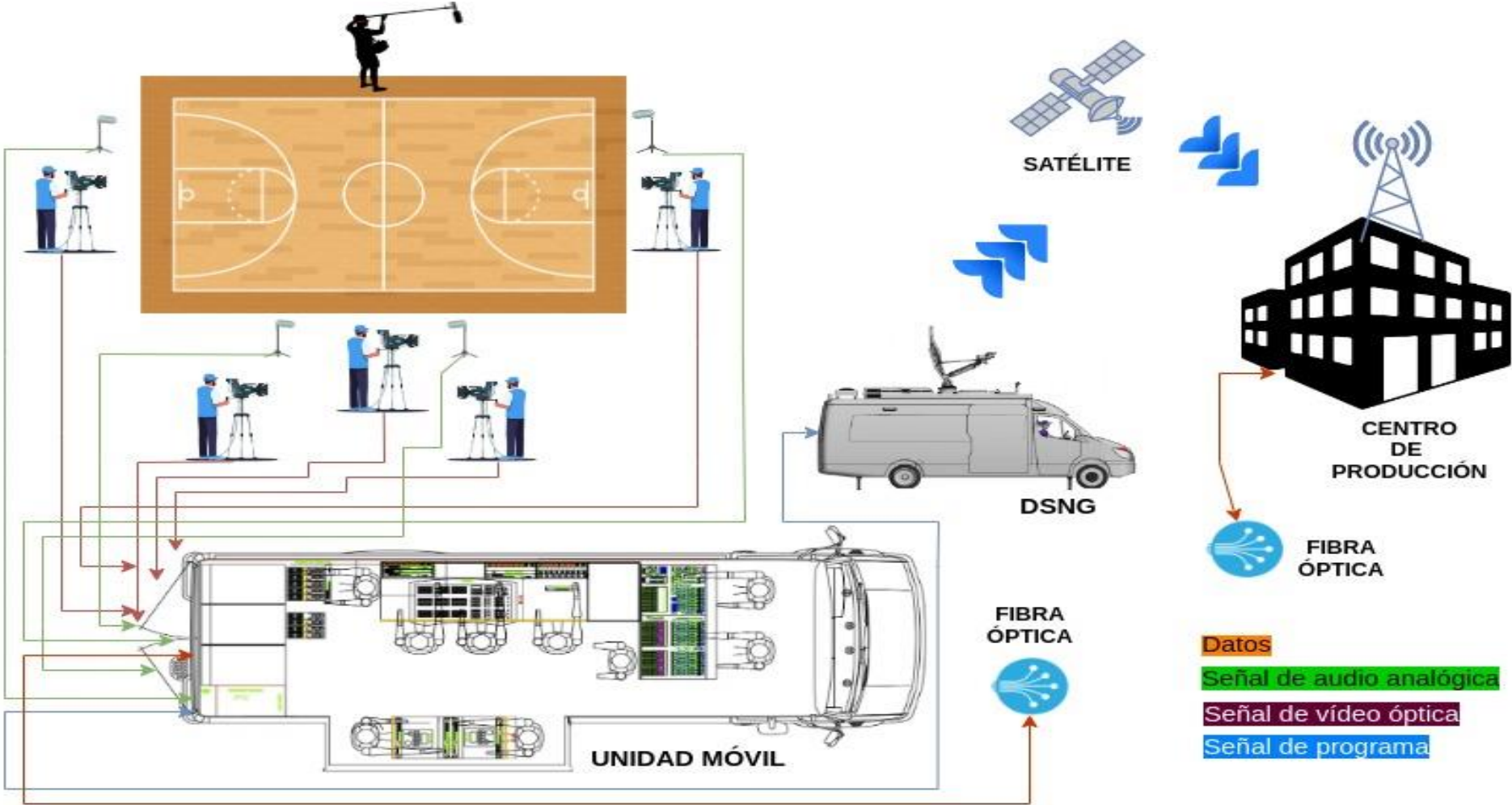


Figura 10. Esquema de “producción in situ” con una Unidad Móvil

## **4. DESCRIPCIÓN DE CADA CIRCUITO Y EQUIPAMIENTO SITUADO EN LA UNIDAD REMOTA.**

En este apartado se va a describir cada uno de los cuatro circuitos en los que a su vez se subdivide este proyecto y seguidamente, los equipos que forman cada circuito. Los cuatro circuitos serán los siguientes: Circuito de la señal de Vídeo, Circuito de la señal de Audio, Circuito de Comunicaciones y el Circuito de Control y Datos.

### **4.1. Circuito de Señal de Vídeo.**

Podemos dividir el circuito de la señal de vídeo en los siguientes sistemas: sistema de generación de la señal de vídeo, sistema de enrutado y distribución de la señal de vídeo, sistema generador de sincronismos, Sistemas Auxiliares y sistema de codificación y transmisión de la señal. Este último circuito se describirá ampliamente en el **apartado 4.4.** Circuito de datos y de control.

Para esta producción remota se dispone de 6 cámaras situadas en diferentes posiciones siguiendo o bien la acción del juego o tomando un plano fijo del reloj de juego. Las señales de vídeo proporcionadas por cada una de estas cámaras necesitan ser enrutadas a los diferentes dispositivos que forman parte de este circuito para ser comprobadas, o ser utilizadas como medio de transporte de la señal de audio, o como señal de referencia para las personas encargadas de la narración del evento. Para ello se hace necesario utilizar un dispositivo que tenga una amplia versatilidad a la hora de encaminar estas señales en el orden que sea oportuno. Estamos hablando de las matrices de conmutación de vídeo con N entradas y M salidas. Como complemento a estas matrices se utilizan los distribuidores de señal en formato SDI que pueden alimentar con una fuente de señal a un gran número de destinos.

El circuito de la señal de vídeo funciona de la siguiente manera:

1. Las imágenes serán captadas por el conjunto de cámaras desplegadas en lugar del evento, las cámaras de la serie LDX 86N de la prestigiosa marca Norteamericana Grass-Valley, y la minicámara Marshall CV-420.

2. La señal óptica generada por los cuerpos de cámara Grass-Valley se transmite en banda base siguiendo una única trayectoria o monomodo con lo que la dispersión dentro de la fibra óptica de la señal será mínima de forma que el pulso de luz que entra al cable se puede reproducir con mucha exactitud en el extremo de recepción, obteniéndose por tanto un mayor ancho de banda y una mayor capacidad de transporte de información. Por esta Fibra óptica, además de la señal de vídeo viajarán hasta la CCU, la señal de intercom con las posibles órdenes a las personas encargadas de operar las cámaras y, dependiendo de la cámara que sea, la señal sonora captada por el micrófono de ambiente instalado en esa cámara.
  
3. A la salida de la CCU tendremos una señal HD-SDI de vídeo que ataca a la matriz de vídeo. La Matriz de vídeo es la encargada de suministrar las diferentes señales HD-SDI a los siguientes dispositivos: entramadores HD-SDI, los monitores de referencia y el analizador de la señal de vídeo.

El proceso de embebido de la señal de audio en la parte de la señal de vídeo HD-SDI es como sigue. La señal HD-SDI de vídeo de las cámaras 1, plano máster y 2, plano de cortos, atacarán cada una de ellas a un entramador de audio y vídeo para embeber en sus correspondientes señales HD-SDI de vídeo la señal de audio de la microfonía desplegada en el evento proporcionada por la matriz de audio. En concreto, en el embebedor 1 tendremos “n” señales de audio proporcionada por la matriz y en el embebedor 2 otras tantas señales de otros micrófonos distintos a los del embebedor 1. Las salidas de ambos embebedores vuelven a enviarse a la matriz de vídeo con la señal de audio embebido y desde esta se ataca al sistema Nimbra VA 640 que enviará la señal codificada al centro de producción.

El sistema Nimbra el VA220 es el dispositivo de reserva que se va a encargar de enviar la señal de vídeo de la cámara 1 junto a los mismos audios del embebedor 1 así, si fallase el dispositivo principal tendríamos la posibilidad de seguir enviando la señal audiovisual.

Además de la señal óptica, la CCU recibe también la señal de referencia distribuida del generador maestro o SPG que se transmitirá de vuelta a la cámara, en concreto por la entrada denominada de referencia con el fin de sincronizar sus circuitos de barrido y entregar una señal sincrónica con dicho generador y con todas las demás señales que hay presentes en el sistema.

El sistema Nimbra VA640 posee una profundidad de bit de 10 bits frente a los 8 bits del VA220 esto va a redundar en una mayor cantidad de niveles que va a ser capaz de cuantificar linealmente y por tanto ofrecerá imágenes con una mayor calidad que el VA220.

El dispositivo principal Nimbra el VA640, recibirá una señal de retorno de vídeo proveniente del centro de producción denominada “*quad-split*” que contiene una multi-ventana con 4 señales de vídeo, una por cada cámara más la señal de cámara con el plano del reloj. Esta señal multicámara la generará el vídeo mixer o mezclador de vídeo, en uno de los múltiples bancos que posee denominados mezcla efectos. A este mezcla efectos le llegan la señales grabadas por el sistema de repetición o sistema de producción de vídeo digital en vivo que está capturando constantemente la señales proporcionadas por las cámaras situadas en el lugar del evento. Además, recibirá otro flujo con las señales de órdenes a las CCUs, las señales de control de la matriz de vídeo y la señalización “*Tally*” o luz piloto, que indica que una determinada cámara está saliendo a programa.

Por su parte, el sistema Nimbra VA220 recibirá la señal de retorno del programa generado en el centro de producción, pero con calidad SD-SDI que tiene un bitrate de 270 Mbps junto a las señales de control de la matriz de vídeo.

Mediante la comunicación vía intercom entre la persona encargada de operar la señal de vídeo situado en el centro de producción y la persona destinada a ser el portavoz entre los árbitros del encuentro, se irá atendiendo a las diferentes necesidades del juez principal durante el lance de juego. Este hecho se describirá ampliamente en el circuito de comunicaciones. Las producciones enfocadas a eventos deportivos y que requieren de video arbitraje, o su nombre oficial “*Instant Replay*” necesitan que el retardo que pueda introducir el sistema de codificación y transmisión sea exactamente el mismo (al frame) entre todas las cámaras involucradas en la producción para que el video arbitraje realice sus funciones correctamente. En la parte dedicada al circuito de control, **ver apartado 4.4**, se explica que solución se implementará a esta dificultad técnica.

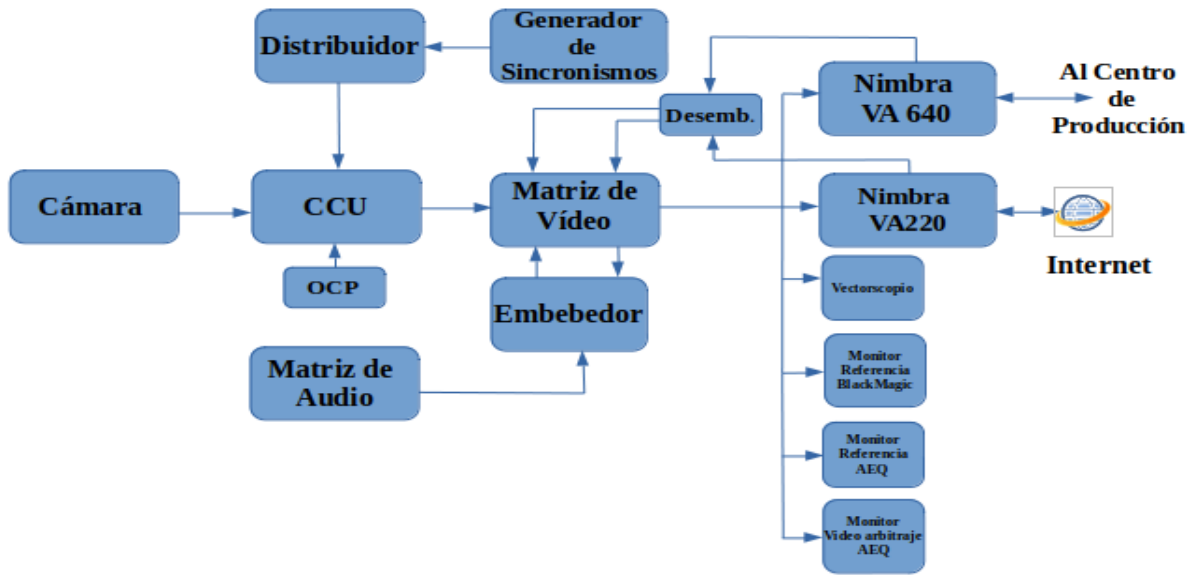


Figura 11. Diagrama de bloques del circuito de la señal de vídeo

#### 4.1.1. Descripción del Equipamiento de Vídeo.

A continuación, pasamos a describir cada uno de los equipos que forman este circuito de la señal de vídeo.

##### 4.1.1.1. Sistema de generación de la señal de vídeo

*Grass-Valley Series LDX 86N*

Cámara de vídeo Grass-Valley Series LDX 86N cuyas Las principales características son: gran flexibilidad a la hora de trabajar en diferentes de formato en función de las posibles necesidades de la producción (3840\*2180p50/59.94, 1080i50/59.94 y 720p50/59.94).



Figura 12. Cámara Grass-Valley Series Ldx 86N [33].

*Grass-Valley XCU.*

La estación base o CCU a la que conectamos el cuerpo de cámara, con el medio guiado fibra óptica. Destacamos las siguientes características: soporta los siguientes formatos HD: 720p/1080i/1080p/1080PsF y posee conectividad de audio analógico y digital y Audio embebido.



**Figura 13.**CCU Grass-Valley XCU [34].

*Grass-Valley OCP 400.*

El OCP 400 es un panel de control de operación compacto para todas las cámaras de Grass Valley que no solo controla todas las funciones de la cámara. Además puede utilizarse para cambiar los valores del menú de las estaciones base/XCU de Grass Valley. Este panel opera dentro de la red de control de cámara C2IP basada en Ethernet usando TCP/IP como su protocolo de comunicación, pero en este montaje, se usará a modo de Back-up por si el supervisor de imagen no pudiese acceder a las CCUs desde el centro de producción, y así, se podrían realizar los ajustes necesarios localmente.



**Figura 14.** OCP Grass-Valley 400 [35].

*Marshall CV-420 Mini Cam.*

Las principales características son sus salidas de vídeo en 12G/6G/3G-SDI y HDMI 2.0, la Cuantificación: 16/24 y 32 bits y el Interfaz de control RS485.



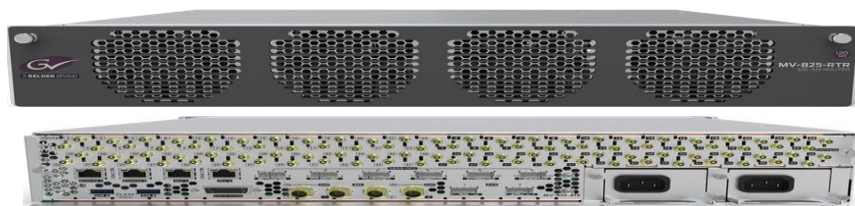
**Figura 15.** Minicámara Marshall CV-420 [36]



#### 4.1.1.2 Sistema de enrutado y distribución de la señal de vídeo

*Grass-Valley. MV-825-RTR Video Matrix 48\*48.*

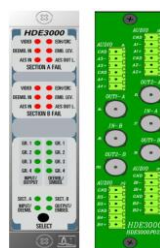
La matriz de vídeo está destinada a enrutar las señales de vídeo que se enviarán a: los monitores de referencia, calidad y verificación de la señal de vídeo, a los embebedores de señal de audio y vídeo, a los sistemas Nimbra y allá donde se necesite direccionar esas señales. Permite trabajar con diferentes formatos de señal de vídeo en formatos SD, HD, 3G y 4K UHD. Dentro de sus características tenemos: 48 entradas por 48 salidas con 12 salidas de multiviewer en un chasis de 2 unidades de rack y hasta 32 canales de medición de audio por fuente.



**Figura 16.** Matriz de vídeo Grass-Valley MV-825-RTR [37].

*Albalá Ingenieros HDE3000C01 embebedor/desemb. AES/EBU- SDI.*

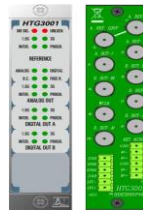
El módulo HDE3000C01 es un entramador y desentramador de señales de audio digital muestreadas a 48 kHz en una señal de vídeo 3G/HD/SD-SDI. El módulo consta de dos secciones cada una de las cuales puede entramar y/o desentramar hasta cuatro grupos de audio de una señal de vídeo 3G/HD/SD-SDI. Los conectores de audio digital balanceado se pueden configurar individualmente como entradas o como salidas. Del mismo modo, se pueden asignar a una o a las dos secciones de vídeo.



**Figura 17.** Embebedor Albalá Ingenieros HDE3000C01 [38].

*Albalá Ingenieros HTG3001C01 Generador de Sincronismos.*

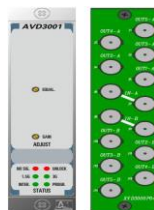
HTG3001C01 es un módulo para la generación de señal vídeo digital y de señal de referencia de vídeo analógico en los formatos que habitualmente se emplean en los estudios de televisión profesionales. Este permite generar dos señales de vídeo digital 3G/HD/SD-SDI y una señal de referencia de vídeo analógico con formatos y temporizaciones independientes. Además, dispone de dos entradas para señal de referencia, una analógica y una digital, con las que puede sincronizarse. También es posible usar como referencia la señal de GPS si se dispone de un módulo receptor de GPS apropiado en el vano anterior. En las salidas de vídeo digital se puede configurar el formato de señal, la temporización, el patrón de vídeo, varios textos de identificación, la inserción de audio entramado y la inserción de código de tiempos



**Figura 18** Generador de sincronismos Albalá Ingenieros HTG3001C01 [39].

*Albalá Ingenieros AVD3001C01 Distribuidor Ecualizador de Vídeo Analógico para HD/ SD.*

El AVD3001C01 es un distribuidor de vídeo analógico con gran ancho de banda para distribuir señal de vídeo de definición estándar (525 y 625 líneas) y de alta definición (720p, 1080i y 1080p). Este dispositivo permite distribuir masivamente la señal de referencia analógica para lo cual dispone de una única sección que permite distribuir la señal de entrada a diez salidas.



**Figura 19.** Distribuidor Albalá ingenieros AVD3001C01 [40].

*Patch-Panel SMPTE 304.*

La normativa SMPTE 304m [41], define un tipo de conector para su uso en la conexión entre la cámara y su unidad de control para sistemas Broadcast y de vídeo profesional de alta definición combinando señales eléctricas y ópticas (cobre y fibra).

El conector SMPTE 304 se conecta a un cable también construido bajo la norma SMPTE, en este caso SMPTE311 [42]. Este tipo de cable híbrido transmite señal de vídeo, audio, control entre la cámara y su CCU, además de entregar corriente para alimentación y está especialmente diseñado para cuerpo de cámara de alta definición HD y consigue transmitir a largas distancias sin pérdidas. Dicho cable se compone de 2 Fibras Monomodo y Ofrece una atenuación  $\leq 0.8 \frac{dB}{Km}$ .



**Figura 20.** Patch-Panel pinanson fibra óptica ST304 [43].

*Patch-Panel SDI BNC*

Patch-panel de vídeo digital para señal 3G-SDI y formatos anteriores. Para terminación o patcheo de entradas y salidas con conectores DVP WECO. Conectores normalizados.

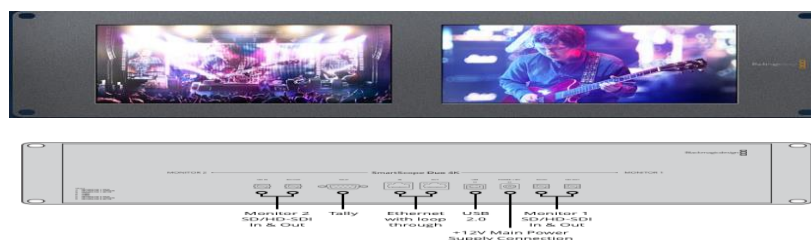


**Figura 21.** Patch-Panel BNC SDI pinanson [44]

**4.1.1.3 Sistemas auxiliares**

*Black Magic Smartview Monitores de Referencia.*

Este doble monitor brinda la posibilidad de controlar distintos parámetros en forma independiente y medir todos los aspectos de la señal a través de distintas representaciones gráficas. Cabe destacar que cada pantalla permite visualizar no solo las imágenes transmitidas, sino también cualquier indicador seleccionado.



**Figura 22.** Monitor de referencia Black Magic Smartview [45].

*AEQ LM 7000 Monitores de Referencia.*

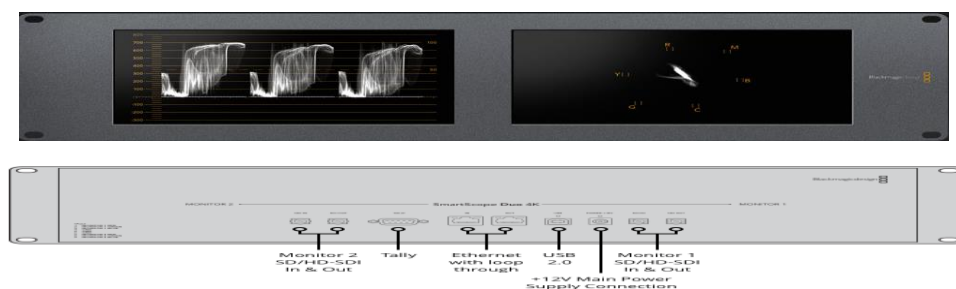
Cuando la locución del encuentro se haga desde el lugar del evento se hará necesario utilizar 4 monitores de referencia que irán situados de la siguiente forma: 1 en la mesa de arbitraje, 2 en la mesa de comentaristas y 1 para la previa y post del partido. Y cuando se locute desde el centro de producción únicamente se instalará el monitor en la mesa de arbitraje.



**Figura 23.** Monitor de referencia AEQLM 7000 [46].

*Black Magic SmartScope Duo 4K*

SmartScope Duo 4K proporciona diversas herramientas para analizar la señal de vídeo y audio como son histograma, vectorscopio, YUV Parade, RGB parade, forma de onda de la señal de luminancia y fase de la señal de audio.



**Figura 24.** Analizador señal de vídeo Black Magic SmartScope Duo 4K [47].

DESCRIPCIÓN DE CADA CIRCUITO Y EQUIPAMIENTO SITUADO EN LA UNIDAD REMOTA

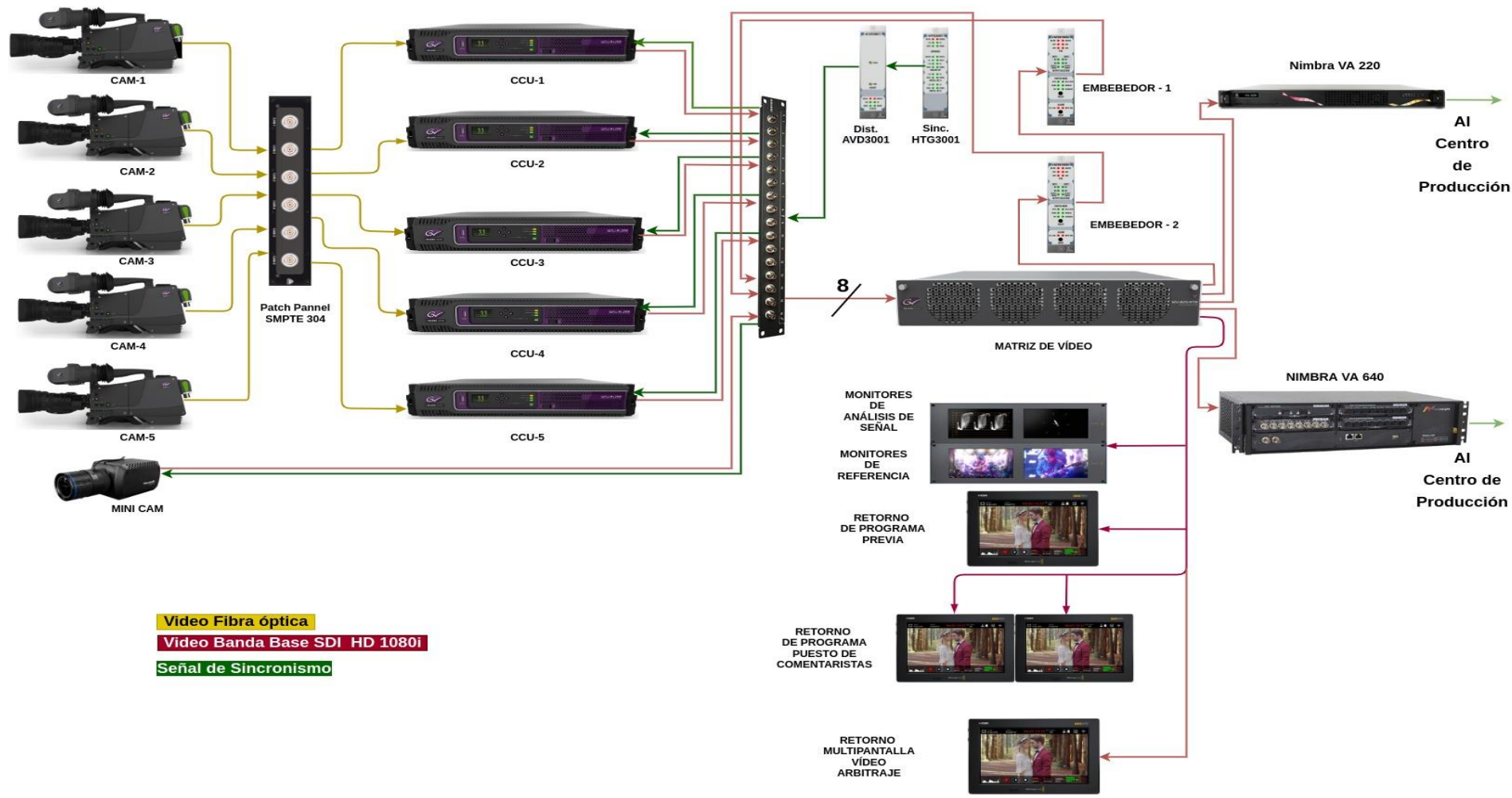


Figura 25. Unidad remota. Circuito de la señal de vídeo

## 4.2. Circuito de la Señal de Audio.

El circuito de la señal de audio se va a dividir en los siguientes sistemas donde se dispone del siguiente equipamiento.

**1ª) Sistema de generación de la señal de audio que podría constar del siguiente equipo:** microfonía de mano, micrófonos de ambiente, microfonía utilizando montaje en Par estéreo y los micro cascos para la locución el lugar del evento.

**2ª) Sistema de enrutado y distribución de la señal de audio:** con la Matriz de audio Lectrosonics Aspen SPN1624 y el patch panel de audio.

**3ª) Sistemas auxiliares con los siguientes dispositivos:** un amplificador de referencia Black Magic, la mesa de comentarista Sonifex modelo CM-CU 21, un audio codec AEQ y dos unidades inalámbrica transmisor receptor Sennheiser modelo EM-6000.

Las diferentes señales captadas por la microfonía desplegada en las posiciones de interés del evento enviarán sus señales eléctricas a la matriz de audio de la marca americana Lectrosonics modelo Aspen SPN162. Esta solución además de ser una matriz de audio es un preamplificador mezclador. Pero lo que lo hace realmente interesante para nuestro proyecto es que se pueden realizar los ajustes vía remota. Recordemos que la persona encargada del área de sonido es parte del equipo humano que no se desplaza y que por tanto va a realizar sus funciones desde el control de sonido situado en el centro de producción. Las configuraciones, los ajustes y las correcciones que sean necesarias realizar sobre las diferentes fuentes de señal se llevarán a cabo mediante el uso del software de control de panel que se suministra junto a la matriz y que será el interfaz entre esa persona y el dispositivo situado en lugar del evento.

La señal generada por los micrófonos de ambiente situados en los cuerpos de cámara 3, 4 y 5 será suministrada a la matriz a través de las salidas de señal de audio analógico de las CCU mediante el uso de líneas balanceadas con conectores XLR a cable en punta. El resto de la microfonía se conectará a la matriz mediante el uso de una manguera multipar de señal de audio balanceada.

A su vez la unidad inalámbrica EM-6000 de la marca germana SENNHEISER suministrará la señal proveniente de un micrófono inalámbrico, que utiliza el o, la periodista situada a pie de

pista en adelante denominado “pitch”, con nivel de línea analógica a la matriz de audio mediante el uso de líneas balanceadas con conectores XLR a cable en punta.

La mesa de comentaristas enviará las señales de audio generada por los micro cascos Beyer Dynamic a la matriz, y también le llegará el envío realizado por el control de sonido a través del Audiocodec AEQ con una señal de audio denominada “Mix minus” o N-1, es decir todo excepto una entrada designada [48].

La salida de la matriz se va a encargar de suministrar señal con nivel de línea a: los embebedores, al amplificador de referencia, a la mesa de comentaristas Sonifex y a la unidad inalámbrica SENNHEISER destinada a proporcionar la señal de retorno para el pitch, la cual, y en el argot técnico se la denomina IFB sistema de monitoreo (IFB).

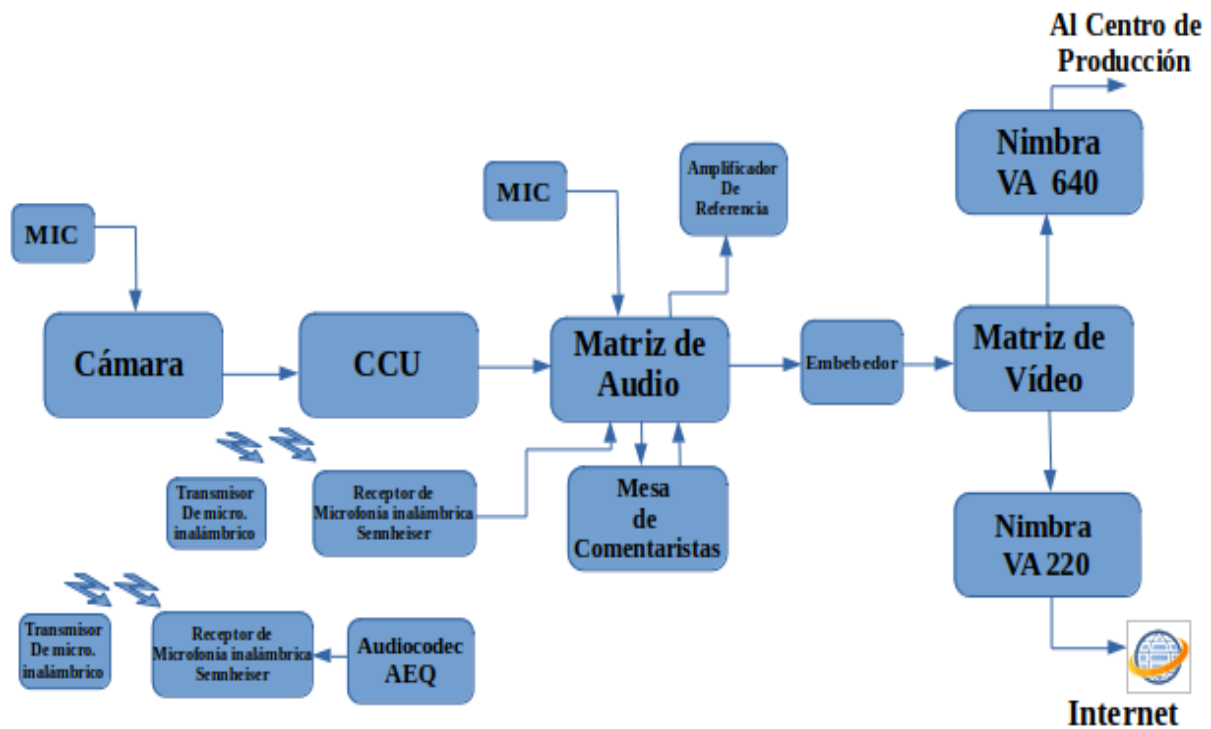


Figura 26. Diagrama de bloques del circuito de la señal de audio.

#### ***4.2.1. Descripción del Equipamiento de Audio***

Para este proyecto se nos informa que se van a necesitar “n” canales de micrófonos para realizar la producción. Estos se reflejan en el proyecto realizándose el diseño contando con ellos, pero nos vamos a describir que tipo de microfonía se va a usar tanto de mano como inalámbrica en la producción ya que esta será convenientemente escogida por la persona encargada del diseño del sonido que decidirá:

1ª) que tipo de transductor acústico mecánico y mecánico eléctrico es el más apropiado.

2ª) marca y modelo que cumplan con las necesidades técnicas elegidas en el primer apartado para conseguir la mejor calidad en la captación sonora.

A continuación, pasamos a describir cada uno de los equipos que forman este circuito de la señal de audio.

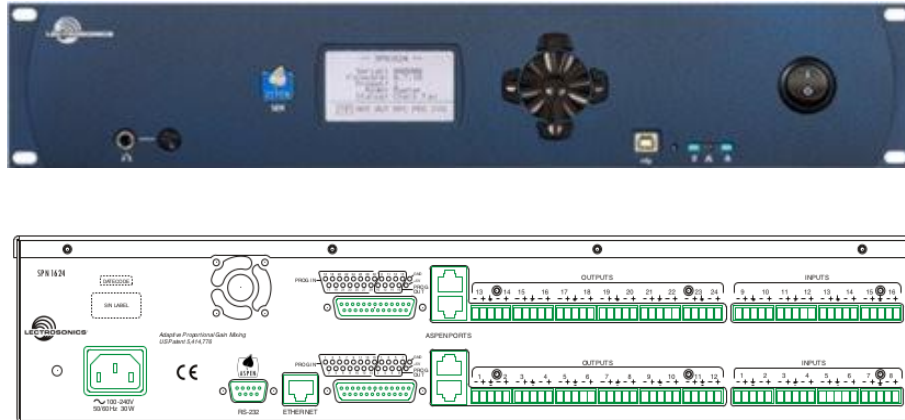
##### **4.2.1.1. Sistema de Enrutado y Distribución de la Señal de Audio.**

*Lectrosonics Aspen SPN1624 Matriz de Audio.*

Esta matriz consta de 16 entradas y 12 salidas en un rack de dos unidades. Cada entrada admite señales de audio con nivel de micrófono o nivel de línea, con control de ganancia ajustable entre valores de -10 a +60 dB. A cada canal de entrada se le puede aplicar Compresión/limitación, ecualización paramétrica, filtros paso alto, paso bajo y tipo *Shelving*, Expansión/puerta de ruido y cambio de fase. Además, tiene un generador interno de señal que puede producir señales tipo: ruido blanco, ruido rosa, tono tipo sinusoidal, barrido de frecuencia con forma sinusoidal. Cada salida tiene un nivel nominal de +0 dBu, y a cada una de ellas tiene una cadena de procesamiento de señal, control de ganancia y limitador por delante del convertidor digital a analógico.

La matriz posee 48 buxos de mezcla con salida completa por puntos de cruce. Como hemos comentado anteriormente esta matriz se suministra junto a un software de control que tiene acceso completo a los menús del sistema de la matriz. Al poseer una latencia inferior a 1,5 ms esto hace que los ajustes que se realicen en tiempo real sean prácticamente imperceptibles.





**Figura 27.** Matriz de Audio Lectrosonics Aspen SPN1624 [49].

*Neutrik Patch-Panel Audio.*

A través del patch panel podemos interconectar diferentes equipos entre sí sin la necesidad de tener que acceder a la parte trasera de los equipos que es donde se suelen localizar las entradas y las salidas a estos equipos. Se va a manejar señal de audio analógica balanceada. Las entradas a los equipos llevarán la malla de masa y las salidas de los equipos no, para evitar los bucles de tierra o masa lo que afectaría a la calidad de la señal de audio apareciendo un sonido característico de baja frecuencia de 50Hz, lo que comúnmente se denomina *Hum Noise* o ruido de zumbido. Normalmente se suele realizar la operación contraria, pero al hacerlo de esta forma no podríamos suministrar alimentación externa o *Phantom* a los micrófonos que así lo requieran.



**Figura 28** Patch- Panel XLR Neutrik Male-Female [50].

#### 4.2.1.2. Sistemas auxiliares.

##### *SONIFEX CM-CU21 Mesa de Comentaristas.*

Esta mesa está preparada para 2 puestos de comentarista más un puesto de invitado, cada uno con salidas individuales; más 2 salidas de mezcla.

Posee 4 Circuitos de señal de audio de retorno que se enrutan a los auriculares junto con todas las entradas de comentarista. Cualquier fuente puede controlarse individualmente y puede panoramizarse (L, C y R).

Este dispositivo admite micro cascos con micrófonos con transductores mecánicos-eléctricos (TEM) electrostáticos del tipo condensador ya que posee alimentación *Phantom*, para polarizar al condensador, de 48 V en todas las entradas de micro.

Tanto las señales de entrada a la unidad como de salida poseen nivel de línea con un nivel máximo de +14 dBu con un medidor LED PPM de 21 segmentos que muestra el nivel de salida principal.



Figura 29. Mesa de comentaristas Sonifex CM-CU21 [51].

*AEQ PHOENIX STRATOS AudioCodec.*

AEQ PHOENIX STRATOS es un audiocodificador de doble canal estéreo multiformato y multialgoritmo diseñado para aplicaciones fijas, tales como interconexión entre estudios, conexión con equipos móviles. Cada uno de los dos canales es estereofónico, de forma que en realidad en el equipo hay dos codecs estéreo con entradas y salidas analógicas y digitales AES/EBU totalmente independientes. Además, permite trabajar simultáneamente con dos conexiones independientes con calidad profesional en formato estéreo/dual o cuatro audios monos.



**Figura 30.** AudioCodec AEQ Phonenix Stratos [52].

*Blackmagic Audio Monitor 12G.*

Estos equipos disponen de tecnología SDI compatible con distintas definiciones y velocidades de transmisión, así como conexiones para señales de audio analógicas y digitales (AES/EBU). El modelo 12G posee supervisión de hasta 16 canales de audio integrados en la señal SDI o utilizar las conexiones XLR para audio balanceado analógico y digital (AES/EBU).



**Figura 31.** Amplificador de referencia Blackmagic Audio Monitor 12G [53].

*SENNHEISER EM-6000 Receptor Digital 2 Canales.*

Este sistema ayuda a solucionar los retos que presenta el reducido espectro de UHF ya que elimina la intermodulación, lo que permite que un mayor número de canales pueda operar usando mejor el cada vez más ocupado espectro de radiofrecuencias. Para ello trabaja con un ancho de banda de 244MHz (470 a 714 MHz) cubierta por tres versiones de transmisor (470 – 558 MHz, 550-638 MHz y 718-630 MHz). Hasta ocho unidades del receptor pueden conectarse en serie sin necesidad de un divisor de antena adicional; el sistema multicanal funcionará con un solo par de antenas empleando el sistema Diversity, **apartado 2.3.3.**, que va a combatir el multicamino y la cancelación de señales por transmisión con canales de frecuencias próximas entre sí.



**Figura 32.** Receptor de microfónica inalámbrica SENNHEISER EM-6000 [54].

DESCRIPCIÓN DE CADA CIRCUITO Y EQUIPAMIENTO SITUADO EN LA UNIDAD REMOTA

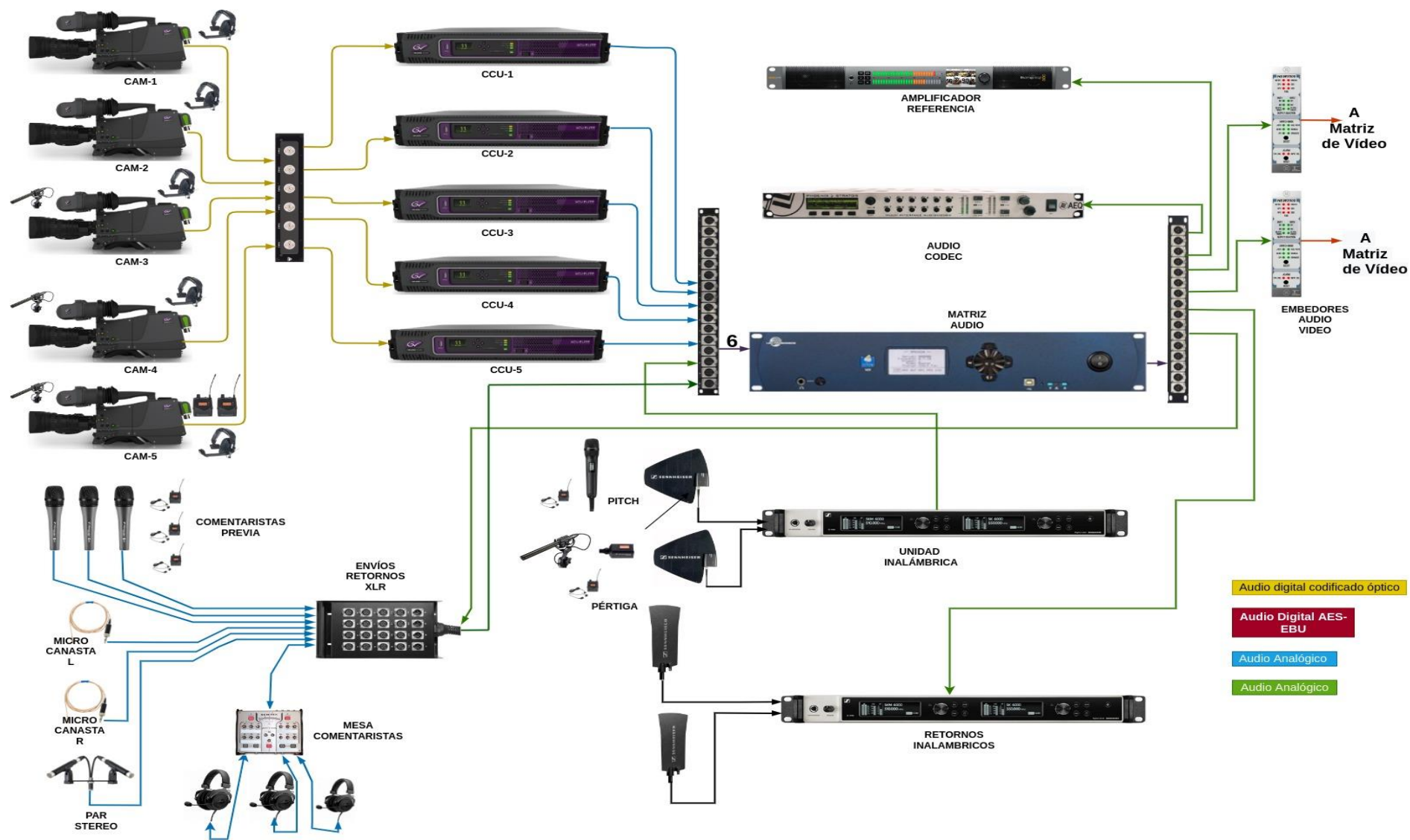


Figura 33. Unidad remota. Circuito de la señal de audio

### 4.3. Circuito de intercomunicaciones.

El circuito de intercomunicaciones se va a dividir en los siguientes sistemas donde se dispone del siguiente equipamiento:

- **Sistema de generación de la señal de audio para las comunicaciones:** el Panel de control, Serie TP 8000.
- **Sistema de enrutado y distribución de la señal de audio para las comunicaciones:** con las matrices de Intercom (CrossNet) y la de la señal de Audio.
- **Sistema auxiliar:** un beltpack BP 3004, el concentrador CE6000 y la unidad inalámbrica transmisor receptor Sennheiser modelo EM-6000.
- **Sistema de codificación y transmisión de la señal:** los códecs Nimbra VA640, y Nimbra VA220. Circuito que se describirá en el **apartado 4.4.**

Este circuito es el encargado de gestionar las comunicaciones internas entre el equipo técnico situado en el centro de producción y las personas desplazados al lugar del evento que montarán y operarán todo el equipamiento necesario en la unidad remota.

Lo que se trata es de integrar el panel de comunicación situado en el rack de la producción remota como si fuese un panel más del circuito de intercom del centro de producción, que tenga plena comunicación con todos los paneles de comunicaciones del estudio encargado de la producción del programa en cuestión. Para ello se va a utilizar el protocolo de transmisión de audio sobre IP de la marca australiana Dante que utiliza el protocolo de transporte, UDP.

También en este circuito se hace necesario utilizar una matriz con N entradas y M salidas para poder configurar los diferentes puntos de cruce entre cualquiera de los paneles o interfaces de los que dispone el sistema.

A la entrada de señal de la matriz de intercom llegará el tráfico de datos proveniente del centro de producción vía Nimbra VA640, o del VA220 si dejase de estar operativo el principal.

Desde la matriz y una vez convertida a señal de audio se distribuirá esa señal con las órdenes y comunicaciones internas necesarias para que la realización de esta producción mediante:

1ª) el uso del dispositivo “concentrador 6 a 1” que es un nodo de cámaras que distribuye un circuito único de intercom a todas las CCUs y suma todas las salidas de intercom de las CCU a un solo circuito. Todas las personas destinadas a la unidad remota y que desempeñan funciones de cámara reciben las mismas órdenes y hablan por el mismo circuito para que puedan comunicarse tanto con el equipo de realización como con la persona encargada de supervisar la calidad de la imagen.

2ª) el uso del panel de usuario, la persona a cargo de la producción remota tendrá comunicación directa con el centro de producción por si durante el montaje o el desarrollo de la producción existiese algún contratiempo.

3ª) el uso del beltpack BP3004 de Kroma Telecom, que está conectado a la matriz de intercom vía switch, y que utiliza por tanto el protocolo IP para la transmisión de los paquetes de audio, la persona que media podrá comunicarse con la persona que opera la señal de vídeo en todo momento.

4ª) la infraestructura de envíos de señal a través de la matriz de audio ya implementada, podemos añadir a esos envíos las señales de audio con las órdenes y coordinación provenientes del centro de producción. Gracias a la matriz de Intercom podemos gestionar independiente que señales queremos para cada uno de los envíos.

Así, por ejemplo:

- El envío a la mesa de Comentaristas y al *Pitch*: las personas que narran y comentan los lances del evento, podrán recibir las órdenes y sugerencias del equipo de realización y dirección del programa, entre otros, o comunicarse con la persona encargada del área de sonido por si tuviera algún tipo de contratiempo etc., además del envío ya existente de la señal de programa con su correspondiente N-1. Ambos envíos son independientes
- El envío al Pertiguista: El o la auxiliar de sonido es la persona encargada de captar el sonido ambiente más interesante para la retransmisión. Para ello necesita escuchar tanto al equipo de realización como a el o, la operadora de sonido por si tuviese que realizar algún tipo de ajuste en la orientación de la pértiga o el micrófono. Por lo tanto, se usará el mismo receptor inalámbrico con dos envíos de señal de audio diferentes.

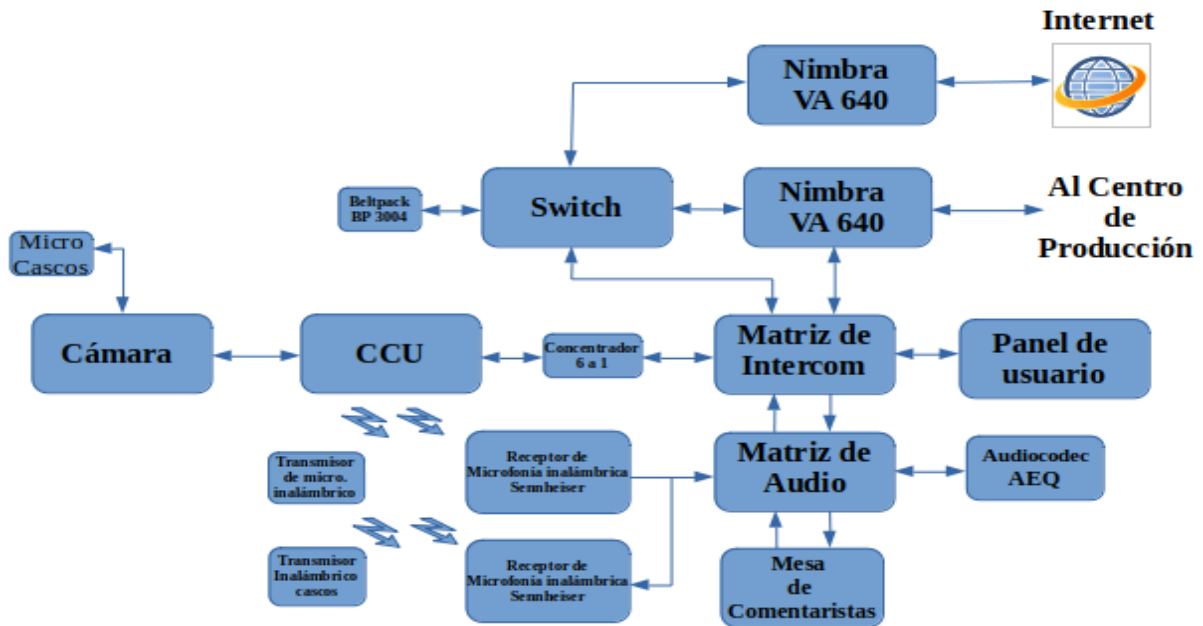


Figura 34. Diagrama de bloques del circuito de comunicación.

#### 4.3.1. Descripción del equipamiento de la intercom

A continuación, pasamos a describir cada uno de los equipos que forman este circuito de la señal de comunicaciones internas o intercom.

##### 4.3.1.1. Sistema de generación de la señal de audio para las comunicaciones.

*KROMA by AEQ TP8000 Panel de Usuario.*

La señal de audio se muestra con una frecuencia de 48KHz con una cuantificación de 24 bits. Incorporan un puerto IP redundante que maneja audio de alta calidad en formato Dante™, compatible con el estándar AES 67.



Figura 35. Panel de intercom KROMA by AEQ TP8000 [55].



#### 4.3.1.2. Sistema de enrutado y distribución de la señal para las comunicaciones.

##### *KROMA CROSSNET INTERCOM MATRIX.*

Crossnet es una matriz de intercom de una unidad de rack de altura, con conectividad básica por IP, basada en la tecnología Dante™, compatible con el nuevo estándar AES 67, que transporta audio de alta calidad.



Figura 36. Matriz de intercom KROMA CROSSNET [56].

#### 4.3.1.3. Sistemas auxiliares.

##### *KROMA TELECOM CE6000 CONCENTRADOR.*

Usando el dispositivo CE6000 de la marca Kroma by AEQ, podemos implementar una configuración *party-line* con beltpacks analógicos BP6000 o CCUs a 4 hilos, ocupando un solo puerto analógico en la matriz.



Figura 37. Concentrador CE6000 KROMA TELECOM [57].

##### *KROMA TELECOM BELTPACK BP 3004*

BP3004 es un beltpack alámbrico con 4 teclas y control de volumen. El BP3004 se basa en Voz-sobre-IP (VoIP) que cuenta con 4 canales de audio y se alimenta sobre Ethernet (PoE), con lo que necesita una única conexión



Figura 38. Beltpack de intercom BP 3004 KROMA TELECOM [58].

DESCRIPCIÓN DE CADA CIRCUITO Y EQUIPAMIENTO SITUADO EN LA UNIDAD REMOTA

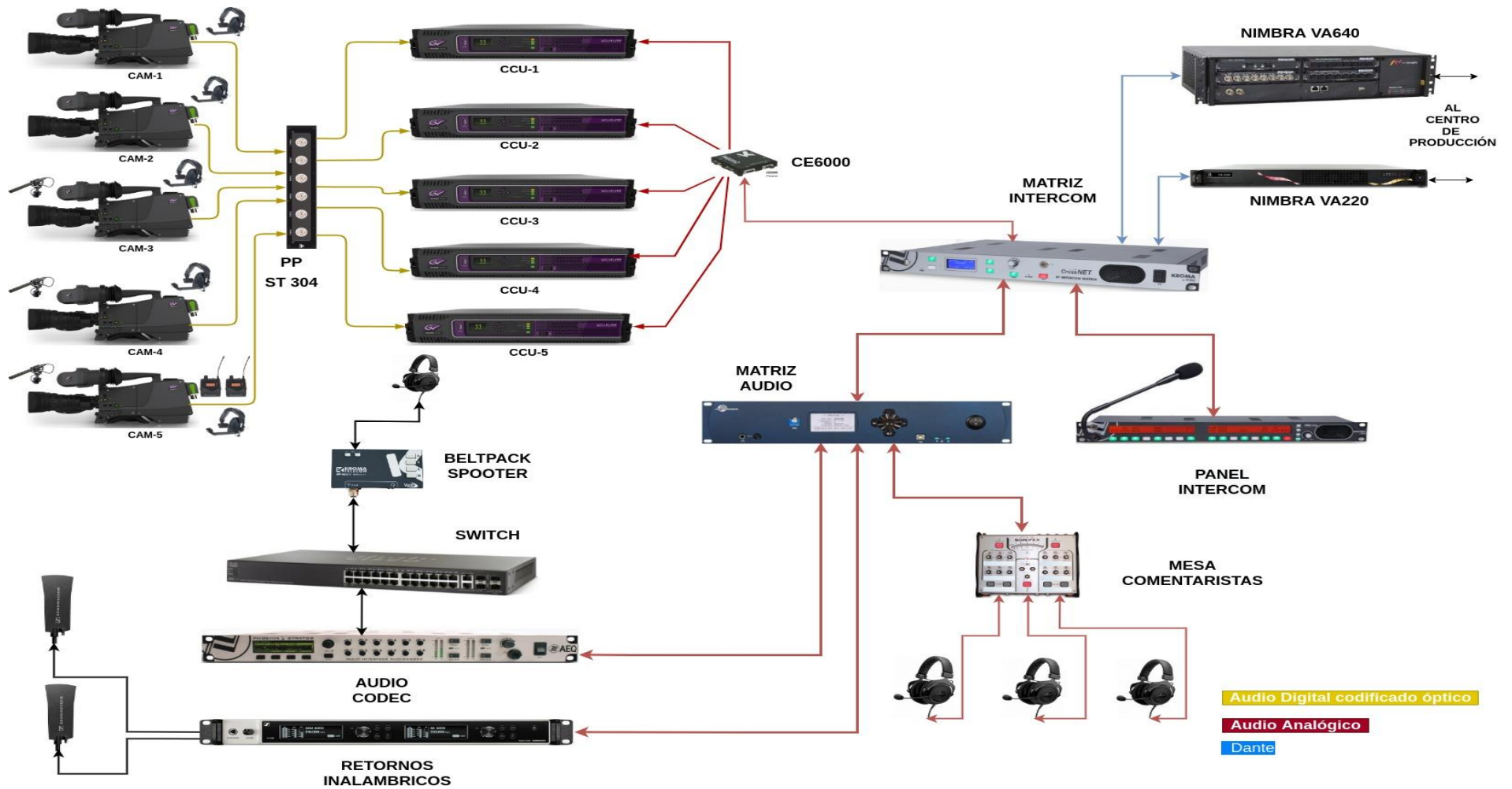


Figura 39. Unidad remota. Circuito de la señal de Comunicaciones

#### 4.4. Circuito de datos y de control.

El circuito de datos y de control se va a dividir en los siguientes sistemas donde se dispone del siguiente equipamiento.

- 1.) **Sistema de conmutación y enrutamiento:** un Switch Cisco SG220-26P 26-Port Gigabit PoE Smart Switch.
- 2.) **Sistema de codificación y transporte:** el sistema Nimbra 640 y el Nimbra VA220.
- 3.) **Sistema Auxiliar.** un Patch Pannel RJ45 568B STP/FTP CAT6.

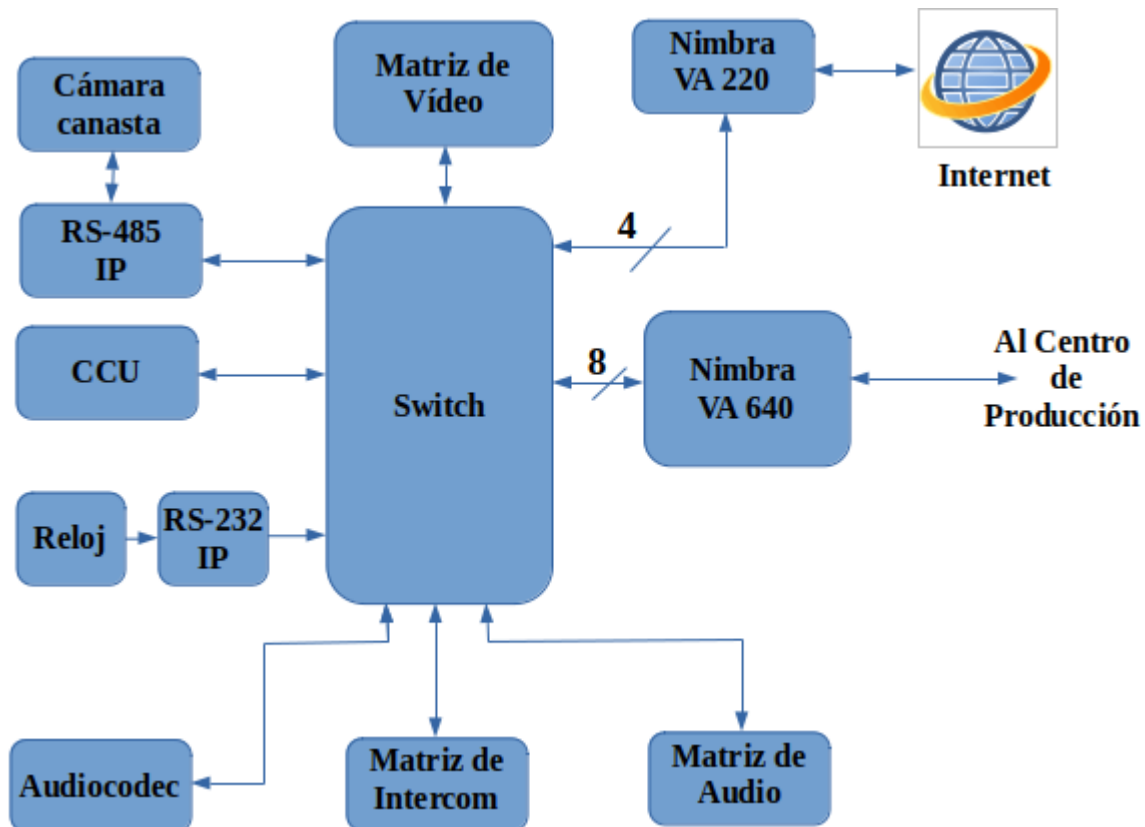


Figura 40. Diagrama de bloques del circuito de datos y de control.

#### ***4.4.1. Descripción del equipamiento del circuito de datos.***

Empezaremos por el sistema de conmutación y enrutamiento formado por el *switch*, que en nuestro proyecto será el switch Cisco SG220-26P 26-Port Gigabit PoE Smart Switch, y los equipos involucrados en este circuito es el siguiente:

Las entradas/salidas de Ethernet de los diferentes equipos que van a ser manejados remotamente desde el centro de producción se conectarán a los diferentes puertos de entrada del *switch* mediante cables FTP 6A, par trenzado apantallado de categoría 6A (CAT6A).

##### **4.4.1.1. Sistema de conmutación y enrutamiento.**

*Switch Cisco SG220-26P 26-Port Gigabit Poe Smart Switch.*

La serie 220 de Cisco puede trabajar con los protocolos de red Fast-Ethernet y Gigabit-Ethernet. Está especialmente diseñada para trabajar con señales audiovisuales (Voz Ip, Video etc.) con configuraciones automáticas de *QoS* y *Vlans* para priorizar el tráfico de estas señales. Además, permite crear y gestionar hasta un máximo de 256 *Vlans* activas simultáneas basadas en puertos y en etiquetas 802.1Q. Tiene compatibilidad con el protocolo de árbol de expansión 802.1d [59] que va a evitar la formación de bucles que pueden aparecer cuando los dispositivos están interconectados a través de varias rutas con lo que los paquetes puede que no lleguen a su destino e inunden la red. Este protocolo ha sido reemplazado por el protocolo de expansión rápida RTSP así que posee convergencia rápida mediante 802.1w, protocolo de árbol de extensión rápida [60].



**Figura 41.** Switch 26 puertos Cisco SG220-26P [61].

El switch va a realizar la función de reenvío y filtrado de las tramas Ethernet que le van a ir llegando gracias a la tabla de direcciones aprendidas que posee [62]. En esta tabla se van a ir agregando: las direcciones MAC de las máquinas que hay conectadas en cada uno de sus puertos, la interfaz del propio switch que conduce a esa máquina y el instante temporal en que la máquina fue incluida en la tabla. De este modo se podrá dirigir y reenviar las tramas de Ethernet a sus destinatarios correctos.

El conmutador puede configurar hasta 256 circuitos virtuales o Vlans, con los que podremos dividir lógicamente la red en su capa de enlace, en función de los diferentes circuitos de señal con el objetivo de que el tráfico de datos que van a fluir por cada una de las Vlans no se interfiera entre sí, con lo que la administración de dispositivos físicos será menos complicada y esto nos va a proporcionar un mayor rendimiento y menor latencia. Por tanto, no vamos a necesitar hardware ni cableado adicionales.

A cada uno de los dispositivos que van a ser manejados remotamente se les tiene que asignar una dirección IPv4 de 32 bits del tipo de dirección 192.168. x.x. Este tipo de dirección se utiliza en lo que se denomina asignación de direcciones para redes privadas, RFC 1918 [63], que sustituye al obsoleta RFC 1597 [64], que están comprendidas entre los valores 192.168.0.0 y 192.168.255.255 con máscara de subred o prefijo 255.255.0.0, o /16. Los primeros 16 bits identifican la red a la que está conectada una máquina cualquiera y los 16 bits restantes, son únicos para cada máquina situada dentro de esa red.

Estas redes privadas se utilizan las redes de área local (LAN), donde se produce la comunicación y el intercambio de datos entre diferentes dispositivos a nivel local, es decir en distancias cortas, donde no se tiene la necesidad de utilizar direcciones IP públicas. A efectos históricos, por la distancia de separación entre la unidad remota y el centro de producción, aunque sea de unos pocos kilómetros en su localización más cercana, podemos considerar este proyecto como una red de área metropolitana (MAN), pero a efectos tecnológicos, al estar utilizando en el circuito principal un circuito de datos suministrado por una empresa de telecomunicaciones con un ancho de banda fijo y constante en exclusiva donde no va haber ningún usuario además de nosotros podríamos decir que se trata de una LAN.

Cabe decir que al ser circuitos virtuales diferentes no habría hecho falta asignarles una dirección de IP individual a cada uno de los dispositivos, salvo a cada una de las CCUs por compartir Vlan, ya que como se comentó en el **apartado 2.1.2.** dedicado a las Vlans, estos circuitos virtuales aíslan por completo el tráfico, son totalmente independientes y no se va a producir mezclas o interferencias de tráfico entre las distintas Vlans que utilizan ese mismo medio físico. Lo primero que se consulta a nivel del switch son las etiquetas identificadoras de cada una de las Vlans. Con lo que distintas etiquetas podrían tener la misma dirección IP, pero en nuestro proyecto vamos a asignar una LAN distinta a cada circuito además de una dirección IP única a cada uno de los dispositivos, de esta manera, podemos localizar con un simple vistazo cada uno

de los circuitos cuando realicemos labores de monitorización, seguimiento o capturas de tráfico para su posterior análisis mediante el uso, por ejemplo, del software especializado Wireshark.

En total se crearán 8 Vlans que gestionarán el tráfico de los datos de gobierno y control de: el conjunto de las CCUs, RCP, las matrices de audio, vídeo e intercom, el reloj de tiro, la cámara de canasta, el Audio-codec y la gestión de datos de ambos Nimbra.

A cada Vlan se le asignará un ancho de banda en el sistema Nimbra que será calculado según el número de slots que necesiten para transportar la información de ese circuito. **Ver Anexo II.** Este número de slots calculados tiene en cuenta el tamaño máximo de la trama Ethernet.

En la **Tabla 2.** aparecen reflejados los equipos alojados en el rack de la producción remota cada uno de ellos con una dirección IP diferente. En nuestro proyecto se van a tener dos racks situados en localizaciones distintas a los que llamaremos, unidad A y unidad B.

**Tabla 2.** Conjunto de direcciones IPs de cada dispositivo.

<b>LISTADO IP VLAN'S UNIDADES REMOTAS</b>		
<b>EQUIPO</b>	<b>UNIDAD A</b>	<b>UNIDAD B</b>
<b>CCU 1</b>	<b>192.168.10.11</b>	<b>192.168.20.11</b>
<b>CCU 2</b>	<b>192.168.10.12</b>	<b>192.168.20.12</b>
<b>CCU 2</b>	<b>192.168.10.13</b>	<b>192.168.20.13</b>
<b>CCU 3</b>	<b>192.168.10.14</b>	<b>192.168.20.14</b>
<b>CCU 4</b>	<b>192.168.10.15</b>	<b>192.168.20.15</b>
<b>CCU 5</b>	<b>192.168.10.16</b>	<b>192.168.20.16</b>
<b>MTX VIDEO</b>	<b>192.168.11.11</b>	<b>192.168.21.11</b>
<b>MTX AUDIO</b>	<b>192.168.12.11</b>	<b>192.168.22.11</b>
<b>RELOJ</b>	<b>192.168.13.11</b>	<b>192.168.23.11</b>
<b>CÁMARA CANASTA</b>	<b>192.168.14.11</b>	<b>192.168.24.11</b>
<b>MATRIZ INTERCOM</b>	<b>192.168.15.11</b>	<b>192.168.25.11</b>
<b>AUDIO CODEC</b>	<b>192.168.16.11</b>	<b>192.168.26.11</b>
<b>NIMBRA VA 640</b>	<b>192.168.17.11</b>	<b>192.168.27.11</b>
<b>NIMBRA VA 220</b>	<b>192.168.18.11</b>	<b>192.168.28.11</b>
<b>OCP REMOTA</b>	<b>192.168.19.11</b>	<b>192.168.29.11</b>
<b>PC</b>	<b>192.168.30.57</b>	<b>192.168.40.57</b>

En la **Tabla 3.** se muestra a que puertos del *switch* se conectan los equipos y a que Vlan van a pertenecer.

**Tabla 3.** Conjunto de Vlans *Switch* CISCO SG220-26P.

Switch CISCO SG220-26P		
VLAN	EQUIPO	PUERTO
CCU/OCP	CCU-CAM 1	1
CCU/OCP	CCU-CAM 2	2
CCU/OCP	CCU-CAM 3	3
CCU/OCP	CCU-CAM 4	4
CCU/OCP	CCU-CAM 5	5
CCU/OCP	RCP	6
MTX VIDEO	MTX VIDEO	7
MTX AUDIO	MTX AUDIO	8
RELOJ	RELOJ	9
CÁMARA CANASTA	CAMARA CANASTA	10
INTERCOM	MTX INTERCOM	11
AUDIO CODEC	AUDIO CODEC	12
GESTIÓN	GESTIÓN NIMBRA	13
GESTIÓN	GESTIÓN FTTH	14

#### 4.4.1.2. Sistema de codificación y transporte.

El sistema de codificación y transporte se basa en el uso de los sistemas Nimbra de la prestigiosa marca Netinsight.

Antes de iniciarse la transmisión tanto el dispositivo VA640 como el VA 220 situados en rack de la producción remota informarán a sus sistemas espejos situados en el centro de producción que van a necesitar un ancho de banda de tantos bits por segundo de capacidad para cada uno de los servicios o señales de que va a constar esa transmisión en concreto, por ejemplo, la señal de vídeo HD-SDI que porta audio embebido, junto a la señal del circuito de comunicaciones. Ese ancho de banda lo van a dividir en un cierto número de slots, que son intervalos temporales o contenedores, hasta cubrir esa capacidad seleccionada, **ver Anexo II**. Los receptores darán su consentimiento y justo en ese momento los transmisores crean los slots y comienzan a transmitir. En todo momento, los equipos situados en ambos extremos conocen el número y el contenido de cada uno de slots, gracias a la comunicación bidireccional existente entre ambos dispositivos.

#### Sistema VA640.

Este sistema posee tres tarjetas:

- La tarjeta encargada de gestionar la señal de vídeo HD-SDI. Esta posee conectores de panel hembra tipo BNC.
- La segunda de las tarjetas está preparada para trabajar con señales de audio digital tipo AES3-EBU. También con conectores de panel hembra tipo BNC. En nuestro proyecto no será utilizada ya que hemos elegido la opción de embeber la señal de audio en la trama HD-SDI.
- La tercera de las tarjetas se encargará de gestionar el conjunto de las señales de datos del circuito de intercom, las señales de control o de gobierno para las CCUs etc. con conectores hembra del tipo RJ45.



**Figura 42.** Codec transmisor NIMBRA VA 640 [65].



### **Tarjeta de vídeo señal HD-SDI:**

La salida de la matriz de vídeo proporciona la señal de vídeo a la tarjeta que se va a encargar de su codificación mediante el protocolo JPEG2000 y su posterior conversión al formato de encapsulamiento MXF. La tarjeta codificadora se va a sincronizar con la señal HD-SDI que lleva su propia señal de reloj. A la salida de la tarjeta de vídeo se obtendrá un *stream* con la señal audiovisual comprimida

De esta tarjeta de vídeo se pasa a una tarjeta conmutadora donde se va a convertir la señal comprimida con formato XMF al formato DTM para su posterior transporte. Esta tarjeta troceará y situará en diferentes contenedores o slots la señal comprimida, que posteriormente, se irá introduciendo en el campo de datos de un datagrama IP que finalmente será encapsulado en una trama Ethernet que posee una unidad de transferencia máxima (MTU) de 1500 Bytes para su posterior transporte al centro de producción y el protocolo de transporte será UDP.

Como se ha mencionado en el **apartado 3.1.** todas las fuentes de video (cámaras, reproductores de video, señales externas) que vayan a ser “mezclados” en el control de realización deben estar alineados en tiempo mediante el uso del SPG para que su mezcla o conmutación sea coherente. Además de ese hecho en este tipo de producción enfocada a eventos deportivos se nos plantea otro hándicap y es que es absolutamente necesario que todas las cámaras estén sincronizadas al cuadro por necesidades del video arbitraje. Por lo tanto, es crucial la sincronía antes y durante la transmisión y en la recepción de la señal de vídeo del conjunto de las cámaras. Antes de la transmisión conseguimos que todas las cámaras estén sincronizadas entre ellas con la inclusión en el circuito de la señal de vídeo del Sincronizador de vídeo HTC3001 de la empresa Albalá Ingenieros. Al comprimir la señal de vídeo HD-SDI con su audio embebido para poder transmitirla vamos a perder esa sincronía con lo que nos aparece otro problema y aquí es donde entran en juego los dispositivos transmisores. Los sistemas Nimbra poseen dos entradas de sincronismo externo. Por una de ellas se le suministra una señal de reloj de frecuencia 10 MHz y que se utiliza para sincronizar el oscilador interno del propio sistema para que pueda generar todas las señales de reloj que necesita para su correcto funcionamiento. Por la otra entrada se le facilita lo que se conoce en el mundo del Broadcast como la señal de referencia de la casa, que o bien es una señal de vídeo analógica que no contiene información de vídeo (BB), pero sí sus sincronismos con flancos de bajada de 200 ns, o la señal Tri-level-Sync.

Los sistemas VA640 y VA220 situados en el centro de producción serán considerados como sistemas maestros y se van a encargar de enviar a los sistemas situados en la unidad remota la información temporal necesaria para que se sincronicen respecto a los sistemas maestros. En concreto y durante lo que dure la transmisión enviarán 8000 muestras al segundo, con lo que el reloj de sincronismo se regenera constantemente.

Hay que decir que esa frecuencia de 10 MHz es comúnmente usada por los operadores de telecomunicación, pero no en los entornos de producción de televisión. La marca propietaria del protocolo DTM, Netinsight, recomienda fervientemente que se utilice esa frecuencia externa de 10 MHz, recomendación que se seguirá en este trabajo, utilizaremos por tanto un dispositivo generador de esa señal de sincronismos de 10 MHz.

**Tarjeta Ethernet:**

La tercera tarjeta de la que dispone el sistema VA640 posee 8 bocas o entradas RJ 45 por las cuales llegarán las diferentes Vlans provenientes de las salidas del *switch* situado en el rack de la producción remota, con los circuitos virtuales en los que se han subdividido el circuito de datos de esta producción remota.

En la **Tabla 4** podemos ver el conjunto de señales de entrada al sistema VA 640. Y en el **Anexo V**, un desglose de cada conjunto de señales con mayor detalle.

**Tabla 4.** Conjunto de señales de entrada al sistema Nimbra VA640.

NIMBRA VA 640	
EQUIPO/ VLAN	PUERTO
CCU/OCP	1
AUDIOCODEC	2
INTERCOM	3
RELOJ	4
CÁMARA CANASTA	5
MTX VIDEO	6
MTX AUDIO	7
GESTIÓN NIMBRAS	8

### Sistema VA220.

Este dispositivo no utiliza el protocolo DTM, sino que establece una red privada virtual (VPN) [66], o lo que también se denomina tunel VPN, con el objetivo de gestionar de manera remota y poder enviar tráfico de datos de manera segura mediante la encriptación avanzada estándar (AES) [67]. Una vez establecida la ruta segura se pasa a procesar y transmitir la señal audiovisual y el conjunto de Vlans.



**Figura 43.** Codec transmisor NIMBRA VA 220 [68].

### Tarjeta de vídeo señal HD-SDI:

El sistema VA220 posee una única tarjeta con 4 entradas que gestionará la señal de vídeo en banda base HD-SDI proporcionada por una de las múltiples salidas que posee la matriz de

vídeo. Esta tarjeta que se va a encargar de realizar la codificación de la señal de vídeo, pero en este caso mediante el protocolo H.264.

La tarjeta codificadora se va a sincronizar con la señal HD-SDI que posee su propia señal de reloj. A la salida de la tarjeta obtendremos un *stream* con la señal audiovisual comprimida.

Este dispositivo presenta una gran diferencia frente al VA640 y es que va a utilizar un protocolo llamado Zixi Transporte protegido, (TS) [69, 70, 71], y que está basado en UDP. Este protocolo optimiza su rendimiento de manera dinámica basándose en la variabilidad que presentan las redes no gestionadas e impredecibles, por ejemplo, la red de internet.

Analiza constantemente la calidad del enlace e irá variando la transmisión en función del ancho de banda que presente la red llegando a obtenerse latencias inferiores a los 300 ms lo que va a posibilitar que se entreguen imágenes sin errores y de una gran calidad. Zixi se va a encargar de encapsular los contenidos con tecnologías basadas en la corrección de errores hacia adelante (FEC) y en la solicitud de repetición automática (ARQ).

De esta tarjeta de vídeo se pasa a una tarjeta conmutadora donde se va a convertir la señal comprimida al formato del contenedor MPEG-TS [72], para su posterior transporte. Esta tarjeta irá troceando en paquetes de 188 bytes, tanto la señal de vídeo (con su audio embebido) comprimida.

La estructura de los paquetes consta de una cabecera mínima de 4 bytes más un *payload* menor o igual a 184 bytes. Un tamaño de paquete pequeño permite multiplexar muchos flujos de señal sin introducir mucho retraso, y dotar al sistema de mayor robustez frente a los errores de transmisión. Salvo la señal de vídeo, el resto de los anchos de banda de las señales a transmitir seguirán siendo los mismos que en la transmisión del circuito principal.

Los paquetes se irán multiplexando uno tras otro hasta conformar un *stream* o flujo de datos constante que será introducido en el *payload* o campo de datos de un datagrama IP y que finalmente serán encapsulados en una trama Ethernet, con un MTU de 1500 bytes, para su posterior transporte al centro de producción.

#### **Tarjeta Ethernet:**

Esta tarjeta gestionará las señales de control de ambas matrices, la señal del circuito de comunicaciones, la señal del reloj de juego y la señal del audiocodec. Esta tarjeta de Ethernet

realizará la misma operación que la tarjeta de Ethernet del sistema VA640. Se sigue usando como protocolo de transporte UDP.

Hay que decir que las señales de control de las CCUs no van a poder ser enviadas junto al resto de las señales mencionadas anteriormente ya que estos dispositivos están preparados para trabajar en el nivel 2 o la capa de enlace mientras que el resto de los equipamientos trabaja en el nivel 3 o la capa de red tal y como se indicó en el **apartado 4.1.1.1.** en la descripción de la OCP 400.

El sistema VA220 posee 4 puertos o bocas con entradas/salidas del tipo RJ 45. Cada una de ellas tendrá un cometido diferente. En la **Tabla 5.** podemos ver el conjunto de señales de entrada al sistema VA220. Ver **Anexo V** para ver una descripción más amplia de lo que se tiene en cada uno de los puertos.

**Tabla 5.** Conjunto de señales de entrada-salida Nimbra VA220

NIMBRA VA 220	
EQUIPO/ VLAN	PUERTO
SWITCH	1
FFTH	2
GESTIÓN REMOTA	3
----	4

#### 4.4.1.3. Sistema auxiliar.

##### *PATCH-PANEL RJ45 568B STP/FTP CAT6*

Las conexiones entre los equipos y el switch se efectuarán a través de un patch-panel de 24 puertos RJ45 568B STP/FTP CAT6. El patch funcionará como una extensión de los puertos del switch. Esto permitirá proteger dichos puertos, ya que se evitará realizar conexiones y desconexiones directamente en el switch.



**Figura 44.** Patch-Panel RJ45 CAT6 [73].

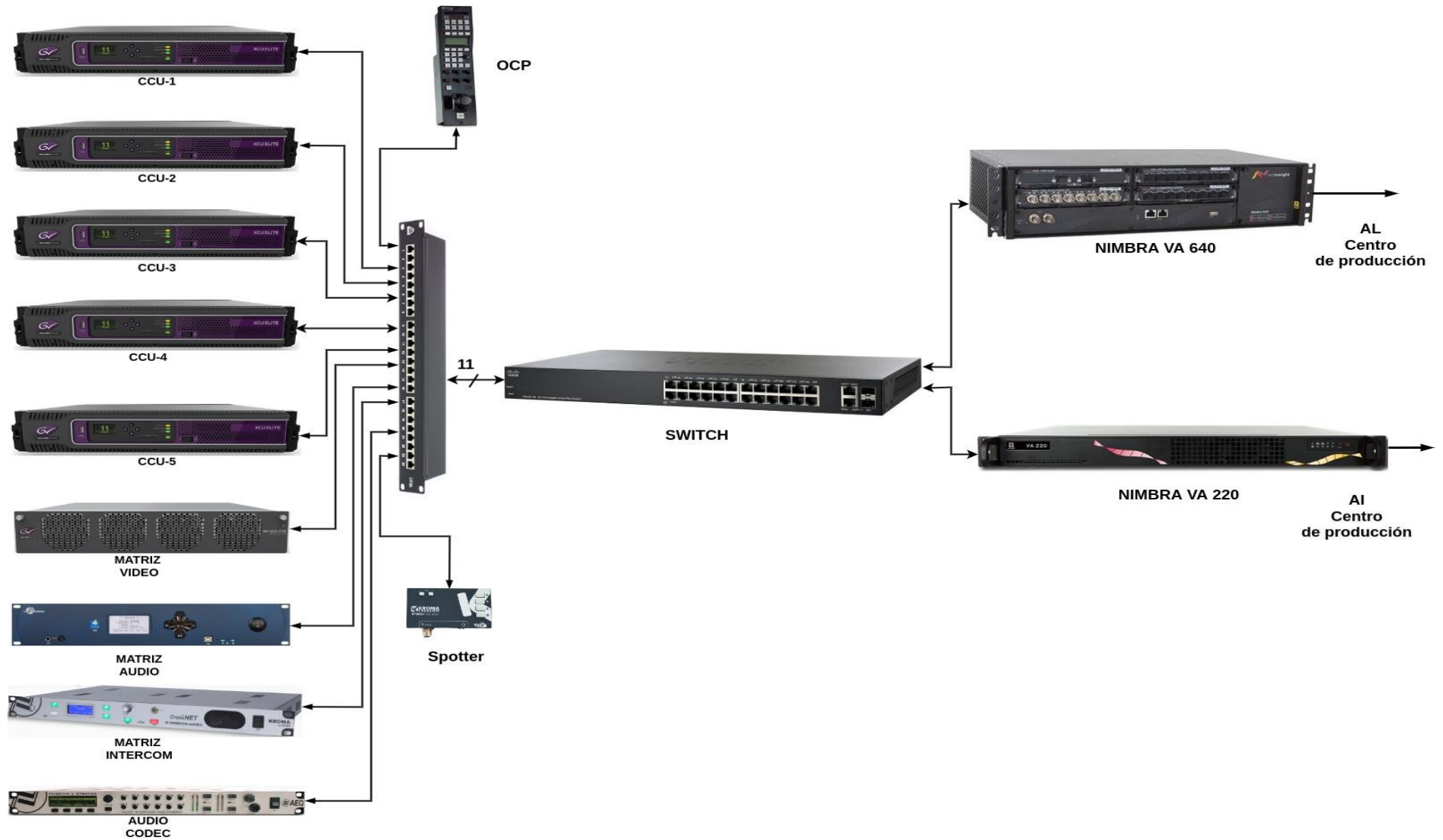


Figura 45. Unidad remota. Circuito de datos y de control

## **5. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.**

La ejecución del proyecto la vamos a dividir en 5 etapas. Las 2 primeras etapas se corresponden con la primera fase y los 3 restantes se corresponden con la segunda fase. Tal y como comentamos en el apartado 1.1 este TFG sólo se centrará en la parte de la unidad remota, pero, para este punto 5 necesitamos mencionar los dos extremos, la unidad remota y el centro de producción ya que la fase de diseño y las posteriores pruebas abarcan ambos extremos de la cadena de señal.

A continuación, se proporciona una breve descripción de cada una de estas etapas:

### **5.1. Primera fase.**

**1) Ingeniería:** esta fase se divide en 3 puntos que será: planificación, compras y plazos de entrega y la petición formal de ofertas de instalación.

**2) Instalación:** de los equipos en el rack y paralelamente, se comienza a crear todas las líneas de transmisión involucradas en la interconexión de los equipos involucrados en la parte de la unidad remota.

### **5.2. Segunda fase.**

Esta es la fase de la configuración y puesta en marcha del equipamiento de cada uno de los circuitos involucrados en la producción remota. Paralelamente se configurarán cada uno de los circuitos que forman parte de la unidad remota y del centro de producción y finalmente, la conectividad entre la unidad remota y el centro de producción. Ahora describiremos las acciones acometer en cada uno de los circuitos:

#### **5.2.1. Circuito de datos.**

**1) Pruebas de cableado:** donde, primeramente, se comprobarán las líneas de transmisión con el objeto de verificar sus continuidades.

**2) Pruebas y configuración:** posteriormente, será el turno de la configuración de toda la red de datos incluyendo tareas de análisis de tráfico de la red que comprenden a ambos switches, el situado en la unidad remota y el del centro de producción y, a ambos sistemas Nimbra.

Finalmente se hará una primera asignación de los anchos de banda a cada Vlan en los sistemas Nimbra.

### ***5.2.2. Circuito de la señal de vídeo.***

**1) Pruebas de cableado:** operación idéntica a las pruebas de cableado realizadas en el circuito de datos.

**2) Pruebas y ajustes en unidad remota y en control de realización:** en todas las fuentes de señal de vídeo. Se comprobará la señal del conjunto de las cámaras, si estas llegan correctamente del patch-panel a las CCUs y desde aquí a la matriz y desde esta, al resto de los equipos. Acto seguido se realizarán las pruebas con el control de realización y el control de cámaras situados en el estudio asignado en el centro de producción

### ***5.2.3. Circuito de la señal de audio.***

**1) Pruebas de cableado:** operación idéntica a las pruebas de cableado realizadas en el circuito de la señal de vídeo.

**2) Pruebas y ajustes en unidad remota y en control de sonido:** se comprobará si todos los canales llegan correctamente a la matriz de audio y desde esta, al resto de los equipos. Después se comenzará a configurar la matriz de la señal de audio y finalmente se probará con el control de sonido situado en el centro de producción.

### ***5.2.4. Circuito de la señal de intercomunicaciones.***

**1) Pruebas de cableado:** operación idéntica a las pruebas de cableado realizadas en el circuito de la señal de audio.

**2) Pruebas y ajustes en unidad remota y en controles de realización y sonido:** se comprobará la conectividad entre el panel TP8000 y la matriz de intercom y la sinergia entre el circuito de las intercomunicaciones y el de la señal de audio. Finalmente se probará su integración en el circuito de intercom del centro de producción y más en concreto, con el circuito del estudio asignado para realizar esta producción remota.



### ***5.2.5. Pruebas de emisión y ajustes en estudio.***

Test de transmisión y test del conjunto de las señales por parte del departamento de explotación de la señal.

En el diagrama se pueden apreciar las 7 etapas mencionadas, así como las fechas de inicio y fin de cada una de ellas. Estas fechas son orientativas y están supeditadas a distintos factores como pueden ser: retrasos en la recepción de material, equipamiento defectuoso que implica una posterior devolución y una subsiguiente recepción de material sustitutorio y otras circunstancias imprevisibles o cuyas consecuencias no pueden estimarse.

Los plazos indicados en el diagrama se han calculado con el siguiente personal especializado:

- 2 técnicos instaladores durante dos semanas para el montaje de los equipos y la creación del nuevo cableado, instalación y conexionado de nuevo equipamiento.
- 1 jefe de proyecto para labores de coordinación y logística.
- 1 técnico del departamento de explotación por circuito de señal todos los días que sean necesarios para la configuración de los de equipos y las diferentes pruebas o ensayos que se van a realizar simulando una emisión en directo. -

La **Tabla 6** muestra un diagrama de Gantt con los plazos estimados para la ejecución del proyecto. Como se puede ver en la tabla, se ha previsto un total de 30 días naturales desde el planteamiento inicial hasta su finalización. Dedicándose la última semana a las diferentes pruebas que sean pertinentes ya que la primera emisión en directo es el 20 de agosto del 2022.



## 6. PRESUPUESTO.

A continuación, se presenta un presupuesto estimado del coste del desarrollo y la ejecución de este TFG.

**Tabla 7. Presupuesto**

NÚMERO DE UNIDADES	MARCA/MODELO	DESCRIPCIÓN	IMPORTE UNITARIO	SUB TOTAL
5	Grass-Valley Series Ldx 86n	Cuerpo de cámara incluyendo viewfinder de 7"	27.000,00 €	135.000,00 €
5	Grass-Valley XCU	Unidad de control de cámara	9.500,00 €	47.500,00 €
5	Grass-Valley OCP 400	Panel de control	2.900,00 €	14.500,00 €
3	Fuji HA23x7.6BERM / BERD	Óptica estándar	15.000,00 €	45.000,00 €
2	Fuji XA55x9.5BESM	Óptica zoom	45.000,00 €	90.000,00 €
5	Sachtler System 25 EFP 2	Tripode con cabeza fluida	14.000,00 €	70.000,00 €
5	Cable de cámara	Transmisor digital de mano	1.500,00 €	7.500,00 €
1	Marshall CV-420 Mini Cam	Mini cámara	1.226,20 €	1.226,20 €
1	Grass-Valley MV-825-RTR	Video Matrix 48*48	35.000,00 €	35.000,00 €
1	Albalá Ingenieros HDE3000C01	Doble desembobador / embobador de audio AES en video SDI HD/3G	930,00 €	930,00 €
1	Albalá Ingenieros HTG3001C01	Generador de sincronismos	1.200,00 €	1.200,00 €
1	Albalá Ingenieros AVD3001C01	Distribuidor de video analogico	650,00 €	650,00 €
1	Albala Ingenieros UR3000	Cofre de 3 RU para albergar hasta 12 módulos de la serie 3000, incluyendo FA redundante y módulo de control	1.400,00 €	1.400,00 €
1	Patch-Panel SMPTE 304. Percon	Panel con 6 conectores SMPTE 304	800,00 €	800,00 €
1	Patch-Panel SDI BNC Pinanson	Panel 1RU de 24X1 BNC SDI HD	350,00 €	350,00 €
1	Black Magic Smartview Monitores de Referencia	Monitores de Referencia	500,00 €	500,00 €
3	AEQ LM 7000 Monitores de Referencia.	Monitores de Referencia	2.500,00 €	7.500,00 €
1	Black Magic SmartScope Duo 4K	Analizador de señal de video	845,00 €	845,00 €
1	Lectrosonics Aspen SPN1624 Matriz de	Matriz de Audio	5.400,00 €	5.400,00 €
1	Neutrik Patch-Panel Audio.	Patch-Panel Audio	230,00 €	230,00 €
1	SONIFEX CM-CU21 Mesa de Comentar	Mesa de Comentaristas	3.600,00 €	3.600,00 €
1	AEQ PHOENIX STRATOS AudioCodec	AudioCodec	2.300,00 €	2.300,00 €
1	Bladmagic Audio Monitor 12G.	Amplificador de referencia señal de Audio	1.274,00 €	1.274,00 €
2	SENNHEISER EM-6000 Receptor Digital	Receptor de microfonía inalámbrica	3.775,00 €	7.550,00 €
2	Sennheiser SK6000	Transmisor digital de petaca incluyendo	1.980,00 €	3.960,00 €
2	Sennheiser SKM6000	Transmisor digital de mano	2.500,00 €	5.000,00 €
1	KROMA by AEQ TP8000 Panel de Usua	Panel de Intercom	1.520,00 €	1.520,00 €
1	KROMA CROSSNET INTERCOM MA	Matriz de Intercom	4.000,00 €	4.000,00 €
1	KROMA TELECOM CE6000 CONCEN	Concentrador	1.000,00 €	1.000,00 €
2	KROMA TELECOM BELT PACK BP 3	Beltpack	1.180,00 €	2.360,00 €
2	Cisco SG220-26P 26-Port Gigabit Poe Sw	Switch	412,93 €	825,86 €
1	cisco SG500-52MP-K9	Switch	1.970,00 €	1.970,00 €
1	NETINSIGHT NIMBRA VA 640	Codec Transmisor/receptor	174.700,00 €	174.700,00 €
1	NETINSIGHT NIMBRA VA 220	Codec Transmisor/receptor	35.830,00 €	35.830,00 €
1	PATCH-PANNEL RJ45 568B STP/FTP	Patch-Panel RJ45	400,00 €	400,00 €
1	ALBALÁ INGENIEROS GPS3000C01	Referencia 10MHz	1.600,00 €	1.600,00 €
1	Mano de obra instalación	Una semana, dos técnicos	6.400,00 €	6.400,00 €
2	Rack	Rack	1.500,00 €	3.000,00 €
1	Materia de instalación	Cable de video, audio y red	4.000,00 €	4.000,00 €
	<b>TOTAL</b>		415.873,13 €	726.821,06 €

---

## 7. CONCLUSIONES.

En mi bagaje profesional como operador de sonido TV he tenido el honor de desempeñar las funciones del cargo en una de las empresas más importantes del mundo audiovisual de este país donde se trabaja con este tipo de producción y la realización de este TFG me ha servido para obtener una visión global del conjunto y poder conocer y entender los detalles que normalmente pasarían totalmente desapercibidos.

En este TFG se ha llevado a cabo un trabajo de investigación sobre uno de los posibles métodos de producción y distribución de señales audiovisuales través de redes IP, es decir, se trata de una descripción teórica aplicable y escalable a cualquier tipo de producción remota, ya que es el presente y el futuro de las retransmisiones de contenido audiovisuales en directo.

Respecto a los objetivos planteados al inicio del TFG, se ha cumplido con creces el objetivo principal, hemos conseguido realizar el diseño tomando como ejemplo una de las soluciones comerciales de producción remota que existen en la actualidad. En cuanto los objetivos específicos, los dos primeros puntos son los más arduos y laboriosos, ya que se parte de un papel en blanco y se tiene que relacionar el objetivo principal, el qué, con el cómo, los objetivos básicos, discurrir como se puede dividir este proyecto en partes más pequeñas, los 4 circuitos que conforman este TFG y el equipamiento que los forman y que protocolos son necesarios y como se tienen que relacionar de una manera sencilla e inteligente.

Cabe destacar aquí la relevancia de la función que desempeñan los dispositivos Nimbra de la marca sueca Netinsight dentro del proyecto. Ambos sistemas son los encargados de comprimir y adecuar las señales para que puedan ser transmitidas o bien, por un circuito dedicado punto a punto donde las condiciones son las ideales para el tráfico de señales de media o, por la red de internet, que no ha sido concebida para el tráfico de señales audiovisuales y donde no se garantiza que los datos lleguen a su destino. Por otro lado, y lo que sería una desventaja de este proyecto es que se tiene que realizar un desembolso económico importante para poder disfrutar de sus características técnicas.

El objeto de este TFG es realizar un proyecto de diseño de un sistema. Una vez que el proyecto haya sido implementado comienza el *proceso de rodaje*, aquí es donde se van a realizar diversas pruebas con el fin de observar y estudiar el comportamiento del sistema. Será entonces cuando se procederá a realizar algún tipo de mejora o modificación ya que es en este momento donde

las posibles fallas aparecen o donde se aprecia que se puede aumentar el rendimiento del sistema.

Me ha resultado muy interesante ver como se iban engarzando los conceptos teóricos con las necesidades técnicas y como ha ido creciendo el proyecto hasta su conclusión.

### **7.1. Conocimientos adquiridos y aplicados.**

Este TFG se ha basado en las dos áreas de conocimiento en las que se fundamenta la ETSIT o Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Rey Juan Carlos, donde tengo el placer y el honor de cursar mis estudios en el Grado en Ingeniería en Sistemas Audiovisuales y Multimedia. Estas áreas son: Teoría de la Señal y las Comunicaciones y Sistemas Telemáticos y Computación.

Este trabajo ha sido transversal al itinerario formativo que posee este grado donde he podido poner en práctica los conocimientos adquiridos en las asignaturas “Arquitectura de Internet” y “Sistemas Telemáticos”, así como de la transmisión multimedia estudiados en “Protocolos para la Transmisión de Audio y Vídeo en Internet” y la asignatura “Tecnologías de Televisión en internet” lo que me ha permitido profundizar y comprender mejor el diseño de un caso de aplicación real de transmisión de señales audiovisuales vía IP.

Por otro lado, también he aplicado conocimientos de las asignaturas relacionadas con la transmisión de señales, la codificación de información audiovisual y el tratamiento digital de la imagen y del sonido, como son: “Sistemas de Comunicación Audiovisuales”, “Difusión de Audio y Vídeo”, “Estándares de Comunicación de Audio y Vídeo”, “Codificación de Información Audiovisual”, “Equipos y Sistemas de Audio y Vídeo”, “Tratamiento Digital del Sonido” y “Tratamiento Digital de la Imagen”.

Por último, el desarrollo de este TFG ha supuesto para mí un enorme aprendizaje en la gestión de proyectos y los recursos necesarios para su ejecución gracias a que he podido conocer de primera mano las dinámicas de trabajo que poseen los profesionales e ingenieros con una amplia experiencia en el mundo del Broadcast, y consultar todas las dudas que me han ido apareciendo a lo largo de este proyecto.

## 7.2. Líneas Futuras.

Existe un segundo modo de realizar producciones remotas que es más sofisticada y sencilla a la par y que ya se está utilizando en algunas cadenas de televisión del norte de Europa. La idea básica es como si se estuviese extendiendo un plató de televisión a un lugar remoto a través del medio no guiado fibra óptica. Para ello se van a necesitar conexiones directas con anchos de banda lo suficientemente grandes que solo se pueden conseguir cuando los lugares de los eventos se encuentren cerca de los centros de producción o bien con redes muy sofisticadas y caras que no son el objeto de este proyecto.

En este formato de producción sólo se desplazarán al lugar del evento los operadores necesarios para cubrir dicho evento con sus correspondientes cuerpos de cámara y microfonía de ambiente además de los comentaristas si fuese menester. En este caso no se necesitan ni las CCUs ni el sistema de enrutado de vídeo, aquí, la salida de fibra óptica de cada uno de los cuerpos de cámara se conecta a un router o encaminador. Cada una de las señales ópticas de las cámaras son multiplexadas mediante el uso de multiplexor óptico que enviará esa señal multiplexada al centro de producción. Este modo de transmisión necesita de la infraestructura denominada fibra oscura que es una fibra óptica que está tendida y preparada para utilizarse, pero sin uso, de ahí su nombre. Las empresas de telecomunicaciones cuando realizan la planificación de los nuevos tendidos de fibra ópticas suelen sobredimensionar esos proyectos ya que prevén que un futuro próximo haya aumento de la demanda de la conexiones y comunicaciones vía fibra óptica. De esta manera se evitan o se retrasan las costosas obras de canalización, tendido, empalme y conexionado del cable de fibra óptica que se realizan bajo el pavimento. Así que los usuarios de esa fibra oscura pueden disponer de todo el ancho de banda de la propia fibra para transmitir grandes cantidades de tráfico sin temor a que la señal sufra pérdidas, deterioro, o reducción del ancho de banda debido a que tener que compartir ese medio con otros clientes.

Para poder aplicar ese segundo método, se necesitaría realizar un gran desembolso económico en adecuar y actualizar los centros de producción mediante la migración de los equipamientos que trabajan con el interfaz digital de transmisión SDI para que pasen a trabajar sobre redes de datos IP. Una vez adecuadas las instalaciones, este formato, permitirá ahorrar más costes en la producción remota original e incluso reducir más si cabe la huella de carbono que va a producir ya que el equipamiento que se tiene que desplazar es inferior si se lo compara con la versión que se está describiendo en este TFG.

Otra posibilidad de reducción del equipamiento necesario para realizar la retransmisión de eventos de manera remota puede ser la de los sistemas basados en la nube. Para ello se desplazaría un equipo mínimo como en la versión comentada anteriormente de las unidades remota y las señales generadas se enviarían *a la nube*. En esta versión los centros de producción además de tener la infraestructura implementada para trabajar sobre redes de datos IP deben de poseer sus servidores de almacenamiento situados en la nube. Esta solución podría plantear problemas de retardos y latencias debido a la situación geográfica de los servidores. No es lo mismo que un servidor se encuentre situado en una misma ciudad o región que en otro continente.

Con el despliegue de la tecnología 5G se podrá implementar otra versión aún más novedosa en las producciones remotas y que podrá solventar el problema que podría plantear la utilización de nubes de almacenamiento. Estas redes utilizarán lo que se denomina Multi-Access Edge Computing (MEC) [74]. Esta, es una tecnología que permite que los datos se puedan procesar en una situación geográfica más próxima mediante la virtualización de equipos, es decir, dentro de un equipo físico que pudiese estar situado en una central que disponga el operador de telecomunicaciones en las inmediaciones del lugar del evento se crean diversas particiones denominadas máquinas virtuales, que contienen sus propias versiones de hardware, sistemas operativos y almacenamiento. Cada una de estas máquinas virtuales trabaja de forma independiente, con la ventaja de que solo consumen los recursos del equipo físico donde se encuentran instaladas.

Pongamos un ejemplo: en esas máquinas se podría codificar la señal de las cámaras desplegadas para realizar la producción con el fin de reducir su ancho de banda, procesar remotamente las fuentes de señal de audio, realizar una mezcla virtual remota de las señales de vídeo y embeber o multiplexar ambas señales (audio y video) mediante el uso de los protocolos ST 2110 o ST 2206 en un único flujo de datos para obtener una señal de programa final que se enviaría al centro de producción. De esta manera se va a reducir la latencia además de mejorar la QoE del usuario, que es una medida del nivel general de satisfacción del cliente con un proveedor.

Para este supuesto también se necesitaría realizar un gran desembolso económico en adecuar y actualizar los centros de producción mediante la migración de los equipamientos que trabajan con el interfaz digital de transmisión SDI para que pasen a trabajar sobre redes de datos IP.

## CONCLUSIONES

---

Todas esas posibles versiones de producción remota ayudarán enormemente a la conciliación de la vida laboral y familiar de las personas involucradas en estas producciones ya que van a reducir a su mínima expresión uno de los grandes inconvenientes que tiene cualquier producción audiovisual y que es el desplazamiento hasta el lugar del evento, lo que implica que a veces deban de pasar varios días fuera de casa. De esta forma, se va a conseguir desplazar el personal mínimo e imprescindible para llevarla a cabo y que el resto del equipo sólo se tenga que trasladar a su centro de trabajo y desde allí y vía remota, puedan realizar sus tareas como si estuvieran en el lugar in-situ.



## 8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Constantino Pérez Vega, José M<sup>a</sup> Zamanillo Sáinz de la Maza, Alicia Casanueva López “Sistemas de comunicación”. Apuntes asignatura Sistemas de Telecomunicación. Universidad de Cantabria. Mayo 2007
- [2] Wayne Tomasi. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. España: Prentice Hall.
- [3] Robert Álvarez. (02/04/2017). Al baloncesto le funciona el videoarbitraje. El país, Deportes.
- [4] James F. Kurose & Keith W. Ross (2017). Red de computadoras. Un enfoque descendente. España: Pearson educación.
- [5] Hubert Zimmerman. “OSI reference Model- The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection,” IEEE Trans. Commmunications, vol. 28, no. 4, abril 1980. 425-432.
- [6] F.J. Baker. “Core protocols in the Internet Protocol Suite” 2009. [En línea]. Disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_TCP/IP](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_TCP/IP)
- [7] J. Postel. “Transmission Control Protocol DARPA internet program protocol Specification”, RFC 793. USC/Information Sciences Institute. Septiembre 1981.
- [8] J. Postel “User Datagram Protocol DARPA internet program protocol Specification”, RFC 768. USC/Information Sciences Institute. Agosto 1980.
- [9] J. Postel, “Internet Protocol, DARPA internet program protocol Specification”, RFC 791, USC/Information Sciences Institute. Septiembre 1981.
- [10] Ethernet Networks IEEE 802.3 [En línea]. Disponible: <https://www.ieee802.org/3/>
- [11] Bridges and Bridged Networks, 802.1Q-2014 [En línea]. Disponible: <https://www.ieee802.org/1/pages/802.1Q-2014.html>
- [12] Standard for A Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems. IEEE 1588 [En línea]. Disponible: <https://www.nist.gov/el/intelligent-systems-division-73500/ieee-1588>
- [13] Standard for A Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems IEEE 1588-2008. [En línea]. Disponible: <https://standards.ieee.org/ieee/1588/4355/>

- [14] Dynamic synchronous Transfer Mode (DTM). Part 1: System description, ETSI ES 201 803-1 V1.1.1. [En línea]. Disponible: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_es/201800\\_201899/20180301/01.01.01\\_60/es\\_20180301v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/201800_201899/20180301/01.01.01_60/es_20180301v010101p.pdf)
- [15] P. Lindgren, C. Bohm, S. Jörbeck and J. Antell, "TOWARDS A MEDIA EXTRANET "agosto 2006. [En línea]. Disponible: <https://web.archive.org/web/20111009134052/http://broadcastpapers.com/whitepapers/IBCNetInsightMediaExtranet.pdf>
- [16] Valores de los parámetros de la norma de TVAD para la producción y el intercambio internacional de programas Rec. ITU-R BT.709-6 [En línea]. Disponible: <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.709/es>
- [17] Tony Orme, Essential Guide: Practical SDI and IP, marzo 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.thebroadcastbridge.com/content/entry/14877/essential-guide-practical-sdi-and-ip>
- [18] High Definition (HD), Image Formats for Television Production, Tech 3299 [En línea]: Disponible: <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3299.pdf>
- [19] SMPTE ST 2022: Moving Serial Interfaces (ASI & SDI) to IP. Septiembre 2017. [video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=H3W3MPfmbJw>
- [20] Wes Simpson, "Updated ST 2110 Diagram", junio 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.learnipvideo.com/post/updated-st-2110-diagram>
- [21] D. Singer, R. Clark, D. Lee, "MIME Type Registrations for JPEG 2000 (ISO/IEC 15444)", The internet Society, RFC 3745, abril 2004
- [22] Codificación de vídeo avanzada para los servicios audiovisuales genéricos. Rec. ITU H.264 [En línea]. Disponible. <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.264/es>
- [23] MPEG- 4, "Coding of audiovisual objects", ISO/IEC 14496, marzo 2022. [En línea]. Disponible: <https://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-4>
- [24] Material Exchange Format (MXF) - MXF Generic Container, SMPTE 379, 2003, [En línea]. Disponible. <http://car.france3.mars.free.fr/HD/INA-%2026%20jan%2006/MXF/s379-2003.MXF.pdf>
- [25] ITU, Recomendación H.264, H.264: Codificación de vídeo avanzada para los servicios audiovisuales genéricos
- [26] Francis Rumsey. Tim. McCormick, (2004) Sonido y grabación. Introducción a las técnicas sonoras. España: INSTITUTO OFICIAL DE RADIO TELEVISIÓN, RTVE.

- [27] Audio Engineering Society, Inc. Recommended practice for digital audio engineering - Serial transmission format for two-channel linearly represented digital audio data, 2000, AES3-1992 (r1997) [En línea]. Disponible: <http://www.cim.mcgill.ca/~jer/courses/comparch/assignments/03/as1/aes3-1992.pdf>
- [28] Damián Ruiz Coll, “Audio Digital en banda base”, Apuntes asignatura Equipos y Sistemas de Audio y Vídeo, Universidad Rey Juan Carlos. Curso 2018-2019.
- [29] Alan Bensky, “RF Basics: Diversity Techniques”, diciembre 2007. [En línea]. Disponible: <https://www.eetimes.com/rf-basics-diversity-techniques/>
- [30] Francis Rumsey. Tim. McCormick, (2004) Sonido y grabación. Introducción a las técnicas sonoras. España: INSTITUTO OFICIAL DE RADIO TELEVISIÓN, RTVE.
- [31] Audinate. [En línea]. Disponible: <https://www.audinate.com>
- [32] Luis Miguel Brugarolas, “Generación de Señales de Sincronismo y de Códigos de tiempos”, junio 2006 [En línea]. Disponible: <https://manualzz.com/download/5371694>
- [33] Catalogo de cámara de vídeo Grass-Valley Series LDX 86N. [En línea]. Disponible: [ldx\\_series\\_ds-pub-2-0161e-en.pdf](ldx_series_ds-pub-2-0161e-en.pdf) ([grassvalley.com](http://grassvalley.com))
- [34] Catalogo de CCU Grass-Valley XCU [En línea]. Disponible: <XCU4200.book> ([grassvalley.com](http://grassvalley.com))
- [35] Catalogo de OCP 400 Grass-Valley [En línea]. Disponible: <OCP 400 | Grass Valley>
- [36] Catalogo de minicámara Marshall CV420-18X. [En línea]. Disponible: <Marshal CV420-18X - Ceproma>
- [37] Catalogo de matriz de vídeo Grass-Valley MV-825- RTR. [En línea]. Disponible: <MV-825-RTR Multiviewer Router | Grass Valley>
- [38] Catalogo de embebedor de vídeo Albalá HDE3000C01. [En línea]. Disponible : [Albalá Ingenieros \(albalaing.es\)](Albalá Ingenieros (albalaing.es))
- [39] Catalogo de generador de sincronismos Albalá HTG3001C1. [En línea]. Disponible: [Albalá Ingenieros \(albalaing.es\)](Albalá Ingenieros (albalaing.es))
- [40] Catalogo de distribuidor de vídeo Albalá AVD3001C01. [En línea]. Disponible: [Albalá Ingenieros \(albalaing.es\)](Albalá Ingenieros (albalaing.es))

- [41] SMPTE Standard - Television — Broadcast Cameras — Hybrid Electrical and Fiber-Optic Connector ST 304:2009 [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7291473>
- [42] Prysmiangroup. SMPTE 311M-HD-Hybrid-Camera Cable. [En línea]. Disponible: <https://www.prysmiangroup.com/en/smp-te-311m-hd-hybrid-camera-cable>
- [43] Catalogo de patch-panel SMPTE 304. [En línea]. Disponible: [Patch panel SMPTE 304 - Pinanson](#)
- [44] Catalogo de patch-panel BNC-SDI pinason. [En línea]. Disponible: [Patch panel DVP 12G-SDI/4K - Pinanson](#)
- [45] Catalogo de monitor de referencia Blackmagic Smartview. [En línea]. Disponible: [SmartView | Blackmagic Design](#)
- [46] Catalogo de monitor de referencia AEQ LM 7000. [En línea]. Disponible: [AEQ España - Serie LM 7000](#)
- [47] Catalogo de analizador de señal de vídeo Blackmagic SmartScope duo 4K. [En línea]. Disponible: [SmartView – Especificaciones | Blackmagic Design](#)
- [48] C. Scherer, “What is mix-minus?”, octubre 2017. [En línea]: Disponible. <https://www.radiomaonline.com/products/0002/what-is-minus/29788>
- [49] Catalogo de Matriz de audio Lectrosonics Aspen SPN1624. [En línea]. Disponible: [SPN1624 \(lectrosonics.com\)](#)
- [50] Catalogo de patch-panel XLR Neutrik. [En línea]. Disponible: [Connectors for audio, video, fiber optic and industry | Neutrik](#)
- [51] Catalogo de mesa de comentaristas Sonifex CM-CU21. [En línea]. Disponible: [Sonifex CM-CU21 Commentatator Unit](#)
- [52] Catalogo de Audiocodec AEQ Phoenix Stratos [En línea]. Disponible: <http://www.aeq.es/productos/phoenix-stratos>
- [53] Catalogo de amplificador de referencia Blackmagic audio monitor 12G. [En línea]. Disponible: [Blackmagic Audio Monitor 12G | Blackmagic Design](#)
- [54] Catalogo de receptor de microfonía inalámbrica SENNHEISER EM-6000. [En línea]. Disponible: <https://es-mx.sennheiser.com/microfono-receptor-digital-produccion-live-em-6000>

- [55] Catalogo de panel de intercom KROMA by AEQ TP8000. [En línea]. Disponible: [AEQ España - Serie TP8000](#)
- [56] Catalogo de matriz de intercom KROMA CROSSNET. [En línea]. Disponible: <http://www.aeq.es/productos/crossnet>
- [57] Catalogo de concentrador CE6000 KROMA TELECOM. [En línea]. Disponible: [INTERFACES ENLAZADORES 1\\_1 .pdf \(aeq.eu\)](#)
- [58] Catalogo de Beltpack de intercom BP3004 KROMA TELECOM. [En línea]. Disponible: [AEQ International - BP3004](#)
- [59] IEEE 802 LAN/MAN standard Committee. Standard for Local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges, IEEE 802.1D-2004 [En línea]. Disponible: <https://standards.ieee.org/ieee/802.1D/3387/>
- [60] IEEE 802 LAN/MAN standard Committee. Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Common Specifications-Part 3: Media Access Control (MAC) Bridges: Amendment 2-Rapid Reconfiguration IEEE 802.1w-2001 [En línea]. Disponible: <https://standards.ieee.org/ieee/802.1w/1046/>
- [61] Catalogo de switch Cisco SG220-26P. [En línea]. Disponible: [Cisco 220 Series Smart Switches Data Sheet \(Spanish\)](#)
- [62] James F. Kurose & Keith W. Ross (2017). Red de computadoras. Un enfoque descendente. España: Pearson educación.
- [63] Y. Rekhter, B. Moskowitz, D. Karrenberg, G.J. de Groot, E. Lear, “Asignación de direcciones para internet privadas” The internet Society”, RFC 1918, febrero 1996
- [64] Y. Rekhter, B. Moskowitz, D. Karrenberg, G.J. de Groot, “Address Allocation for Private internets” The Internet Society, RFC 1597, febrero 1996
- [65] Catalogo de codec transmisor NIMBRA VA640. [En línea]. Disponible: [Nimbra Product Specifications - Net Insight](#)
- [66] James F. Kurose & Keith W. Ross (2017). Red de computadoras. Un enfoque descendente. España: Pearson educación.

- [67] Advanced Encryption Standard (AES), FIPS PUB 197, noviembre 2011, [En línea]. Disponible: <https://web.archive.org/web/20150407153905/http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips197/fips-197.pdf>
- [68] Catalogo de codec transmisor NIMBRA VA220. [En línea]. Disponible: [Nimbra VA 220 .pdf \(netinsight.net\)](#)
- [69] Asier Anitua Valluerca, TSA, “Transmisión de vídeo y audio: protocolos de streaming”, 2020. [En línea] Disponible: <https://www.telefonicaserviciosaudiovisuales.com/articulos-de-divulgacion/protocolos-de-streaming/>
- [70] Zixi. Software-defined Video Platform, 2022. [En línea]. Disponible: <https://zixi.com/>
- [71] Zixi, Transversal Media Thinking, 2017. [En línea]: Disponible: <https://www.tmediat.es/p-zixi.html>
- [72] MPEG2-parte 1 Recomendación H.222.0 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.222.0/es>
- [73] Catalogo patch-panel RJ 45 568B. [En línea]. Disponible: [Patch panel rack 1U Cat6 SFTP / FTP Apantallado. Comprar venta precio \(rackonline.es\)](#)
- [74] Óscar Prieto Gordo, “Multi-Access Edge Computing”, Apuntes asignatura Tecnología de Televisión en Internet, Universidad Rey Juan Carlos. Curso 2020-2021.
- [75] Audíate. Implementing Dante AV-over-IP from an-IT Manager’s Perspective, 2022. [En línea]. Disponible: [https://go.audinate.com/hubfs/implementing-dante-AV-over-IP\\_techpaper-20220314-en.pdf?hsLang=en](https://go.audinate.com/hubfs/implementing-dante-AV-over-IP_techpaper-20220314-en.pdf?hsLang=en)
- [76] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black, “Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Header”, The internet Society, RFC 2474, 1998
- [77] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies. Z. Wang, W. Weiss, “An Architecture for Differentiated Services” The Internet Society, RFC 2475, diciembre 1998
- [78] Yamaha. Setting up Cisco SG300, QoS Settings Prioritizing the clock synchronization. 2013 [En línea]. Disponible: [https://es.yamaha.com/es/products/contents/proaudio/docs/dante\\_network\\_design\\_guide/301\\_qos.html](https://es.yamaha.com/es/products/contents/proaudio/docs/dante_network_design_guide/301_qos.html)
- [79] B. Cain, S. Deering, I. Kouvelas, B. Fenner, A. Thyagarajan, “Internet Group Management Protocol, Version 3” The Internet Society, RFC 3376, octubre 2002

[80] Yamaha. Setting up Yamaha SWP1 series, Multicast Settings [En línea]. Disponible: [https://usa.yamaha.com/products/contents/proaudio/docs/dante\\_network\\_design\\_guide/201\\_multicast.html](https://usa.yamaha.com/products/contents/proaudio/docs/dante_network_design_guide/201_multicast.html)

[81] Vicente González Ruiz, RS-232, septiembre 2016. [En línea]. Disponible: <https://w3.ual.es/~vruiz/Docencia/Apuntes/Networking/Technologies/RS-232/index.html>

[82] Texas instrument. RS-485 Reference guide 2014. [En línea]. Disponible: [https://www.ti.com/lit/an/slla272d/slla272d.pdf?ts=1657176806694&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/an/slla272d/slla272d.pdf?ts=1657176806694&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

## **ANEXO I. EL PROTOCOLO DTM.**

DTM está basado en la conmutación de circuitos que es un tipo de conexión que realizan los diferentes nodos de una red para lograr un camino apropiado en la conexión de dos usuarios de una red. En este tipo de conmutación se establece un canal de comunicaciones entre un origen y un destino. Durante la conexión se van a reservar recursos de transmisión y de conmutación de la red para uso exclusivo del circuito.

La conmutación de circuitos implica tres fases: el establecimiento del circuito, la transferencia de datos y la desconexión del circuito. Una vez establecido el itinerario entre el origen y el destino se reserva un ancho de banda fijo hasta que la comunicación se termine. [69]

El protocolo DTM está conformado por 4 capas o niveles de abstracción. Cada uno de estos niveles tendrá sus propias funciones para que en conjunto sean capaces de poder alcanzar su objetivo final. Estas capas operan sobre una base de pares, es decir, se van a comunicar con su capa homóloga en el nodo destino. El mensaje partirá desde la capa en la que se generó e irá descendiendo por la pila hasta la capa física y viajará hasta el par de la capa de origen en el lado receptor.

En la Tabla Anexo I, se muestra cómo se estructuran las capas del protocolo DTM.

**Tabla Anexo 1.** Estructura del protocolo DTM

<b>4 INTERCAMBIO</b>
<b>3 RED DTM</b>
<b>2 ENLACE</b>
<b>1 FÍSICA</b>



La función de cada capa son las siguientes, del nivel superior al inferior:

#### **4ª) CAPA DE INTERCAMBIO:**

La capa de INTERCAMBIO DTM maneja la asociación entre el control del canal y los datos. Además, esta capa proporciona una interfaz a los protocolos de capa superior.

Se definen varias funciones para esta capa: la conexión entre señalización y transferencia de datos, el mapeo de los requisitos de servicio en DTM, es decir, cuántos canales, como son de grandes esos canales y por cuánto tiempo deben existir y la resolución de direcciones (en su caso).

Cada función de intercambio acepta datos de usuario formateados para una tecnología de red externa en particular y los adapta al formato DTM. Realiza operaciones de segmentación y reensamblaje si fuese necesario, de señalización específica para la tecnología de red externa soportada, así como la entrega de datos a través de las interfaces de red externas relevantes.

#### **3ª.) CAPA DE RED:**

Esta capa supervisa la configuración, modificación y eliminación de los canales que operan a través de múltiples enlaces de datos, invocando funciones de la capa de enlace para realizarlos en cada enlace de datos. La función de conmutación opera en la capa de red DTM. Esta capa también realiza la distribución necesaria de la información para la sincronización en la red. La función de determinación de ruta en la red proporciona información para la función de gestión de canales.

#### **2ª.) CAPA DE ENLACE:**

La capa de enlace de datos contiene las funciones y los protocolos necesarios para construir, mantener y transportar datos a través de un enlace de datos.

Las funciones son las siguientes: adaptación de canal, función de añadido y/o eliminación, función de Bypass, mantenimiento del enlace de datos y la gestión de recursos de enlace de datos.

**1ª.) CAPA FÍSICA:**

La capa física DTM es la encargada del transporte de los slots entre los nodos, así como la codificación/descodificación de bits, la sincronización de los slots y el encuadre. La capa física proporciona dos o más enlaces físicos.

Las funciones y aspectos son: la recuperación del reloj de bits, la demultiplexación de slots de entrada y slots desviados, el encuadre, la codificación/descodificación en reposo del flujo de slots, la codificación de línea, la recuperación de información del estado del enlace, el multiplexado/demultiplexado de trenes de bits entrantes y salientes, la multiplexación de slots salientes y anuladas, conector físico, y las propiedades eléctricas/ópticas y acondicionamiento de señales asociado.

En lo que a la sincronía se refiere, DTM es una técnica mesócrona, donde los relojes de la red funcionan con la misma frecuencia, pero con fases desconocidas.

Por lo tanto, un sistema DTM se puede definir como un conjunto de nodos interconectados por enlaces físicos donde la comunicación entre nodos se realiza a través de canales. Un nodo se puede conectar a nodos situados en redes externas usando tecnologías como SDH, Ethernet o IP, así como otros nodos en el sistema DTM. Las redes DTM se pueden construir en varias topologías de enlace de datos diferentes, como punto a punto, anillo, doble anillo y bus.

Un canal es una ruta de transmisión virtual unidireccional formada por un conjunto de frames que son una agrupación de bits ordenados en el tiempo que tienen una duración de 0,125msg y que se transmiten a una velocidad de  $8000 \frac{frame}{sg}$ . Cada frame está formado por slots con una capacidad de transporte de 64bits de datos o una serie de códigos especiales y que tienen una velocidad de transferencia de 512kbps. El número de slots que forma un frame variará en función de la capacidad del enlace.

Los canales o bien pueden ser canales de datos o canales de control. El servicio DTM está definido para ambos tipos de canales. Un canal de datos es la capacidad de transporte de datos que se crea entre dos nodos a petición de un usuario o de la propia red, mientras que un canal de control es un canal de señalización que está conectado entre los nodos y que utilizan los mismos protocolos físico y el mismo medio que los canales de datos. Los canales pueden ser de unicast, multicast o broadcast.

Antes de que se produzca cualquier envío de tráfico de datos, un canal debe de formalizar varias fases:

**1ª.) Fase de establecimiento:** donde se configura el canal.

**2ª.) Fase de transporte:** donde se envían los datos.

**3ª.) Fase de desmontaje:** una vez concluida la fase de transporte se produce el desmantelamiento del canal.

Tanto la primera fase como la última requieren señalización de control

## ANEXO II. CÁLCULO DE LA RESERVA DE SLOTS Y DE LOS ANCHOS DE BANDA DE CADA VLAN.

En función de la capacidad del enlace tendremos más o menos slots, **ver Anexo I**. Como la capacidad de nuestro enlace es de 1Gbps pues tendremos:

$$1000\text{Mbps} \div 0,512\text{Mbps} = 1953,12 \text{ Slots de } 0,512 \text{ Mbps cada uno.}$$

Redondeamos a 1953. Así que para trasladar esa señal de vídeo se necesitan:

$$891 \text{ Mbps} \div 0,512 \text{ Mbps} = 1740, 2 \text{ Slots.}$$

Redondeamos a 1741.

La diferencia hasta los 1953, 212 slots se dedicarán a transportar el resto de las señales involucradas en esta producción, es decir: las señales de audio del circuito de comunicaciones y del audio codec, las señales de control de ambas matrices y los datos de gestión de los dispositivos Nimbra.

En total se va a usar 116 slots de los 212 slots disponibles.

El uso de slots se hace de manera aleatoria con el fin de combatir la más que posible aparición del jitter.

Si se enviasen consecutivamente los 1741 contenedores habría que esperar 212 Slots para enviar otro paquete lo cual es totalmente impensable cuando se trata de la transmisión de señales audiovisuales en riguroso directo ya que se necesita de una tasa constante de bit (CBR), es decir, que el tráfico sea continuo e ininterrumpido en el tiempo.

La reserva de los slots y por tanto del ancho de banda para cada Vlan será la siguiente:

- Para el circuito de intercom:  $20\text{Mbps} \div 0,512\text{Mbps} = 39,06$  redondeamos a 40 slots. Se pueden enviar hasta 17 canales independientes, muestreados a 48KHz y con una profundidad de bit de 24bits. Cada panel de comunicaciones es considerado un canal. En el control de realización del centro de producción el número mínimo de panales de intercom para realizar una retransmisión tipo sería de 5: supervisión de imagen, sonido, realización, EVS y operaciones.

## ANEXO II. CÁLCULO DE LA RESERVA DE SLOTS Y DE LOS AÑOS DE BANDA DE CADA VLAN

---

- Para la matriz de vídeo:  $3\text{Mbps} \div 0,512\text{Mbps} = 5,85$  redondeamos a 6 slots.
- Para la matriz de Audio:  $10\text{Mbps} \div 0,512\text{Mbps} = 19,53$  redondeamos a 20 slots. Se pueden enviar hasta 8 canales independientes (4 pares de audio), muestreados a 48KHz y con una profundidad de bit de 24bits.
- Para el audioCodec:  $10\text{Mbps} \div 0,512\text{Mbps} = 19,53$  redondeamos a 20 slots. Se pueden enviar hasta 8 canales independientes (4 pares de audio), muestreados a 48KHz y con una profundidad de bit de 24bits.
- Para la gestión del Nimbra VA640:  $5\text{Mbps} \div 0,512\text{Mbps} = 9,76$  redondeamos a 10 slots.
- Para la gestión del Nimbra VA 220:  $5\text{Mbps} \div 0,512\text{Mbps} = 9,76$  redondeamos a 10 slots.
- Para el resto se reservan:  $10\text{Mbps} \div 0,512\text{Mbps} = 19,53$  redondeamos a 10 slots.

## ANEXO III. CÁLCULO DE LA TASA DE BIT DE UNA TRAMA HD-SDI.

En este anexo vamos a calcular el régimen binario de salida de una trama HD-SDI. Para ello utilizaremos las características que vienen definidas en el estándar SMPTE-274M.

Formato: 1080i25.

Relació de aspecto: 16:9.

Frame Rate:  $25 \frac{\text{Frame}}{\text{sg}}$

Resolución espacial: 1920\*1080.

Hanc: 708 muestras.

LN: 2 muestras.

CRC: 2 muestras.

TRS: {EAV, SAV} = 2 \* Y + 2CbCr = 8 muestras.

Total, muestras barrido horizontal: 708+8+2+2 = 720 muestras.

**1ª) calculamos las muestras totales en una línea (Y).**

Muestras totales(Y) = muestras barrido Horizontal + muestras horizontales:

$$\text{Muestras totales(Y)} = 720 + 1920 = 2640 \frac{\text{muestras}}{\text{línea}}$$

**2ª) calculamos el total de muestras en una línea (YcbCr).**

$$\text{Muestras totales (YCbCr)} = 2 * \text{muestras totales} = 2 * 2640 = 5280 \frac{\text{muestras}}{\text{línea}}$$

**3ª) calculamos el total de muestras en todas las líneas.**

Muestras totales global líneas (MTTlíneas)= Muestras totales (YCbCr) \* número de líneas

$$\text{MTTlíneas} = 5280 \frac{\text{muestras}}{\text{línea}} * 1125 \frac{\text{líneas}}{\text{Frame}} = 5940000 \frac{\text{muestras}}{\text{Frame}}$$

**4ª) calculamos las muestras en todos los frames.**

$$\text{Muestras\_Frames} = \text{MTTlíneas} * \text{Frame Rate}$$

$$\text{Muestras\_Frames} = 5940000 \frac{\text{muestras}}{\text{Frame}} * 25 \frac{\text{Frame}}{\text{sg}} = 148500000 \frac{\text{muestras}}{\text{Frame}}$$

**5ª) Finalmente calculamos el Bit Rate (Rb) de la trama HD-SDI**

$$\text{Rb} = \text{Muestras\_Frames} * \text{número de bits}$$

$$\text{Rb} = 148500000 \frac{\text{muestras}}{\text{Frame}} * 10 \frac{\text{bit}}{\text{muestra}} = 1,485 \text{ Gbps} *$$

Este *Bit Rate* de 1,485 Gbps es el que se genera a la salida de la estación base de cada cámara.

Al disponer este proyecto de seis cámaras en total pues el *Bit Rate* total de la señal de vídeo será:

$$\text{Bit Rate total} = 6 \text{ cámaras} * 1,485 \text{ Gbps} = 8,91 \text{ Gbps.}$$

## ANEXO IV. DANTE. CARACTERÍSTICAS.

Una red Dante está formada por un número mínimo de dos dispositivos habilitados para utilizar Dante en su formato más sencillo de conexión.

Para configurar la ruta de la señal de audio entre los dispositivos es necesario un PC que ejecute el software de la propia marca Audinate Dante Controller. Como hemos mencionado anteriormente, Dante puede trabajar con audio multicanal sin comprimir, con cuantificación de 24 bit o 32 bit, PCM con frecuencias de muestreo de 44,1 KHz a 192 KHz, y que le permite manejar sobre una red Ethernet o bien, 48 canales en cada sentido, 96 en total si se utiliza el protocolo de nivel de enlace Fast Ethernet, a 100 Mbps con frecuencia de muestreo 48 KHz a 24 bits, o, 512 canales en cada sentido, 1024 en total si se utiliza el protocolo Gigabit Ethernet, a 1Gbps con la misma frecuencia de muestreo y cuantificación que el protocolo Fast Ethernet.

En función del número de canales de audio que se vayan a utilizar deberá utilizarse un protocolo u otro. A partir de 32 canales, las especificaciones del protocolo recomiendan utilizar Gigabit Ethernet.

Los equipos hardware que utilizan Dante necesitan de una tarjeta de red con varios puertos Ethernet y un generador de señal de reloj PTP, **ver apartado 2.1.3.**

Dante posee valores predeterminados de latencia de 1 ms. Dependiendo del tipo de protocolo de red y el número de dispositivos existentes en esa red el valor de la latencia variará. Cuanto mayor sea esa red mayor será el valor de la latencia. Para que todo funcione de una manera correcta y sincronizada el dispositivo de recepción tiene que efectuar un almacenamiento intermedio (buffer) de los datos entrantes lo suficientemente prolongada para compensar la latencia de red máxima esperada y producida. Este tiempo se puede configurar en todos los dispositivos habilitados para Dante y el valor se seleccionará conforme a la topología de la red. Si los valores temporales de la latencia del receptor y el transmisor para una ruta de audio determinada no son el mismo, se utilizará el valor superior para esa ruta en cada caso.



Dante se basa en los siguientes principios fundamentales [75]:

- **Quality of Service (QoS) o calidad de servicio.** Apoyándose en los protocolos RFC 2474 [76] y RFC 2475 [77], que definen la arquitectura de *DiffServ* o servicios diferenciados, Dante gestiona los recursos necesarios para garantizar calidad de servicio (QoS) en una red. Para ello va a distinguir diferentes clases de servicio marcando o etiquetando el flujo de paquetes según la prioridad de estos. Cada tipo de etiqueta define un determinado tipo de calidad de servicio. El sistema de *QoS* reconoce 64 tipos diferentes de datos y 4 niveles de prioridad, dando un trato preferente a la sincronización o *Dante Clock* para el tráfico PTP, con la etiqueta DSCP 56 “CS7”, con  $\pm 0,01$ ms de variación, seguida de los paquetes de audio, “Dante Audio” etiqueta DSCP 46 “EF” que admite latencias menores de 0,25 ms y posteriormente el resto de los datos, “Dante Control” etiqueta DSCP 8 “CS1” y el resto con la etiqueta DSCP 0 *BestEffort*.

En la **Figura Anexo IV.** se pueden observar las diferentes prioridades con sus etiquetas DSCP [78].

Priority	Usage	DSCP Label	Hex	Decimal	Binary
High	Time critical PTP events	CS7	0x38	56	111000
Medium	Audio, PTP	EF	0x2E	46	101110
Low	(reserved)	CS1	0x08	8	001000
None	Other traffic	BestEffort	0x00	0	000000

**Figura Anexo IV.** Ejemplo prioridades en protocolo Dante

- **Sincronización.** Además, Dante utiliza el estándar de la IEEE1588 con el objetivo de sincronizar distintos dispositivos entre sí, para ello un elemento de la red actuará como reloj maestro e irá enviando mensajes de sincronización temporal a los distintos elementos que forman la red, ver **apartado 2.1.3.**
- **Sistema Redundante.** La mayoría de los dispositivos del mercado que utilizan este protocolo de comunicaciones ofrecen un sistema redundante de red IP. En este tipo de configuraciones se envían dos copias de toda la información del protocolo Dante (audio, la señal de reloj, mensajes de control etc.) a través de dos redes separadas.

- **Transporte de paquetes Multicast-Unicast.** El protocolo Dante posee dos métodos de transmisión de las señales de audio dentro de la red. El método Unicast, en el que las señales se transfieren directamente de un dispositivo a otro y el método Multicast en el que las señales se transfieren a múltiples dispositivos de la red.

Para evitar sobrecargar las tareas de los switches o que los paquetes de audio lleguen a puertos que no los necesiten cuando se trabaja en modo Multicast, Dante utiliza el protocolo de administración de grupos de Internet “IGMP” RFC 3376 [79], que se utiliza para intercambiar información de pertenencia a grupos Multicast y que consiste en que cada dispositivo de la red transmite mensajes del tipo IGMP para informar que direcciones multicast son necesarias. Mediante la función IGMP *Snooping*, el switch filtrará ese tráfico multicast y lo enrutará por los puertos que llegan a los dispositivos que se han suscrito a una dirección multicast específica. Cada flujo multicast puede llevar hasta 8 canales de audio [80].

## ANEXO V. CONJUNTO DE SEÑALES DE ENTRADA A LOS SISTEMAS NIMBRA.

### NIMBRA VA640

**Por el puerto 1 del sistema Nimbra:** Llegarán el conjunto de datos que contienen las señales de gobierno de las 5 CCUs alojadas en el rack de producción remota con destino al control de cámaras del estudio de realización situado en el centro de producción. La calidad de las imágenes que captan los cuerpos de cámara pueden ser ajustadas mediante la modificación de los siguientes controles: el control selección Iris (manual o automático), el control manual de la apertura del diafragma, el control de filtros de la temperatura de color, el control del master pedestal, el control del pedestal de R,G,B independiente, el control de la ganancia de R,G,B independiente, el control de la ganancia electrónica: 0dB, 9dB, 18dB, el generador de barras de color, el control del balance de blancos y balance de negros y el almacenamiento y recuperación de memorias y *settings* o ajustes.

**Por el puerto 2 del sistema Nimbra:** se obtienen las salidas del audio codec situado en el rack de la producción remota y que se puede utilizar como sistema de back-up de la matriz de audio.

**Por el puerto 3 del sistema Nimbra:** se recibirá la señal de retorno de la matriz de intercom, con las señales de audio del circuito de comunicaciones, es decir los audios del panel de intercom y los retornos de intercom de cada persona que opera una cámara.

**Por el puerto 4 del sistema Nimbra:** viajarán los datos del reloj de juego que hay en el campo provenientes de la mesa de arbitraje. Esta señal de datos se utilizará por el sistema de grafismo situado en el control de realización del centro de producción. Estos datos son una conversión del protocolo RS-232, Estándar Recomendado 232, que es una interfaz que designa un estándar para el intercambio de datos binarios serie entre dos dispositivos o máquinas [81].

**Por el puerto 5 del sistema Nimbra:** llegará la señal de control de la minicámara Marshall CV-420. Mediante el uso del protocolo RS-485, que al igual del RS-232 se utiliza para permitir que una máquina o dispositivo se comunique con dispositivos remotos con lo que se podrá controlar el zoom y el iris y así poder realizar los diferentes ajustes necesarios mediante un dispositivo de control de la cámara para que la imagen que proporcione sea óptima [82].

**Por el puerto 6 del sistema Nimbra:** aunque la matriz de vídeo no posee un software de control remoto sí que se puede manejar a distancia mediante unos paneles remotos que se situarán en el control de realización del centro de producción normalmente próximo al video mixer desde donde vamos a poder seleccionar primeramente la dirección IP de este dispositivo situado en el rack de producción remota para establecer la comunicación mediante una conexión TCP/IP y así poder configurar desde el estudio el conjunto de los *settings*, los puntos de cruce para el enrutamiento de las señales de vídeo etc., en definitiva controlar remotamente la matriz de vídeo como si estuviera en la sala de aparatos del estudio de realización en cuestión.

**Por el puerto 7 del sistema Nimbra:** esta matriz de audio sí que posee un software específico para el control vía remota de la matriz. Desde ese software seleccionaremos la dirección IP de la matriz situada en el rack de la producción remota para que una vez establecida la comunicación a través de una conexión TCP/IP se pueda realizar los pertinentes ajustes a los preamplificadores de señal del conjunto de micrófonos desplegados en el lugar del evento, modificar puntos de cruce en la matriz de audio, comprimir o ecualizar esas entradas de señal.

**Por el puerto 8 del sistema Nimbra:**e gestionará los ajustes y configuraciones internas que ambos sistemas Nimbra, el VA640 y el VA220, poseen cada uno.

#### **NIMBRA VA220**

**Por el puerto 1 del sistema Nimbra:** Conectaremos al switch. Por esta toma viajarán todas las Vlan's con las señales de control de las matrices de audio y vídeo, la señal del Reloj de juego que será suministrada el circuito de grafismo y la señal de audio del circuito de comunicaciones.

**Por el puerto 2 del sistema Nimbra:** será la salida del sistema VA220 al circuito FTTH.

**Por el puerto 3 del sistema Nimbra:**la gestión interna del propio sistema VA 220.

**Por el puerto 4 del sistema Nimbra:** sin conexionado.