



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

**Diseño de la red NDI para el canal de televisión de la  
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.**

**AUTOR:**

**Ing. Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado  
Académico de MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

**TUTOR:**

**Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo PhD.**

**Guayaquil, Ecuador**

**13 de marzo del 2025**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Magíster **Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

**TUTOR**

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo PhD.

**DIRECTOR DEL PROGRAMA**

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo PhD.

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del año 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación **Diseño de la red NDI para el canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizó del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del año 2025

EL AUTOR

---

**Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulada: **Diseño de la red NDI para el canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del año 2025

EL AUTOR

---

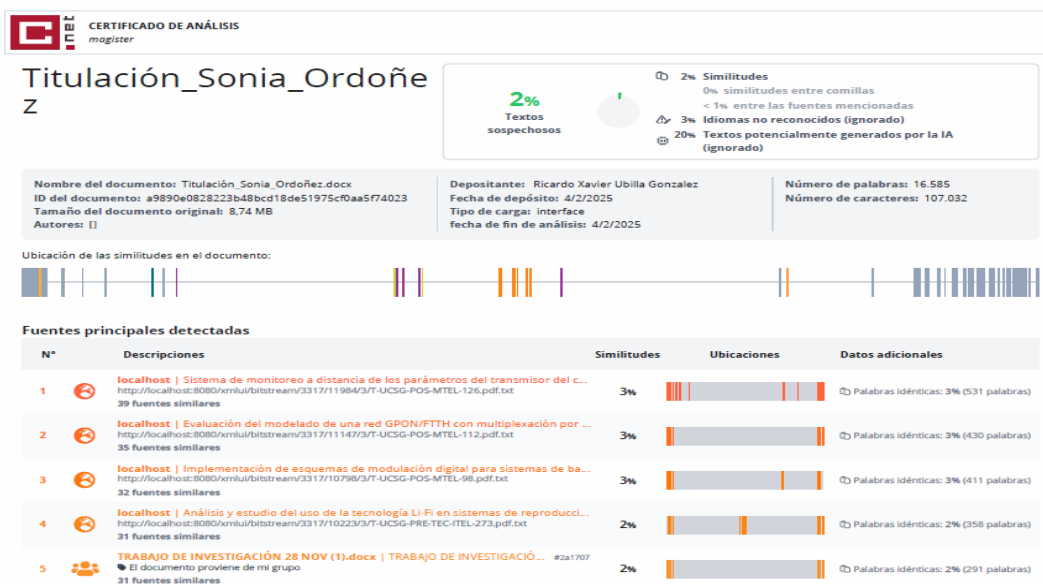
**Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

REPORTE DE COMPILATIO



Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación **Diseño de la red NDI para el canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**, presentado por el estudiante **Ing. Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly**, fue enviado al Sistema Anti plagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 2%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

f. 

Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, PhD

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este camino y han contribuido a la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco a Dios por ser mi guía y luz en los momentos más oscuros, ayudándome a encontrar la esperanza y la fortaleza necesarias para superar los desafíos que se presentaron.

A mis padres, quienes me brindaron su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida; aunque ya no estén físicamente hoy me acompañan desde el cielo celebrando mis logros siempre llevaré su legado en mi corazón.

A mis hermanas del alma que la vida me regalo, por su amor incondicional y su constante aliento. Su presencia en mi vida ha sido una fuente de inspiración y motivación.

A mis profesores y tutor, por su valiosa orientación y por compartir su conocimiento. Sus enseñanzas han sido esenciales para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a mi familia y amigos, gracias por su apoyo y comprensión durante este proceso. Cada uno de ustedes ha contribuido de manera significativa a que hoy pueda presentar esta tesis.

Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a una persona muy especial, mi ñaña Charito, quien me enseñó a apreciar la vida. Una guerrera que, sin importar los obstáculos que se le presenten, siempre enfrenta cada día con una sonrisa. Su fortaleza y amor son mi inspiración constante


Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly



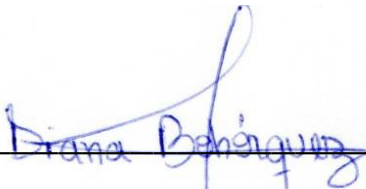
UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f.   
Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo PhD  
TUTOR

f.   
Ing. Peñafole Olivo, Kety Jenny Mgs  
REVISOR

f.   
Ing. Bohórquez Heras, Diana Carolina Mgs  
REVISOR

f.   
Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo PhD  
DIRECTOR DEL PROGRAMA



## ÍNDICE GENERAL

Índice de Tablas.....	XI
Índice de Figuras .....	XII
Resumen .....	XIV
Abstract.....	XV
<b>Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención .....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes del problema a investigar.....	2
1.3. Definición del problema.....	3
1.4. Justificación del problema.....	3
1.5. Objetivos. ....	4
1.5.1. Objetivo general.....	4
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
1.6. Hipótesis.....	4
1.7. Metodología de investigación. ....	5
<b>Capítulo 2: Marco Referencial Teórico .....</b>	<b>6</b>
2.1. Introducción .....	6
2.2. Descripción de Vídeo sobre IP.....	7
2.2.1. Concepto de transmisión de secuencias de vídeo por Internet .....	9
2.2.2. Funcionamiento del streaming de vídeo .....	12
2.2.3. Requisitos del vídeo .....	15
2.2.4. Estándares de compresión de vídeo .....	16
2.2.5. Protocolos de transporte .....	22
2.2.6. Establecimiento de sesión de vídeo sobre IP .....	25
2.2.7. Codificación de flujos de datos en mensajes RTP .....	26
2.3. ¿Qué es el vídeo bajo demanda?.....	27
2.4. Clasificaciones del vídeo bajo demanda.....	28
2.5. Justificación de la Selección del NDI .....	29
2.6. Primeros Pasos para Implementar el NDI .....	30
2.6.1. Envío de videos mediante NDI .....	31
2.6.2. Visualización NDI en tiempo real.....	32
2.6.2.1. Gestión avanzada de redes y eficiencia de recursos.....	33
2.6.3. Transmisión de ventanas de aplicación mediante NDI .....	34
2.6.4. Uso de VLC Media Player para crear un canal NDI.....	35

2.6.4.1. Transmisión de vídeo NDI a Skype.....	36
2.6.5. Envío de vídeo NDI a Google Hangouts, YouTube y otras aplicaciones .....	37
2.6.6. Integración de NDI con Adobe Creative Cloud .....	38
<b>CAPITULO 3: Diseño de la Red .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1. Diagrama de bloques.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2. Escenarios de integración de señales NDI en una producción multilocalización .....</b>	<b>41</b>
3.2.1. Escenario para dos localidades .....	42
3.2.2. Escenario para tres localidades para grabación de programas .....	45
3.2.3. Escenario para tres localidades con producción en vivo .....	48
<b>3.3. Diagrama de red NDI del canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil .....</b>	<b>53</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>55</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>56</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>57</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>64</b>

## Índice de Tablas

### Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Especificaciones del CPU.....	41
Tabla 3. 2: Especificaciones técnicas del Switch de la LAN.....	41
Tabla 3. 3: Especificaciones Técnicas del Switch de la cabina de Radio.....	42
Tabla 3. 4: Especificaciones Técnicas del Switch del Estudio B.....	42
Tabla 3. 5: Especificaciones Técnicas del Router.....	42

## Índice de Figuras

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Streaming de vídeo mediante secuencia de grupos de imágenes (GOP). .....	10
Figura 2. 2: Diagrama funcional del proceso de transmisión de vídeo. ....	11
Figura 2. 3: Esquemático del proceso de transmisión de vídeo. ....	13
Figura 2. 4: Diagrama de bloques del decodificador HEVC. ....	15
Figura 2. 5: Particiones de macrobloques en H.264.....	18
Figura 2. 6: GOP en vídeo comprimido. ....	20
Figura 2. 7: Particiones de macrobloques en H.264.....	22
Figura 2. 8: Particiones de macrobloques en H.264.....	24
Figura 2. 9: Componentes principales de la arquitectura SIP en aplicaciones de vídeo sobre IP (VoIP). ....	26
Figura 2. 10: Secuencia multimedia compuesta por dos paquetes diferentes.....	27
Figura 2. 11: Sistema de vídeo bajo demanda real. ....	29
Figura 2. 12: Aplicación para la generación de patrones de prueba.....	31
Figura 2. 13: Plataforma en la nube del flujo de trabajo de la operación de streaming de vídeo.....	32

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Diagrama de Bloques del Canal de Televisión de la UCSG.....	40
Figura 3. 2: Integración de Cabina de Radio y Estudio Digital.....	43
Figura 3. 3: Captura inicial de vMix .....	43
Figura 3. 4: Fuentes NDI disponibles .....	44
Figura 3. 5: Señal NDI .....	44
Figura 3. 6: Consumo de Ancho de banda con una señal NDI.....	45

Figura 3. 7: Escenario con tres localidades y dos señales NDI .....	46
Figura 3. 8: Asignación de dos señales NDI en VMix.....	46
Figura 3. 9: Consumo de ancho de banda con dos señales NDI.....	47
Figura 3. 10: Ping a la puerta de enlace .....	47
Figura 3. 11: Escenario con tres localidades y tres señales NDI.....	49
Figura 3. 12: Asignación de tres señales NDI en Vmix.....	49
Figura 3. 13: Consumo de ancho de banda con tres señales NDI .....	50
Figura 3. 14: Monitoreo de Tráfico en el Router Principal .....	51
Figura 3. 15: Consumo General de la red LAN.....	52
Figura 3. 16: Ping desde el router principal hacia la Pc con vMix.....	53
Figura 3. 17: Diagrama de red del Canal de Televisión de la UCSG.....	54

## **Resumen**

El presente documento presenta el desarrollo de la tesis de maestría denominada “Diseño de la red NDI para el canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil”. En la actualidad, la transmisión de vídeo sobre IP basada en redes de acceso por fibra óptica (por ejemplo, GPON) en tiempo real es cada vez más importante en el ámbito de la televisión, sin embargo, en el canal TV UCSG no dispone de un sistema de transmisión de vídeo sobre una NDI. El propósito fue diseñar una plataforma de control de TV basada en IP y completamente funcional. En el capítulo 1 se presenta la descripción general del proyecto de titulación. En el capítulo 2 se describen los fundamentos teóricos de los sistemas de vídeo sobre IP y de la interface de dispositivos de red (NDI). En el capítulo 3 se realiza el diseño de la implementación de la tecnología NDI para el canal TV UCSG.

**Palabras claves:** IP, Tecnología, NDI, Interface, Redes

## **Abstract**

This document presents the development of the master thesis called 'Design of the NDI network for the TV channel of the Catholic University of Santiago de Guayaquil'. Nowadays, the transmission of video over IP based on fiber optic access networks (e.g., GPON) in real time is becoming increasingly important in the field of television, however, the UCSG TV channel does not have a video transmission system over an NDI. The purpose was to design a fully functional IP-based TV control platform. Chapter 1 gives an overview of the degree project. Chapter 2 describes the theoretical background of video over IP systems and the network device interface (NDI). In chapter 3 the design of the implementation of the NDI technology for the UCSG TV channel is carried out.

**Keywords:** IP, Technology, NDI, Interface, Networks

## **Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención**

### **1.1. Introducción**

Cuando se inició la producción de vídeo, las tecnologías más utilizadas eran la interfaz digital serie (Serial Digital Interface, SDI) y la interfaz multimedia de alta definición (High-Definition Multimedia Interface, HDMI), consideradas dos soluciones de banda base. Sin embargo, aunque desempeñaron un importante trabajo, tenían ciertas limitaciones, como los requisitos de cableado y los costes de instalación y mantenimiento. Como la demanda de contenidos audiovisuales se incrementaba rápidamente, la necesidad de alternativas más adaptables y rentables se hizo evidente.

La evolución de las redes IP han permitido mejoras relevantes en la transmisión de datos, lo que ha permitido que se logren mayores tasas de datos, escalables y seguras. Dichos avances tecnológicos han permitido la interconexión con diversos dispositivos, que en este trabajo de titulación nos referimos a los equipos de producción de vídeo sin cables a través de redes de acceso óptico, con lo que permite una alta calidad en la producción, distribución y entrega de contenidos de streaming de vídeo.

Por ejemplo, en vídeo sobre IP (VoIP) se requiere de la Interfaz de Dispositivos de Red (Network Device Interface, NDI) cuya tecnología evoluciona rápidamente, convirtiéndose en una tecnología innovadora que a través del protocolo de internet (IP) se consigue mejorar el rendimiento de la transmisión de vídeo y audio.

En este sentido, el propósito de este proyecto consiste en diseñar una red IP basada en NDI para integrar dispositivos y programas informáticos de producción de vídeo, sin necesidad de tener en cuenta las características técnicas de cada uno de ellos. Para ello este proyecto plantea un sistema de control de vídeo y audio en tiempo real lo que permitirá que la producción se adapte a los requisitos de última hora mientras se mantiene una transmisión de alta calidad y una latencia mínima.



De esta manera, no sólo pretende establecer un nuevo estándar en las producciones de vídeo en red, si no también ofrecer una herramienta de gestión y conexión de múltiples dispositivos de forma ágil y eficaz destinada a las empresas del sector. Y así contribuir al progreso tecnológico en el campo de las telecomunicaciones y medios de comunicación audiovisuales, ajustándose a las demandas actuales y futuras del mercado.

## **1.2. Antecedentes del problema a investigar.**

NDI es una tecnología de conectividad que permite compartir vídeo, audio y metadatos a través de una red de área local (LAN). La utilizan millones de personas en todo el mundo y ha sido adoptada por más organizaciones de medios de comunicación que cualquier otro estándar IP, creando el mayor ecosistema de productos de conexión de vídeo por IP del sector. Creemos que no hay vídeo sin conexión. El futuro del vídeo es aquel en el que los contenidos se transfieren con facilidad y eficacia a través del Protocolo de Internet (IP), y esta red global suplantará en gran medida a los actuales formatos de conexión específicos del sector, como HDMI, SDI, etc., en cualquier tipo de flujo de trabajo de vídeo o canal de producción.

NDI está suprimiendo los límites de la conectividad de vídeo al permitir que los sistemas multimedia se identifiquen y comuniquen entre sí a través de IP y codifiquen, transmitan y reciban muchos flujos de vídeo y audio de alta calidad, baja latencia y precisión de fotogramas, e intercambien metadatos en tiempo real. Como ya se ha mencionado, en la última década, el campo de la televisión digital ha tenido una evolución que ha sido impulsada por la adopción de tecnologías digitales avanzadas.

Desde esta perspectiva, las redes IP se han consolidado como una alternativa escalable y rentable en la transmisión de señales de video, donde destaca el interfaz NDI, utilizado como solución innovadora en el campo de la producción y distribución de información multimedia. No obstante, el canal de televisión (TV) de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) actualmente funciona con sistemas de transmisión tradicionales, reduciendo su capacidad de atender las exigencias actuales del mercado.

También en los últimos años, las redes IP han ganado protagonismo dentro de esta evolución por tratarse de una alternativa escalable y eficiente en la transmisión de señales de vídeo, donde el protocolo NDI se destaca como una solución innovadora para la producción y distribución audiovisual.

### **1.3. Definición del problema.**

En la actualidad, el canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil se enfrenta a problemas técnicos derivados de la falta de una infraestructura que permita aprovechar al máximo las últimas tecnologías para la transmisión digital. En este sentido, no se cuenta con una red NDI para la transmisión eficiente de señales de video en tiempo real, lo que impacta negativamente en la calidad de la producción y en la capacidad del canal para brindar una respuesta inmediata a las necesidades del público.

El canal de TV de la UCSG experimenta problemas técnicos debido a la falta de infraestructura de transmisión que le ofrezca las ventajas de las tecnologías más avanzadas de transmisión digital. Así, carece de una red de distribución de señales de vídeo en tiempo real, lo que repercute negativamente la calidad de producción y capacidad del canal para responder de forma inmediata a los requerimientos del televidente.

### **1.4. Justificación del problema.**

NDI puede beneficiar a cualquier producto conectado a la red, incluidos mezcladores de vídeo, sistemas gráficos, cámaras de vídeo, tarjetas de captura, reproductores multimedia y muchos otros dispositivos y software. NDI funciona bidireccionalmente a través de una red Gigabit Ethernet (GigE) estándar con muchos flujos en una conexión compartida. Su algoritmo de codificación es independiente de la resolución y la velocidad de fotogramas, y admite resoluciones 4K y superiores, junto con un número ilimitado de canales de audio de coma flotante y metadatos personalizados. NDI permite la transición a un canal de vídeo IP increíblemente versátil sin renunciar a las inversiones existentes en cámaras e infraestructuras SDI y HDMI ni a las costosas nuevas infraestructuras de red de alta velocidad.

Con la implementación de una red NDI se logrará la integración del canal TV UCSG con diferentes medios digitales, logrando una mayor cobertura e interacción con el personal técnico del canal, comunidad universitaria y televidentes.

## **1.5. Objetivos.**

### **1.5.1. Objetivo general.**

Realizar el diseño de la red NDI para el Canal de TV de la UCSG para la difusión de programas televisivos en tiempo real y sin pérdida de calidad de servicio, y cuyo contenido tiene un enfoque educativo y entretenimiento.

### **1.5.2. Objetivos específicos.**

- ✓ Describir la fundamentación teórica de la transmisión de vídeo sobre redes IP y del interfaz de dispositivos de red (NDI) basada en una revisión bibliográfica del estado del arte.
- ✓ Diseñar la NDI de distribución de vídeo streaming en el Canal TV UCSG con la capacidad de control de tasas muy altas o bajas, y soportar flujos de trabajo colaborativos en tiempo real.
- ✓ Analizar la conectividad de locaciones distantes mediante la implementación de una NDI, con el propósito de minimizar costos relacionados con el mantenimiento de infraestructuras tradicionales, sin que se comprometa la calidad de la transmisión.

## **1.6. Hipótesis.**

El diseño e implementación de una red basada en el protocolo NDI (Network Device Interface) permitirá la creación de flujos de trabajo eficientes para la transmisión de datos multimedia en redes de acceso de fibra óptica, por ejemplo, GPON, que están caracterizados por una baja atenuación, latencia y alto rendimiento espectral en tiempo real. Esta solución no solo optimizará los procesos de producción audiovisual, sino que también transformará el panorama tecnológico del Canal TV UCSG, haciendo que la tecnología sea más accesible, adaptable y escalable para diversas necesidades y entornos.

### **1.7. Metodología de investigación.**

La metodología empleada en este proyecto es de carácter cualitativo, ya que se enfoca en el análisis exhaustivo de la situación actual del canal de televisión, tanto en lo referente a la producción de programas como a la infraestructura de red existente. Este enfoque permitirá identificar las limitaciones y oportunidades del sistema actual, así como evaluar la viabilidad de implementar el protocolo NDI como una herramienta innovadora en la producción y transmisión de video.

El proceso metodológico incluirá las siguientes etapas:

1. Revisión documental: análisis de bibliografía especializada, estudios de caso y normativas técnicas relacionadas con el protocolo NDI y su aplicación en entornos de producción audiovisual.
2. Diagnóstico de la infraestructura actual: evaluación técnica de la red y los equipos disponibles en el canal de televisión, identificando áreas de mejora y requisitos para la implementación del protocolo NDI.
3. Diseño de la solución: desarrollo de un modelo de red basado en NDI, considerando aspectos como la escalabilidad, la interoperabilidad y la eficiencia en la transmisión de datos multimedia.

Esta metodología permitirá no solo comprender las necesidades actuales del canal, sino también proponer una solución tecnológica que se alinee con los estándares de la industria y las demandas del entorno académico y profesional.

## Capítulo 2: Marco Referencial Teórico

### 2.1. Introducción

Cada cierto tiempo, el sector de la producción de vídeo experimenta una revolución que transforma para siempre la filosofía de trabajo y lo que podemos conseguir. Resulta emocionante pensar que se está dando una en estos momentos y que los profesionales en telecomunicaciones pueden formar parte de ella. (Castells & Cardoso, 2005; Neugebauer, 2019)

Por ejemplo, la industria abandonó en gran medida las cámaras, el vídeo y la transmisión analógicos (en favor de los sistemas digitales) hace más de una década. A su vez, esto abrió el camino a flujos de trabajo no lineales mucho más eficientes. Del mismo modo, la aparición de Internet y la adopción generalizada de redes de alta velocidad sentaron las bases para la próxima revolución. Dentro de veinte años, estará claro que esto es mucho más profundo e importante que cuestiones como la resolución, la velocidad de fotogramas y similares. (Nilsson & Axis, 2023)

En la actualidad vivimos en un mundo en el que prácticamente todos los sistemas informáticos del mundo están virtualmente conectados entre sí. Billones de estos dispositivos tienen pantallas de alta calidad, procesadores potentes y cámaras (Lehr & Sicker, 2017). Andrade et al., (2020) destacan que este entorno resulta inevitable que la transferencia de vídeo eficiente, económica y no lineal en el espacio IP suplante a los métodos y sistemas de conexión lineales tradicionales (SDI, HDMI, NDI, etc.).

Por ejemplo, la interface de dispositivo de red (Network Device Interface, NDI) facilita el intercambio de vídeo de alta calidad a través de una red Ethernet local. Sin embargo, la visión de NDI es mucho más interesante que una simple «actualización de cables». Dado que el internet conecta a todos y a todo, en cualquier lugar y de forma no lineal, es muchísimo más que una forma mejor de transportar datos de un punto a otro (Jäger et al., 2020). De este modo permitió e inspiró a innovadores, que cambiaron realmente el mundo de manera fundamental, al crear herramientas y flujos de trabajo que

emplean los datos de formas que nadie había imaginado jamás. Se avecina un salto cuántico similar para la producción de vídeo. (Richards, 2021)

Desde el comienzo de la revolución de los sistemas portátiles, la empresa NewTek anticipó que la producción de vídeo aprovecharía el progreso exponencial de la informática general. Dicha visión también abarca los avances proporcionales de las redes de propósito general e Internet. Los sistemas de producción que utilizan IP para integrar datos, vídeo y audio están transformando de nuevo la producción de vídeo en directo, de una forma que habría parecido ilusoria hace sólo unos años. (Okopnyi et al., 2023)

El propósito de NDI es dar voz a los narradores a través del vídeo, empleando la tecnología y la innovación para dar un giro radical a la forma de crear y utilizar el vídeo. En consecuencia, NDI surge de estos valores fundamentales y facilita la interconexión de productos de vídeo a través de IP, lo que a su vez amplía enormemente las opciones creativas de los productores de vídeo, proporcionándoles mayor potencia, eficiencia y rentabilidad. (Tarrats S., 2024)

## **2.2. Descripción de Vídeo sobre IP**

La creación de contenidos de vídeo y la distribución a través de IP es un proceso sofisticado que sigue un modelo en cadena desde la adquisición en la fuente de vídeo, pasando por la producción y el empaquetado de los contenidos, hasta el elemento final de distribución a los espectadores. Esto significa que un sistema de distribución de vídeo contiene varias partes, que son la contribución, la distribución primaria y la distribución secundaria. (Kalan & Dulger, 2024)

La contribución de vídeo se refiere a funciones como la captura y el procesamiento inicial del contenido de vídeo, así como el transporte inicial previo a la distribución. Por ejemplo, el contenido de vídeo puede capturarse en un estadio de fútbol y transportarse a una instalación central de red de difusión situada en otro lugar. Los flujos de vídeo utilizados en esta fase pueden estar comprimidos o sin comprimir, dependiendo de la situación

particular existente en términos de disponibilidad de ancho de banda (BandWidth, BW) y de las demandas particulares de calidad. (Popescu et al., 2018)

El vídeo de distribución se envía desde la instalación central de difusión a otras instalaciones de difusión para su transmisión final a los usuarios finales. En este caso se suelen utilizar configuraciones de distribución del tipo uno a uno (unicast) y uno a muchos (multicast) (Zuhra et al., 2024). Existen dos categorías de sistemas de distribución: la distribución primaria y la distribución secundaria. (Farhat, 2022)

Los proveedores de distribución primaria de vídeo se encargan del transporte de los contenidos de vídeo desde la entidad de producción hasta la entidad de distribución secundaria para su transmisión final a los usuarios finales. Los servicios de distribución primaria utilizan normalmente formatos de vídeo comprimido, por ejemplo, MPEG-2 o MPEG-4 (Leiderman & Ben Ezra, 2024) o JPEG 2000 (Podgorelec et al., 2024).

Los proveedores de distribución secundaria de vídeo gestionan el transporte de los contenidos de vídeo desde los proveedores de distribución primaria de vídeo hasta los consumidores finales. Ejemplos de servicios de distribución secundaria son la IPTv y la televisión por cable. Los servicios de distribución secundaria suelen comprimirse con las normas MPEG-2 o MPEG-4, con velocidades de 2-4 Mbps para los sistemas de definición estándar (SD) y de 8-20 Mbps para los sistemas de alta definición (HD). Las configuraciones de distribución son de tipo uno a uno (unicast) y uno a muchos (multicast). (Slivar, 2021)

Las operaciones básicas que se realizan sobre las señales de vídeo a lo largo de la cadena de distribución de vídeo son la codificación y compresión de vídeo, la encapsulación, la corrección de errores hacia adelante, la transmisión, la recepción y la desencapsulación, la corrección de errores y la descompresión. (Vaz et al., 2023)

Al igual que otras categorías de redes de proveedores de servicios, se espera que los sistemas de distribución de vídeo sobre IP proporcionen servicios con una buena combinación de simplicidad, escalabilidad, seguridad, manejabilidad y rentabilidad. Los requisitos de los acuerdos de nivel de servicio (Service Level Agreement, SLA) para vídeo se refieren a parámetros como el retardo de red, la fluctuación de red, la pérdida de paquetes, la disponibilidad y la recuperación de pérdidas. (Popescu et al., 2018)

Los requisitos para la ambientalización de las redes de distribución de vídeo basadas en IP complican mucho el panorama. Esto significa que hay que examinar más detenidamente los elementos que componen las redes de distribución primaria y secundaria y analizar los mecanismos de ecologización utilizados en cada caso. (Kalan & Dulger, 2024)

Los componentes principales son las redes de acceso (con diferentes categorías de tecnologías de tipo cableado e inalámbrico), las redes centrales, los centros de datos (DC) y las redes de almacenamiento utilizadas para prestar servicios basados en la web como IPTv, distribución de contenidos y servicios basados en la nube. (Slivar, 2021)

### **2.2.1. Concepto de transmisión de secuencias de vídeo por Internet**

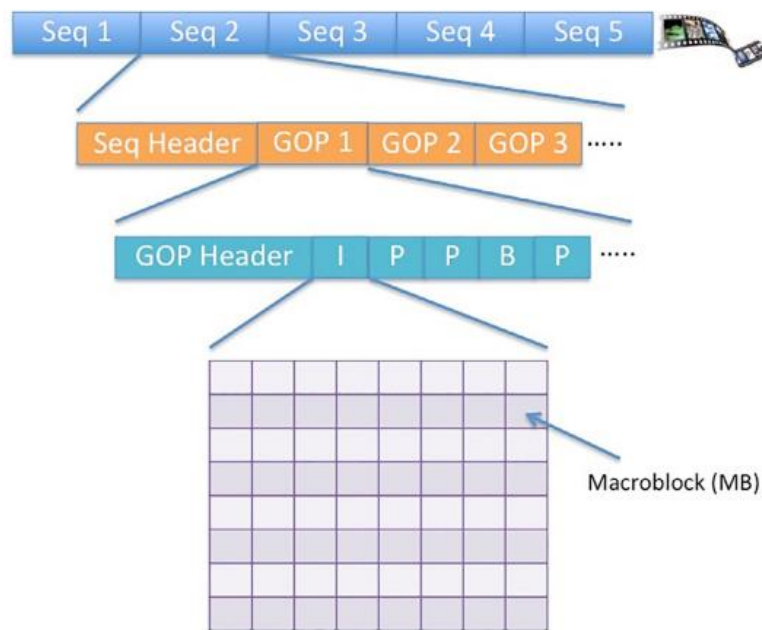
Como se muestra en la Figura 2.1, un streaming de vídeo consiste en una secuencia de múltiples segmentos más pequeños. Cada segmento contiene varios grupos de imágenes (Group of Pictures, GOP) con una cabecera de segmento al principio de cada GOP. La cabecera del segmento incluye información como el número de GOPs en ese segmento y el tipo de GOPs.

Un GOP se compone de una secuencia de imágenes. La primera trama es una trama I (intra), seguida de varias tramas P (predicción) y B (predicción bidireccional). Una trama de un GOP se divide en varias rebanadas y cada rebanada consta de varios macrobloques (MB). Los MB se consideran la



unidad para las operaciones de codificación y decodificación de vídeo. (X. Li et al., 2021)

Figura 2. 1: Streaming de vídeo mediante secuencia de grupos de imágenes (GOP).

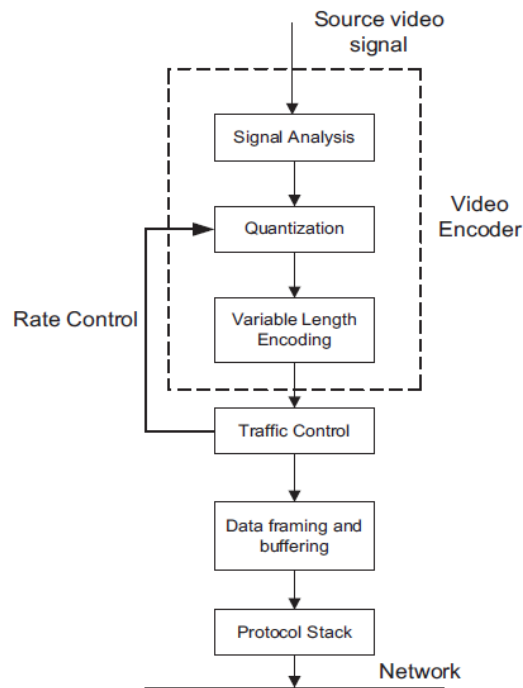


Fuente: (X. Li et al., 2021)

Para dar una visión básica del sistema de comunicación de vídeo, en la Figura 2.2 se muestra un diagrama funcional genérico de un proceso de transmisión de vídeo. El primer paso del proceso es analizar la señal de vídeo analógica/digital suministrada. El análisis puede incluir operaciones como filtrado, conversión analógica a digital (si los datos de vídeo recibidos son analógicos) y, normalmente, no se realiza ninguna compresión con el análisis. Los datos sólo se transforman a un formato más compresible que el formato de la señal original. (Chemin, 2023)

El segundo paso realiza la cuantización de la señal, ya sea sin pérdidas o con pérdidas. En un sistema con pérdidas, el cuantificador reduce la calidad de la señal de forma que sea lo más aceptable posible para el ojo. En el bloque de codificación de longitud variable, cada evento de la señal tendrá un código con diferente número de bits. Por eso también se llama codificación de entropía. Para conseguir la compresión, se asignan códigos cortos a los eventos que ocurren con frecuencia y códigos largos a los eventos poco frecuentes. (Taha & Ali, 2023)

Figura 2. 2: Diagrama funcional del proceso de transmisión de vídeo.



Fuente: (Aliesawi et al., 2005)

El bloque de control de tráfico sigue el estado del flujo de datos en un canal de comunicación, ajusta los parámetros del codificador (control de velocidad en la imagen anterior) según el estado del flujo de datos para adaptar los datos de vídeo generados al canal de comunicación. El siguiente bloque forma paquetes de datos de acuerdo con el protocolo utilizado. También almacena en búfer los paquetes para servir un flujo de datos continuo y fluido al canal de comunicación. (Bross et al., 2021)

Parámetros del sistema como el tamaño del búfer y la longitud de los paquetes son esenciales para el rendimiento del sistema, por lo que deben tenerse muy en cuenta durante el diseño. En la recepción de un flujo de datos de vídeo, el receptor debe conocer el formato de los datos recibidos. Las aplicaciones compatibles con SIP/SDP, negocian al principio de una sesión de comunicación para encontrar un formato adecuado para ambas partes. (Y. Zhang et al., 2024)

Cuando comienza la transmisión de datos, uno de los objetivos es que el receptor sirva fotogramas de vídeo a su decodificador a una velocidad igual

a aquella a la que los fotogramas fueron generados por el codificador en el lado emisor. Debido a las variaciones de retardo de los paquetes en la ruta de transferencia, los paquetes recibidos se almacenan en un búfer para obtener la tolerancia/resiliencia necesaria a las variaciones de retardo. (Cruzat La Rosa, 2023)

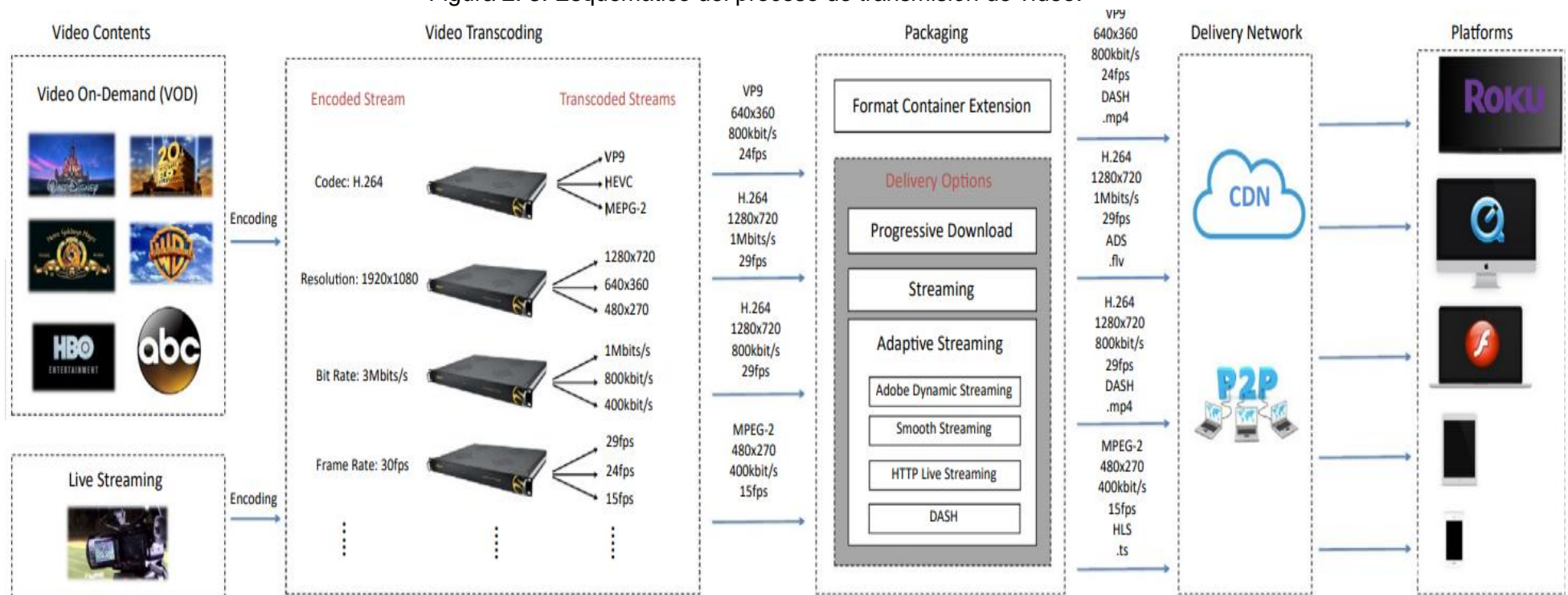
Para tener más tolerancia a las variaciones de retardo, se pueden almacenar más datos de vídeo en el búfer, de forma que se consiga un «desplazamiento» de retardo mayor. Esto provoca un problema de optimización entre el retardo de la comunicación y la calidad del servicio. Además de la tarea de almacenamiento en búfer, el receptor también debe comprobar el orden de los paquetes y reorganizarlos si es necesario, y decidir qué hacer en caso de paquetes erróneos o perdidos. El protocolo RTP ayuda en gran medida a implementar estas funciones ofreciendo parámetros necesarios como la inclusión de marcas de tiempo y números de secuencia en la cabecera de los paquetes. (Chemin, 2023)

### **2.2.2. Funcionamiento del streaming de vídeo**

Tanto en el vídeo a la carta (VOD) (p. ej., Hulu, YouTube, Netflix) como en el streaming en directo (p. ej., Livestream), los contenidos de vídeo generados por las cámaras tienen que pasar por un complejo flujo de trabajo de procesos antes de ser reproducidos en los dispositivos de los espectadores. En esta sección describimos estos procesos. La Figura 2.3 muestra a vista de pájaro los principales procesos que se llevan a cabo para transmitir un vídeo, desde su producción hasta su reproducción en los dispositivos de los espectadores.

En conjunto, estos procesos permiten que los vídeos en bruto y voluminosos, generados por cámaras, se reproduzcan en una amplia variedad de dispositivos de los espectadores en tiempo real y con el mínimo retardo. Cabe destacar que, además de estos procesos, suele haber otros que permiten funciones como la protección de los contenidos de vídeo y la rentabilidad del streaming de vídeo. En el resto de esta sección, detallamos los principales procesos necesarios para el streaming de vídeo.

Figura 2. 3: Esquemático del proceso de transmisión de vídeo.



Fuente: (Aliesawi et al., 2005)

El primer paso en el streaming de vídeo es la producción de contenidos de vídeo. Un contenido de vídeo en bruto generado por cámaras puede consumir un espacio de almacenamiento enorme, imposible de transmitir a través de la velocidad actual de Internet. Por ejemplo, un segundo de vídeo en bruto con resolución 4K ocupa aproximadamente 1 GB de almacenamiento. Por lo tanto, el vídeo generado, en primer lugar, tiene que ser comprimido, lo que también se conoce como codificación de vídeo. El concepto del vídeo es simplemente mostrar continuamente un gran número de fotogramas a una velocidad determinada (también conocida como frecuencia de imagen) para crear una ilusión de movimiento.

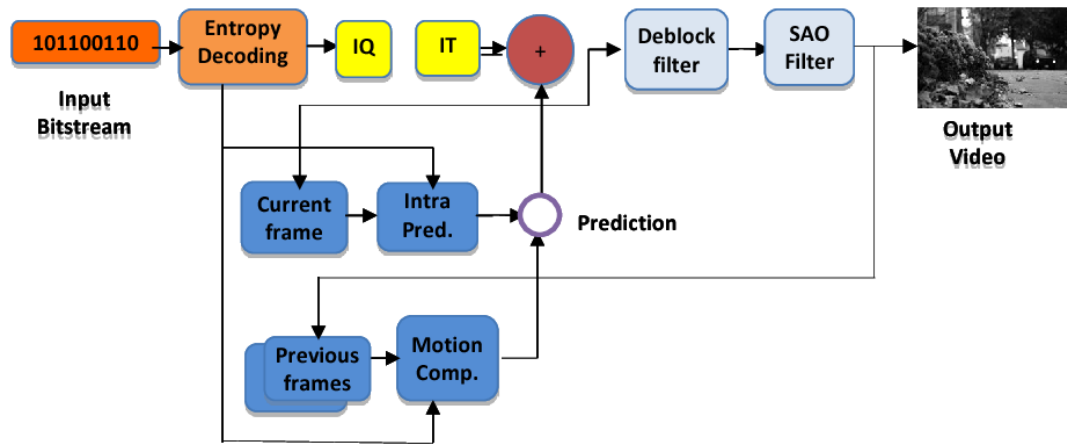
Este gran número de fotogramas suele contener redundancias espaciales y temporales tanto dentro de un fotograma como entre fotogramas sucesivos. En el proceso de compresión de vídeo, estas redundancias se eliminan utilizando un determinado estándar de compresión, por ejemplo, H.264/MPEG-4 AVC (Z. Zhang et al., 2019), VP9 (Nawaz et al., 2024) y H.265/HEVC (Byeon et al., 2021). El proceso de compresión codifica el vídeo en bruto basándose en un estándar de compresión específico (conocido como códec), la resolución, la tasa de bits y la frecuencia de imagen a un tamaño significativamente menor (Ibraheem et al., 2024).

El decodificador HEVC toma como entrada un archivo comprimido denominado bit-stream del que extrae y decodifica todos los elementos sintácticos, y a continuación construye cada fotograma de la secuencia de vídeo original. La figura 2.4 ilustra una arquitectura común del decodificador HEVC.

El proceso de decodificación puede dividirse en cuatro etapas principales (véase la Figura 2.4). La primera etapa es la descodificación entrópica, que analiza y descodifica el archivo bitstream. Extrae datos relevantes como los índices de las tramas de referencia, el modo de predicción interna y el modo de codificación. Esta información se transmite a sus respectivos módulos. La segunda etapa se denomina etapa de

reconstrucción, que contiene la cuantización inversa (IQ), la transformación inversa (IT) y un proceso de predicción.

Figura 2. 4: Diagrama de bloques del decodificador HEVC.



Fuente: (Smei et al., 2017)

### 2.2.3. Requisitos del vídeo

La naturaleza del contenido de vídeo influye directamente en la tasa de compresión alcanzada por un codificador de vídeo y en el tráfico resultante que debe transmitirse. Por ejemplo, por un lado, una secuencia de vídeo de noticias suele mostrar a una persona que se limita a narrar los acontecimientos y, en consecuencia, la mayor parte de la escena está inmóvil, lo que favorece las técnicas de compresión de vídeo basadas en la estimación del movimiento. (Zuhra et al., 2024)

Por otro lado, una película de acción es menos susceptible de compresión debido a los frecuentes movimientos de cámara y desplazamientos de objetos en las escenas de la película. Además, los cambios de escena producen interrupciones que dan lugar a fotogramas codificados más grandes. Por lo tanto, las secuencias de vídeo con frecuentes cambios de escena, como los videoclips musicales, generan un tráfico de red muy fragmentado. (Saberri et al., 2024)

La transmisión de secuencias de vídeo a través de Internet impone distintos requisitos a la entrega de calidad de vídeo. Los retrasos de procesamiento, transmisión, propagación y puesta en cola componen el retraso total que tarda un paquete en transmitirse completamente desde la

fuente de vídeo hasta su destino. El retardo de procesamiento consiste en la codificación y paquetización en la fuente, el tratamiento del paquete en los enrutadores intermedios y la despaquetización y decodificación en el receptor. El retardo de transmisión depende, entre otras cosas, del tamaño del paquete y de la capacidad de transmisión de los enlaces. (Pawłowski & Piniarski, 2024)

Mientras, que el retardo de propagación es una característica de cada medio de comunicación. El retardo de cola es impredecible porque depende de los paquetes de vídeo (u otros) de tráfico concurrente que se encuentran en cada enrutador intermedio. El retardo máximo es una métrica importante para las aplicaciones interactivas con requisitos de tiempo real, como la videoconferencia y la colaboración a distancia. Las aplicaciones de streaming de vídeo también dependen de que los paquetes lleguen con un retardo limitado para reproducir el contenido a tiempo. Si un paquete llega demasiado tarde al receptor, se considera perdido, ya que es inútil para la reproducción de vídeo. (Huang et al., 2024)

Un jitter limitado también es deseable porque reduce la capacidad de buffer necesaria en los receptores para compensar estas variaciones de retardo. IP es un protocolo sin conexión y, por tanto, los paquetes pueden seguir distintos caminos a través de la red, a menos que se utilice MPLS1. Como consecuencia, pueden llegar al receptor fuera de orden. Todos estos problemas afectan a la calidad de vídeo percibida en el receptor por un usuario final.

#### **2.2.4. Estándares de compresión de vídeo**

La necesidad de compresión de vídeo e imágenes para conservar el BW de la red es de gran importancia, lo que ha dado lugar al desarrollo de una serie de estándares de compresión a lo largo de los años. Como es bien sabido, la gran heterogeneidad de Internet se caracteriza por un gran número de enlaces terminales e infraestructuras centrales de baja capacidad. Los algoritmos de compresión de la información, y en particular de los datos de vídeo, son muy demandados y han sido objeto de numerosos esfuerzos de investigación en las últimas décadas. (Bull & Zhang, 2021)

Puede existir muchas redundancias en una imagen y podemos predecir la mayor parte del resto de las características examinando una parte de ella. También puede haber muchas correlaciones entre varias imágenes consecutivas y podemos hacer una predicción bastante buena de una a partir de las demás. En general, el principal objetivo de la codificación es la reducción de la tasa de bits para el almacenamiento y la transmisión de la fuente de vídeo, conservando al mismo tiempo la mejor calidad de vídeo posible. (Mochurad, 2024)

La idea básica de la compresión de vídeo es eliminar la redundancia espacial dentro de un fotograma de vídeo y la redundancia temporal entre fotogramas de vídeo adyacentes. Dos entidades han contribuido con los algoritmos y normas más utilizados para la compresión de vídeo: MPEG (Moving Picture Expert Group) y la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). (Kumar et al., 2024)

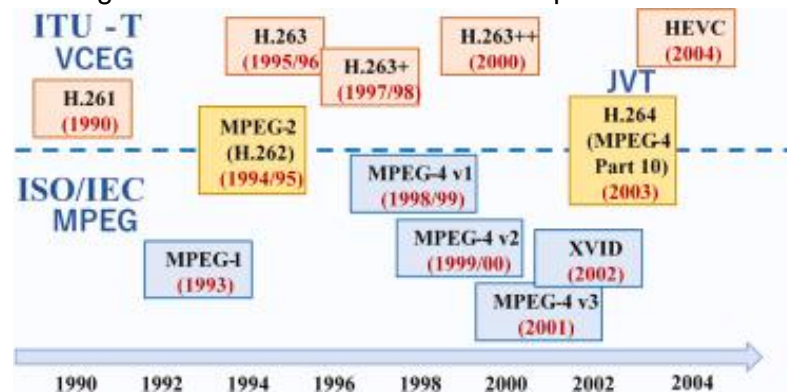
El proceso de compresión consiste en aplicar un algoritmo al flujo de datos de vídeo de origen para crear un formato comprimido listo para su transmisión o almacenamiento. Para reproducir el archivo comprimido, se aplica un algoritmo inverso para producir un vídeo que muestra (virtualmente) el mismo contenido que el vídeo original. El tiempo que se tarda en comprimir, enviar, descomprimir y mostrar un archivo se denomina latencia. Generalmente, cuanto más avanzado es el algoritmo de compresión, mayor es la latencia.

Existen dos tipos de compresión: sin pérdidas y con pérdidas. La compresión de datos sin pérdidas se utiliza cuando los datos deben restaurarse exactamente como estaban antes de la compresión. La compresión con pérdidas se basa en el supuesto de que los datos no tienen que restaurarse perfectamente. Una buena parte de la información redundante puede simplemente desecharse de los datos de imagen, vídeo y audio y dichos datos seguirán teniendo una calidad aceptable. (Darwich, 2017)



El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) y la Organización Internacional de Normalización (ISO)/Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) formulan normas de codificación de vídeo. Como se muestra en la Figura 2.5, los estándares de compresión de vídeo incluyen H.261, MPEG-1, MPEG-2, H.263, H.263+, H.263++, MPEG-4 Parte 2, H.264 (MPEG-4 Parte 10), HEVC, etc. Las normas UIT-T incluyen H.261, H.263, H.264, que se utilizan principalmente en el campo de la comunicación de vídeo en tiempo real, como la televisión de conferencia; las normas de la serie MPEG son formuladas por ISO/IEC y se utilizan principalmente para el almacenamiento de vídeo (DVD), la radiodifusión y la televisión, la transmisión en flujo continuo por Internet o la red inalámbrica, etc.

Figura 2. 5: Particiones de macrobloques en H.264.



Fuente: (Ming et al., 2024)

Las dos organizaciones también han desarrollado conjuntamente algunas normas: la norma H.262 es equivalente a la norma de codificación de vídeo de MPEG-2, y la última norma H.264 está incluida en la Parte 10 de MPEG-4. Este documento se centra en los estándares basados en bloques que emplean la transformación discreta del coseno (DCT), las tecnologías de compresión de vídeo de código abierto más extendidas. Las siguientes subsecciones ofrecen una breve visión general del orden cronológico propuesto por los estándares. (Hu et al., 2021)

Un par de algoritmos que funcionan juntos se denomina códec de vídeo (codificador/decodificador). Normalmente, los códecs de vídeo de diferentes estándares no son compatibles entre sí; es decir, el contenido de vídeo que

se comprime utilizando un estándar no puede descomprimirse con otro estándar diferente. Por ejemplo, un decodificador MPEG-4 no funcionará con un codificador H.264 (Subbarayappa & Rao, 2021). Esto se debe simplemente a que un algoritmo no puede decodificar la salida de otro algoritmo, pero es posible implementar muchos algoritmos diferentes en el mismo software o hardware, lo que permitiría la coexistencia de múltiples formatos.

Por ejemplo, el Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento (Motion Picture Expert Group, MPEG), creado en 1998, es un grupo de trabajo ISO/CEI que trabaja en la elaboración de normas para formatos digitales de audio y vídeo y para marcos de descripción multimedia. Las principales normas de codificación de vídeo publicadas por este grupo son MPEG-1, MPEG-2 y MPEG-4. La norma MPEG-1 define una serie de técnicas de codificación tanto para audio como para vídeo (el vídeo es la parte 2 de la norma), diseñadas para generar flujos de hasta 1.5 Mbps.

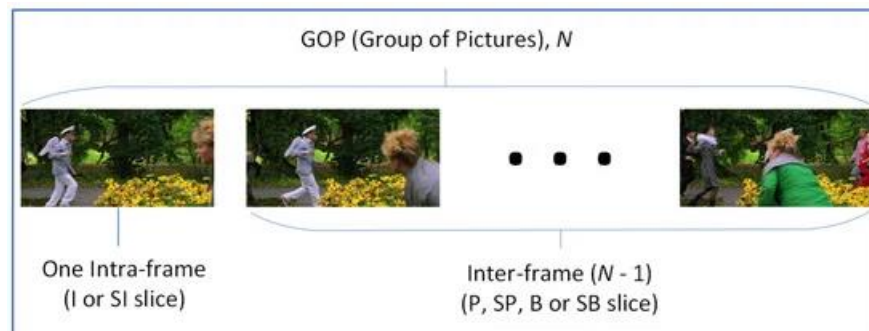
El propósito principal del códec MPEG-1 fue dar solución a la problemática de almacenamiento de vídeo sobre CD-ROM, en consecuencia, es el formato más relevante de intercambio de vídeo por Internet. Aunque, la tasa de transmisión mayor a 1.5 Mbps en el formato MPEG-1 se convirtió en una necesidad. Por lo tanto, surge el formato MPEG-2, y cuya tasa de datos varía entre 1.5 a 90 Mbps. MPEG-2 está basada en MPEG-1, aunque funciona con una serie de técnicas para incorporar muchas aplicaciones, tales como, almacenamiento y transmisión de vídeo digital, televisión de alta definición (HDTV) y discos de vídeo digital (DVD).

Tanto el formato MPEG-1 como MPEG 2 consiguieron valores muy buenos de relaciones de compresión aplicando la predicción causal y no causal. Momentáneamente, el streaming de vídeo se considera como una secuencia de grupo de imágenes (GOP), que consta de 3 tipos de fotogramas o imágenes, tales como, I, P y B. En el caso del fotograma I, conocido como fotogramas de referencia, y son básicamente imágenes de baja compresión que sirven de referencia para el cálculo de los fotogramas P y B. Los fotogramas P son obtenidos a partir del fotograma I anterior mediante la

predicción de movimiento, y codificarse con relaciones de compresión más altas. Los fotogramas B, o bidireccionales, se basa en los fotogramas I y P previos y futuros dentro de un GOP, por lo que da lugar a altas relaciones de compresión.

El periodo iterativo de selección del GOP, es decir, el intervalo entre fotogramas que se muestra en la Figura 2.6, viene determinado por la configuración de codificación. Un número reducido de GOP significa que la tasa de bits de destino del archivo de codificación es lo suficientemente grande y esta configuración se elige en caso de que se produzcan cambios frecuentes de escena en un vídeo o de que el contenido de un vídeo requiera más detalles y menos ruido de bloque tras la decodificación. En el caso de H.264, el fotograma de inicio se designa como fotograma de actualización instantánea del decodificador (IDR) con el tipo intrafotograma y, una vez que se codifica un fotograma con este tipo de fotograma, todos los estados, como el estado de la memoria intermedia de imagen de referencia, el número de fotograma de referencia y el recuento de orden de imagen, se inicializan en la decodificación. (ISO/IEC, 2022)

Figura 2. 6: GOP en vídeo comprimido.



Fuente: (Kwon et al., 2023)

MPEG-4 parte 2 (véase también H.264 más adelante) cubre una laguna en los objetivos de las dos normas anteriores: la necesidad de un marco flexible que se adapte a la amplia gama de aplicaciones y a la gran heterogeneidad que existe en Internet (Z.-N. Li et al., 2021). MPEG-4 tiene como objetivo el escalado desde unos pocos Kbps hasta velocidades de bits moderadamente altas (unos 4 Mbps). La principal innovación aportada por MPEG-4 fue el uso del concepto de objetos de vídeo, en el que una escena

se descompone en una serie de objetos que pueden tratarse de forma diferente unos de otros durante la transmisión de vídeo (por ejemplo, priorización entre objetos). (Petreski & Kartalov, 2023)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, en su serie H (por ejemplo, H.310, H.320 y H.324), también ha abordado el problema de la transmisión de vídeo comprimido por Internet. El primer estándar propuesto por la UIT es el códec de vídeo H.261. Con el fin de hacer frente a una amplia gama de patrones de comunicación, la norma H.261 define una serie de métodos de codificación y decodificación de vídeo a velocidades de  $p \times 64$  Kbps, donde  $p$  varía en el rango de 1 a 30. Posteriormente, han aparecido otras tres normas: H.262, H.263 y H.264 (Subbarayappa & Rao, 2021).

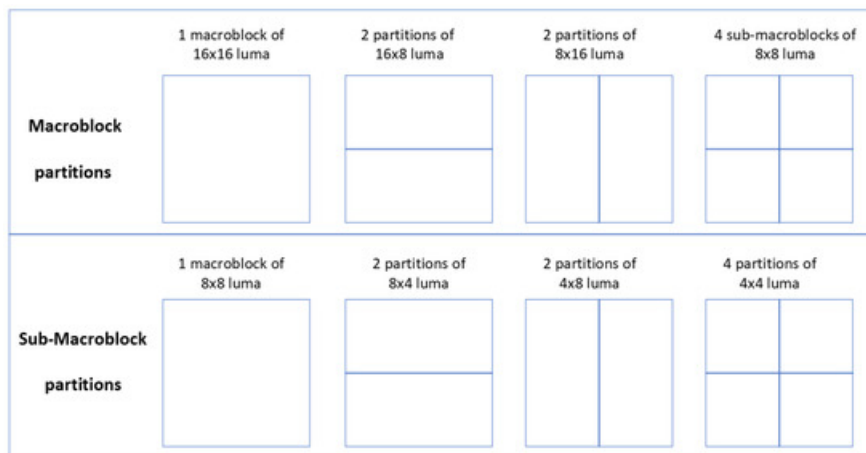
La norma H.262 está orientada a velocidades de bits más altas. H.261 y H.263 se basan en los mismos principios, aunque H.263 introduce una serie de mejoras que permiten obtener una calidad de vídeo equivalente incluso con la mitad de ancho de banda. Para resolver la incompatibilidad entre los distintos estándares de TV (PAL, SECAM y NTSC), se introdujeron las estructuras de imagen CIF y QCIF. El formato intermedio común (Common Intermediate Format, CIF) es utilizado para normalizar las resoluciones horizontal y vertical en píxeles de las secuencias YCbCr en las señales de vídeo, utilizadas habitualmente en los sistemas de videoconferencia.

Se propuso por primera vez en la norma H.261. El CIF cuarto (Quarter CIF, QCIF), que emplea la mitad de la resolución espacial CIF, también es soportado por todos los códecs compatibles con H.261. Tener una cuarta parte del área como «Quarter» implica que la altura y la anchura del fotograma se reducen a la mitad. H.261 admite las resoluciones QCIF (176×144 píxeles) y CIF (352×288), que también son compatibles con H.263, aunque H.263 introduce una serie de mejoras que permiten obtener una calidad de vídeo equivalente incluso con la mitad de ancho de banda. H.263 también admite SQCIF (128×96 píxeles), 4CIF (704×576 píxeles) y 16CIF (1408×1152 píxeles).

El estándar H.264, también conocida como MPEG-4 parte 10 o H.264/AVC, es el resultado de un trabajo conjunto entre la UIT y MPEG (la asociación se denomina Joint Video Team – JVT), con el objetivo de definir un códec capaz de generar, sin mayor complejidad, una buena calidad de vídeo a tasas de bits inferiores a las de los formatos anteriores (H.262, MPEG-2, MPEG-4 parte 2). H.264/AVC utiliza técnicas avanzadas de codificación para generar vídeo destinado a una amplia gama de aplicaciones, de baja a alta resolución y a distintas velocidades binarias (por ejemplo, DVD, radiodifusión, contenidos para móviles 3G). (Subbarayappa & Rao, 2021)

Un macrobloque es una unidad de píxeles para la compresión de vídeo y su tamaño básico en el caso del estándar de compresión de vídeo H.264 es de 16x16 píxeles. Cada macrobloque puede dividirse en submacrobloques de 16x8, 8x16, 8x8 o 4x4 para obtener mejores resultados de compresión, como muestra la figura 2.7.

Figura 2. 7: Particiones de macrobloques en H.264.



Fuente: (Kwon et al., 2023)

### 2.2.5. Protocolos de transporte

La red de Internet no ofrece garantías para el tráfico. El rendimiento y el retardo a lo largo de una ruta pueden variar de vez en cuando y las muestras pueden llegar en un orden diferente al que fueron enviadas (fluctuación de fase y latencia mayor de lo esperado). Cuando la red está muy cargada, los paquetes pueden perderse y dejar huecos en el flujo de datos. Las aplicaciones multimedia necesitan un protocolo de transporte para manejar un conjunto común de servicios que no tiene por qué ser complejo como TCP. El

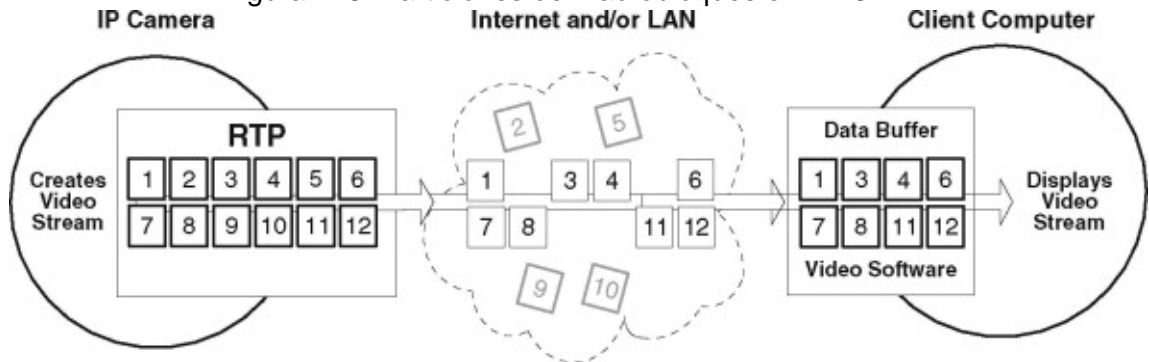
objetivo del protocolo de transporte (RTP) es proporcionar servicios de entrega de extremo a extremo específicos para las aplicaciones multimedia. Estos servicios pueden distinguirse claramente de los servicios de datos convencionales:

- Se necesita un servicio de encuadre básico, que defina la unidad de transferencia, normalmente común con la unidad de sincronización.
- La multiplexación es necesaria para identificar medios separados en flujos.
- Se necesita una entrega puntual.
- Se necesita sincronización entre distintos medios y también es un servicio común a las aplicaciones multimedia en red.

El estándar de Internet para transmitir flujos multimedia es el Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP). Esta aplicación (en términos de capa OSI) se desarrolló específicamente para el streaming de datos a través de redes IP. RTP es el estándar de streaming más importante. Todos los flujos de medios, independientemente de su formato y contenido, se encapsulan en paquetes RTP. RTP proporciona varios campos de datos que no están presentes en TCP, en particular una marca de tiempo y un número de secuencia que están formateados específicamente para cada tipo de medio.

Además, RTP es un protocolo fino que suele enviarse a través de UDP. En realidad, no garantiza el tiempo real, pero sí mejora el control y la sincronización de los medios de streaming. MPEG-1 y MPEG-2 proporcionan su propia sincronización para videoconferencias (flujo de sistema MPEG-1 y flujo de transporte MPEG-2, por nombrar un par), pero suelen exigir demasiado ancho de banda para el streaming sin problemas de múltiples cámaras de vídeo digital. Aunque está diseñado para la transmisión en línea, donde el ancho de banda puede ser limitado y la red impredecible, MPEG-4 no tiene su propia sincronización de audio/vídeo. RTP proporciona las marcas de tiempo necesarias para la sincronización de audio/vídeo para MPEG-4. Muchas cámaras IP y codificadores ofrecen interoperabilidad con otros dispositivos y admiten RTP para el transporte, tal como se muestra en la Figura 2.8.

Figura 2. 8: Particiones de macrobloques en H.264.



Fuente: (Caputo, 2010)

Estos campos son utilizados por los algoritmos de reproducción y sincronización. RTP se ejecuta sobre UDP/TCP y utiliza sus funcionalidades de multiplexación y suma de comprobación, ya que transporta identificadores de origen. Permite controlar el búfer para que el flujo de vídeo se sirva a la velocidad correcta. El reproductor multimedia puede entonces reensamblar los paquetes RTP recibidos en el orden correcto y reproducirlos a una velocidad adecuada. RTP transmite paquetes en tiempo real. Los paquetes perdidos o dañados no se retransmiten.

Existen estrategias para el software cliente sobre la mejor manera de hacer frente a los paquetes perdidos (por ejemplo, ocultación de errores, replicación de paquetes, etc.). Si la velocidad de conexión es inferior a la velocidad de transmisión de datos del medio, la transmisión se interrumpe y el medio se reproduce mal (o no se reproduce en absoluto). Si la conexión es rápida, el ancho de banda adicional permanece intacto y la carga del usuario sólo depende del número de flujos y del ancho de banda de estos flujos.

RTP se clasifica como: protocolo de transmisión de datos y protocolo de control (RTCP), y es utilizado para transmitir datos adicionales, tales como, datos sobre los participantes, estadísticas de pérdida y llegada de paquetes. Se pretende que RTP sea maleable para proporcionar la información requerida por una aplicación concreta.

El Protocolo de Control en Tiempo Real (RTCP) ofrece soporte para conferencias entre múltiples participantes en tiempo real dentro de Internet,

incluido el soporte para pasarelas y traductores de unidifusión a multidifusión. Proporciona información al proveedor de servicios sobre la calidad de recepción de la red de cada participante en una sesión RTP en tiempo real.

Los mensajes incluyen informes sobre el número de paquetes enviados/perdidos y las estadísticas de jitter (llegadas tempranas o tardías). Esta información relacionada con la calidad de servicio en un extremo receptor puede ser utilizada por aplicaciones de nivel superior para controlar la sesión y mejorar la transmisión; por ejemplo, se podría cambiar la tasa de bits de un flujo para combatir la congestión de la red.

Esto permite al emisor ajustar los parámetros de transmisión para que el receptor obtenga los mejores resultados posibles. El receptor puede obtener información necesaria como el identificador del emisor, los números de secuencia de los paquetes y las marcas de tiempo de los paquetes, por ejemplo. Esta información es una base esencial cuando se optimiza la QoS en el extremo del receptor.

Los tipos de mensajes RTCP incluyen el informe del remitente, el informe del receptor, la descripción de la fuente, el adiós y la aplicación. El ancho de banda RTCP utiliza el 5% del ancho de banda de la sesión de medios. Cada participante en la sesión calcula el valor del ancho de banda de la sesión, que es un producto del ancho de banda del remitente individual por el número de participantes, de los cuales cada participante reserva aproximadamente el 5% de este valor para RTCP.

#### **2.2.6. Establecimiento de sesión de vídeo sobre IP**

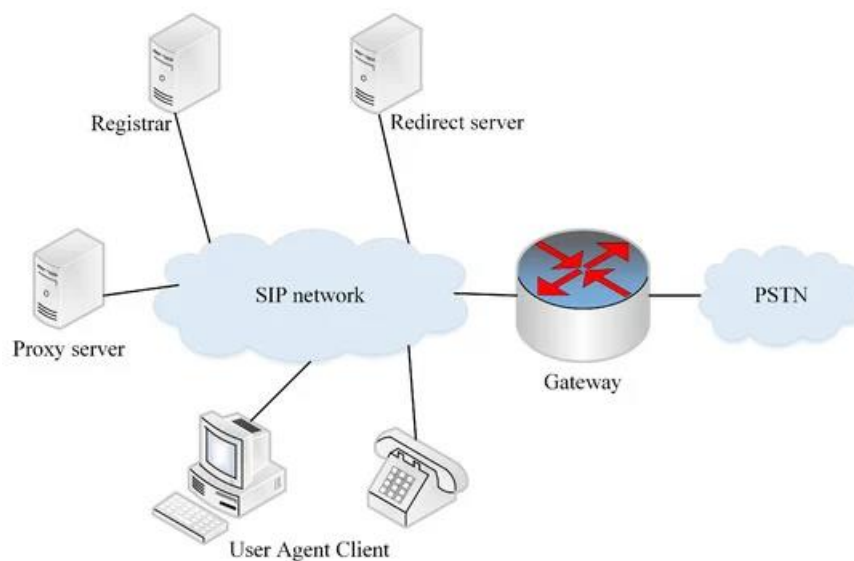
La figura 2.9. muestra la arquitectura general de una videollamada establecida a través del protocolo de Internet utilizando el protocolo de señalización del IETF, SIP, para gestionar el establecimiento y la interrupción de las sesiones entre los puntos finales. Este protocolo de señalización (SIP) se transporta a través de UDP o TCP y utiliza invitaciones para crear mensajes de Protocolo de Descripción de Sesión (SDP) para llevar a cabo el intercambio



de capacidades y configurar el uso del canal de control de llamada que permite a los participantes acordar un conjunto de tipos de medios compatibles.

El enfoque representado en la Figura 2.9 también puede utilizarse para implementar videoconferencias. El servidor proxy SIP puede actuar como registrador para algunos o todos los participantes en la sesión. La MCU (unidad de control multipunto) se utiliza para permitir videoconferencias en las que participen más de dos sistemas de videoconferencia. La MCU actúa como un concentrador al que se conectan todos los sistemas de videoconferencia, y distribuye el audio y el vídeo recibidos de cada sistema de videoconferencia a los demás sistemas de videoconferencia implicados. A veces, las MCU se combinan con un terminal, un gatekeeper o, lo que es más habitual, una pasarela entre diferentes tecnologías de videoconferencia, por ejemplo, IP y RDSI. La MCU actúa como punto de agregación para todos los participantes en la videoconferencia. (Nazih et al., 2020)

Figura 2. 9: Componentes principales de la arquitectura SIP en aplicaciones de vídeo sobre IP (VoIP).



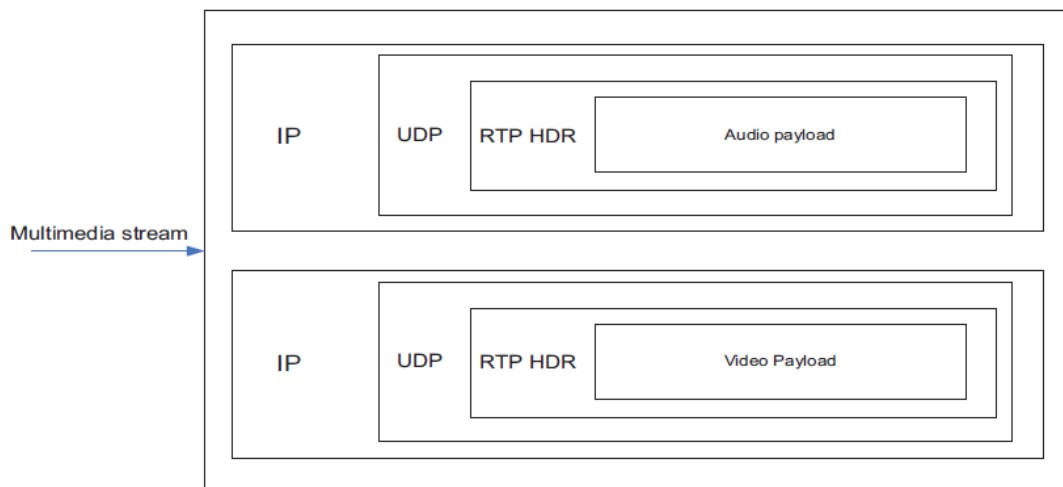
Fuente: (Nazih et al., 2020)

### 2.2.7. Codificación de flujos de datos en mensajes RTP

En el caso de la videotelefonía a través de Internet, en la que intervienen en la sesión medios de audio y de vídeo, los medios se transmiten como sesiones RTP separadas. Es decir, se transmiten paquetes RTP y RTCP

separados para cada medio utilizando dos pares de puertos UDP y/o direcciones multicast diferentes, tal y como se muestra en la Figura 2.3.

Figura 2. 10: Secuencia multimedia compuesta por dos paquetes diferentes.



Fuente: (Nazih et al., 2020)

No hay acoplamiento directo a nivel RTP entre las sesiones de audio y vídeo, excepto que un usuario que participe en ambas sesiones debe utilizar el mismo nombre distinguido (canónico) (esto se indica en los parámetros SDES o elementos que incluyen el CNAME) en los paquetes RTCP para ambas, de modo que las sesiones puedan asociarse. Por ejemplo, cuando se utiliza SIP, los dos flujos de medios asociados se definen en la oferta/respuesta SDP negociada durante el establecimiento de la llamada y esta definición permite la asociación de medios por parte del receptor.

### 2.3. ¿Qué es el vídeo bajo demanda?

En algunos casos, el vídeo a la carta también se denomina Streaming Media o Media-on-Demand. Este último es en cierto sentido un nombre más apropiado, ya que el vídeo a la carta es un servicio en el que se utilizan servicios de datos de alta velocidad (como xDSL o fibra óptica) para ofrecer a los clientes contenidos en streaming, por ejemplo, entretenimiento en vídeo, pero también programas de televisión y música.

El vídeo bajo demanda tiene muchas aplicaciones; a continuación, se enumeran las más importantes.

- Distribución de entretenimiento mediático a la carta (música, televisión, cine, noticias, etc.)
- Distribución de programas de entretenimiento multimedia (radio, conciertos, etc.)
- Educación interactiva (enseñanza a distancia, conferencias en línea, etc.)
- Canal de información en Internet e Intranet (en empresas y organizaciones)
- Videojuegos

El vídeo bajo demanda ofrece un enfoque totalmente nuevo de los medios de comunicación en Internet y otras redes. En lugar de esperar a que se descargue todo el archivo para que comience la reproducción, ésta se produce a medida que se transfiere el archivo. Los datos viajan por la red, se reproducen y luego se descartan.

#### **2.4. Clasificaciones del vídeo bajo demanda**

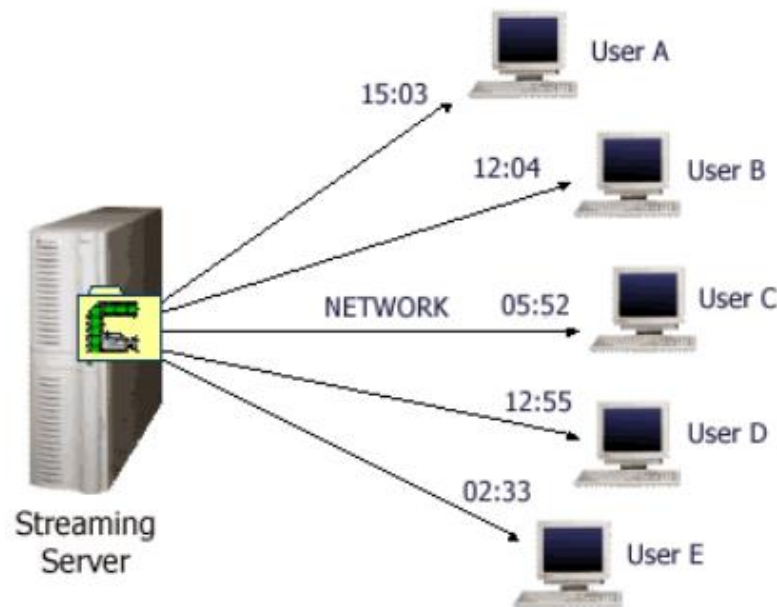
En función del nivel de interactividad, los servicios de vídeo bajo demanda se clasifican en varias categorías.

- Los servicios de difusión en directo (No-VoD) son similares a la difusión televisiva, pero se transportan a través de una red como Internet. El usuario es un participante pasivo y no tiene control sobre la sesión.
- Servicios de pago por visión (PPV) en los que el usuario se inscribe y paga por un programa específico que comienza a diferentes horas preestablecidas.
- Servicios de vídeo bajo demanda (Q-VoD), en los que los usuarios se agrupan en función de un umbral de interés. Los usuarios pueden realizar al nivel más sencillo actividades de control temporal cambiando de grupo.
- Servicios de vídeo bajo demanda (N-VoD), en los que funciones como el avance y el retroceso se simulan mediante transiciones en intervalos de tiempo discretos (del orden de 5 minutos). Esta

capacidad puede ser proporcionada por múltiples canales con la misma programación sesgada en el tiempo.

- Servicios de auténtico vídeo bajo demanda (T-VoD), en los que el usuario tiene un control total sobre la presentación de la sesión. El usuario dispone de todas las funciones de una videogradora (videogradora virtual), incluida la reproducción hacia delante y hacia atrás, la congelación y el posicionamiento aleatorio. Este servicio tiene un único streaming para cada cliente al que se concede acceso a los medios, lo que significa que varios clientes pueden empezar a ver los medios cuando quieran (véase la Figura 2.11). Para poder competir con el sistema VCR es esencial que se ofrezcan las ventajas de este tipo de vídeo bajo demanda.

Figura 2. 11: Sistema de vídeo bajo demanda real.



Fuente: (Järvenpää, 2017)

## 2.5. Justificación de la Selección del NDI

Considere cómo ha influido el internet en su vida y en su trabajo. Lo utiliza en su casa, en su oficina y en cualquier lugar. Usted y sus compañeros de trabajo, por ejemplo, utilizan de muchos dispositivos diferentes a la vez: tabletas, teléfonos inteligentes, ordenadores portátiles, estaciones de trabajo y más. Puede que cada uno trabaje por su cuenta o que se envíen archivos compartidos mientras uno se comunica por videoconferencia con alguien más que está en la oficina de al lado o en otro continente. (Gaustad & Mjøs, 2021)

El NDI puede considerarse como una «Internet del vídeo». Como si de una página web se tratara, cada fuente NDI está disponible al instante para numerosos espectadores y dispositivos. Dondequiera que su red se extienda -a través de su oficina, estación de radio, hospital, campus (etc.)- el NDI está listo para una reproducción inmediata. NDI funciona bidireccionalmente a través de una red de área local y admite muchos flujos de vídeo de latencia ultra-baja y calidad ultra-alta en conexiones compartidas. (Järvenpää, 2017)

No depende de la resolución ni de la velocidad de fotogramas, admite 4K (y superiores) junto con 16 canales (y aún muchos más) de audio de punto flotante. El canal alfa, los canales de comandos, los datos de recuento, los metadatos bidireccionales y elementos como los derechos de acceso y la agrupación son compatibles de forma nativa.

## **2.6. Primeros Pasos para Implementar el NDI**

La idea del NDI es sencilla, el usuario proporciona un vídeo y NDI se encarga de ponerlo a disposición de otros equipos de la misma red. A partir de ese momento, cualquier otra persona de esa red puede visualizarla y utilizarla (a menos que limites deliberadamente el acceso), como si estuviera conectada localmente a su sistema. Durante más de cuatro décadas, la interconexión física de cámaras, sistemas gráficos, switches de vídeo y routers han condicionado el diseño y el funcionamiento de los estudios de producción. (Muhummad M., 2023)

No obstante, con la aparición de las soluciones basadas en IP, esto ha dejado de ser así. Los entornos de producción actuales se benefician de una versatilidad sin precedentes:

- **Capacidades de producción remota:** las tareas de producción, como la mezcla de vídeo, ahora se pueden efectuar en lugares más cómodos para los técnicos, por ejemplo, en entornos tranquilos y aislados, en lugar de limitarse al espacio físico de producción.
- **Colaboración mejorada:** con el vídeo IP, múltiples usuarios podrán acceder y contribuir al proceso de producción desde distintas ubicaciones. Por ejemplo, un vídeo grabado en un despacho puede

ser visto o editado simultáneamente por personas situadas al final del pasillo, en otro campus o incluso en cualquier parte del mundo.

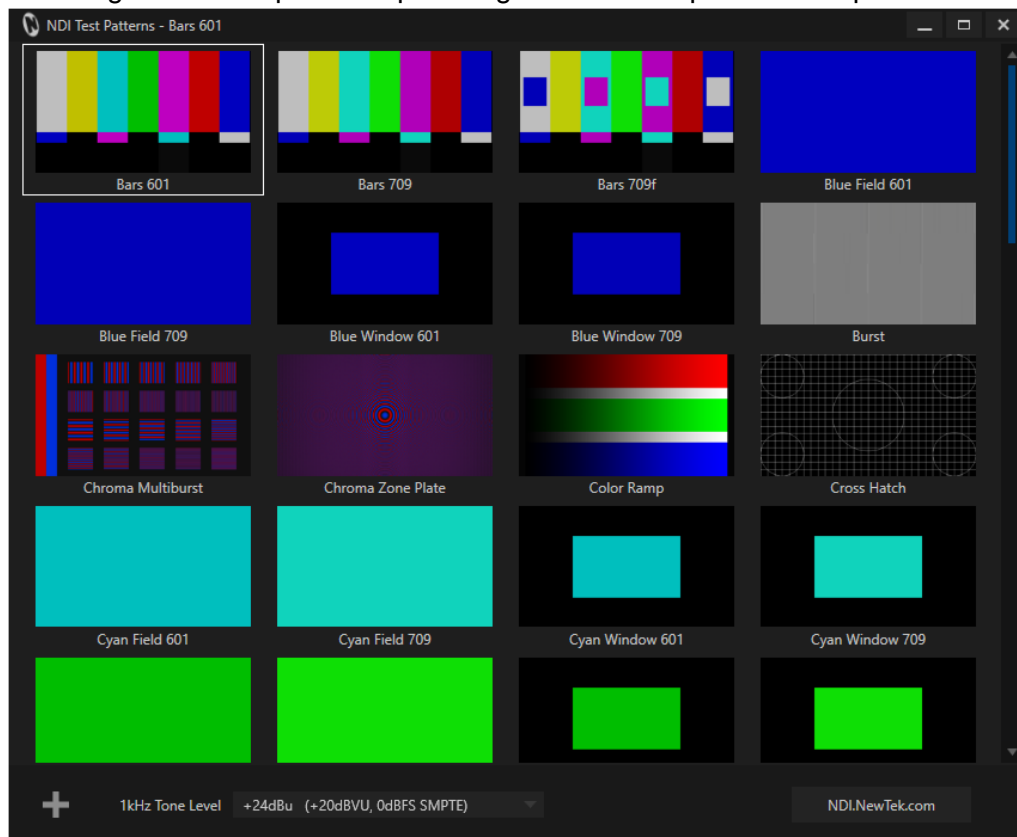
- **Sistemas gráficos descentralizados:** los sistemas gráficos han dejado de estar confinados a las salas de control. Gracias a la comunicación bidireccional, es posible manejarlos e integrarlos a distancia, lo que proporciona una gran flexibilidad de uso.

### 2.6.1. Envío de videos mediante NDI

A fin de demostrar la funcionalidad de la tecnología NDI, un primer ejercicio supone generar un patrón de prueba y al mismo tiempo una señal de audio de 1 kHz. Dicho proceso proporciona una comprensión básica de cómo se crean los flujos NDI y de cómo se hacen visibles dentro de una red. (Haaraoja, 2022)

Los pasos para generar el patrón de prueba NDI son: (1) instalar el paquete de herramientas NDI, (2) Iniciar la aplicación Test Pattern desde el menú Inicio de Windows 11, tal como se observa en la Figura 2.12.

Figura 2. 12: Aplicación para la generación de patrones de prueba.



Elaborado por Autor

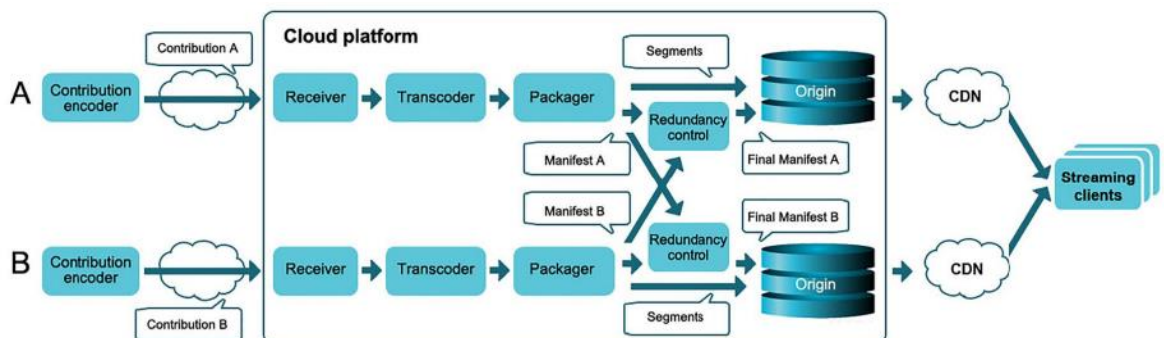
Si bien las señales de video y audio del NDI ya están presentes en la red, la visualización precisa de una herramienta de monitoreo de video compatible. En el siguiente subtema, la integración de un monitor de video permitirá al usuario ver y verificar el flujo NDI generado en tiempo real. (Ferder, 2022)

### 2.6.2. Visualización NDI en tiempo real

Una vez configurada la fuente de vídeo NDI, tal y como se muestra en el patrón de prueba de la Figura 2.12, resulta accesible al instante para cualquier dispositivo de la misma red con una conexión IP activa. Esta fluidez destaca una de las principales ventajas de la tecnología NDI, es decir, su capacidad para agilizar los flujos de trabajo de producción de vídeo en red.

Por ejemplo, en la Figura 2.13 se describe el funcionamiento de sistemas en la nube que incluyen todos los componentes de infraestructura almacenados en una plataforma escalable, tales como máquinas virtuales, bases de datos, dispositivos de almacenamiento y servicios de red. Resulta lógico que en él se describa la forma de desplegar, escalar y gestionar sistemas y aplicaciones basados en la nube, que demuestre cómo la integración de diferentes recursos computacionales en la nube consigue operaciones adaptativas y eficientes. Por otro lado, en el esquema del sistema se puede observar la capacidad de control, así como los protocolos de seguridad y demás elementos necesarios para garantizar la calidad de los sistemas basados en la nube.

Figura 2. 13: Plataforma en la nube del flujo de trabajo de la operación de streaming de vídeo.



Fuente: (Kumar et al., 2024)

Los usuarios podrán acceder a las fuentes de vídeo NDI utilizando cualquier software de control de vídeo que soporte transmisiones NDI. Este método descarta la configuración tradicional de dispositivos de hardware, por ejemplo, el uso de conectores de entrada/salida SDI o pantallas de vídeo externas, simplificando los requerimientos de cableado y disminuyendo la complejidad de la infraestructura. Este método, consistente en suprimir el exceso de conexiones físicas, hace que los sistemas ofrezcan una mayor eficiencia y que la transmisión de vídeo sea más eficiente.

La tecnología NDI destaca por su escalabilidad y adaptabilidad a los canales de producción de vídeo. Además, esta flexibilidad permite una configuración rápida y una conexión sin esfuerzo entre múltiples dispositivos, mejorando considerablemente el procesamiento de vídeo en tiempo real. Esto permite que las señales de vídeo se distribuyan e integren rápidamente a través de redes IP, lo que la convierte en una herramienta muy importante para los sistemas de radiodifusión, eventos en directo y producciones de medios digitales.

Las transmisiones de vídeo a través de redes NDI se realizan por Ethernet y están disponibles para todos los programas y equipos compatibles con NDI. Esta estrategia permite convertir la red local en un sistema de distribución de vídeo digital que gestiona de forma flexible las transmisiones de origen y destino. Por otro lado, la NDI ofrece funciones de supervisión de secuencias en tiempo real, detección de señales con precisión y optimización del ancho de banda, sobre todo en situaciones de gran demanda de vídeo.

#### **2.6.2.1. Gestión avanzada de redes y eficiencia de recursos.**

NDI permite controlar múltiples canales de vídeo, logrando así una distribución eficiente y automatizando la producción de vídeo sin utilizar complejas configuraciones. Por ejemplo, los métodos tradicionales en la producción de vídeo se basan en hardware, tales como, tarjetas de captura, amplificadores de distribución, routers dedicados, entre otros equipos. NDI no necesita de componentes físicos, con lo que los costes de operación se reducen significativamente.



El ancho de banda (BW) es gestionado eficientemente por NDI, y que lo diferencia aún más de otros. Sólo las señales de vídeo activas consumen el BW de la LAN de un canal digital, lo que garantiza una transmisión y recepción de secuencias de vídeo con alto rendimiento y calidad de servicio (QoS). Por ejemplo, en la tecnología SDI no se admiten 100 señales simultáneas en la red lo que sería poco práctico, lo que con NDI es totalmente factible.

### **2.6.3. Transmisión de ventanas de aplicación mediante NDI**

Aunque las señales de prueba son útiles para verificar la funcionalidad de NDI, las aplicaciones del mundo real suelen suponer la transmisión de contenidos de vídeo dinámicos a través de una red. NDI permite capturar y distribuir en tiempo real streams de vídeo desde diversas aplicaciones informáticas, haciéndolas accesibles al instante como fuentes de vídeo en la red. Esto resulta muy útil para integrar herramientas como navegadores web, reproductores de vídeo o software de presentaciones en producciones en directo.

A continuación, se describen los pasos para capturar y transmitir flujos de vídeo dinámicos

1. Abrir la aplicación de reproducción de vídeo, por ejemplo, QuickTime Player, en la que se carga un clip de vídeo y después reproducirlo.
2. Desde el menú Inicio de Windows 11, iniciar la herramienta NewTek NDI Scan Converter. Esta utilidad le permite capturar ventanas o áreas del escritorio específicas y compartirlas como fuentes NDI.
3. Configurar la fuente de vídeo para NDI en el icono NDI Scan Converter de la bandeja del sistema para acceder a su menú y se escoge la ventana de vídeo deseada para designarla como fuente NDI activa.
4. Verificar el flujo NDI desde la aplicación NDI Video Monitor para confirmar que la ventana del reproductor de vídeo elegida está emitiendo como fuente NDI en la red.
5. Repetir este proceso para otras aplicaciones, como navegadores web, para incluir más fuentes de vídeo. Por ejemplo, un navegador que transmite vídeo en línea puede compartirse en tiempo real a través de la red.

Este flujo de trabajo pone de relevancia cómo NDI simplifica la integración de contenidos de vídeo dinámicos en los montajes de producción. Elimina la necesidad de cableado complejo y hardware adicional, permitiendo la distribución en tiempo real de diversas fuentes de vídeo. Al mejorar la flexibilidad y la escalabilidad, NDI es ideal para aplicaciones que van desde eventos en directo y presentaciones corporativas hasta producciones multimedia.

La capacidad de NDI para difundir audio y vídeo de alta calidad desde múltiples fuentes a través de una red ejemplifica aún más su eficacia. Un gran número de aplicaciones pueden configurarse como fuentes NDI, y todas ellas están inmediatamente disponibles para su uso. Sorprendentemente, varios clientes pueden conectarse simultáneamente a una o varias de estas fuentes sin comprometer el rendimiento.

La eficacia de NDI se pone de manifiesto en su gestión de recursos: aunque haya cientos de fuentes disponibles, los recursos se asignan sólo a las conexiones activas. Por ejemplo, mientras que 100 ventanas de aplicación pueden estar capturadas y listas para su uso, el procesamiento sólo se produce para aquellas salidas activamente en uso, lo que reduce la sobrecarga innecesaria. Esta eficiencia inherente convierte a NDI en una herramienta transformadora de los modernos flujos de trabajo de producción de vídeo en red, ya que ofrece una escalabilidad y una flexibilidad operativa sin precedentes.

#### **2.6.4. Uso de VLC Media Player para crear un canal NDI**

VLC Media Player, una popular herramienta multimedia de código abierto, ofrece potentes funciones que van más allá de la reproducción básica. Gracias a su compatibilidad con casi todos los formatos de archivo multimedia, su gran capacidad de personalización y sus funciones de control externo, VLC es una opción excelente para la integración en flujos de trabajo NDI. Al instalar el complemento NewTek NDI VLC Plugin (parte del paquete NewTek NDI Tools Pack), VLC puede funcionar como un canal NDI, lo que permite la transmisión de audio y vídeo sin interrupciones a través de una red.

1. Iniciar VLC y configurar la salida de vídeo: abrir VLC Media Player y en el menú Herramientas, seleccionamos Preferencias para configurar la opción Output en NewTek NDI Video y así enrutar la salida de video de VLC a través del plugin NDI VLC.
2. Configurar la salida de audio: en la misma ventana de Preferencias, establecemos la opción “Salida de audio” en Audio NewTek NDI para habilitar la transmisión de audio basada en NDI, después se reinicia VLC Media Player para que surta efecto estos cambios.
  - Seleccionar y reproducir medios: en el menú Media, cargamos un archivo de vídeo para su reproducción, es decir, que VLC Media Player codificará el video y audio en tiempo real.
3. Monitorización del flujo NDI: el vídeo y audio reproducidos en VLC aparecerán en NDI Video Monitor y se transmitirán a través de la red a otros dispositivos conectados.

Esta configuración muestra la versatilidad de combinar VLC Media Player con la tecnología NDI. Al codificar audio y vídeo en tiempo real y distribuirlo sin problemas a través de una red, esta configuración demuestra la flexibilidad y escalabilidad de los flujos de trabajo NDI. Los usuarios pueden crear y gestionar fácilmente canales multimedia dinámicos para diversas necesidades de producción. Este enfoque simplifica los flujos de trabajo complejos, reduce la dependencia de hardware adicional y mejora la eficiencia general de los entornos de producción multimedia.

#### **2.6.4.1. Transmisión de vídeo NDI a Skype**

Con más de 300 millones de usuarios, Skype es una plataforma muy utilizada para la comunicación por vídeo. Al integrar la tecnología NDI de NewTek, los flujos de trabajo de Skype pueden transmitir secuencias de vídeo y audio de alta calidad, mejorando la experiencia de todos los participantes. Es especialmente ventajoso en reuniones corporativas, exposiciones y trabajos remotos, en los que es indispensable una calidad de vídeo superior.

Pasos para transmitir vídeo NDI a Skype

1. Iniciar la aplicación NDI Transmit: esta herramienta permite la integración de fuentes NDI con aplicaciones como Skype.

2. Seleccione una fuente de vídeo NDI: de la lista de las fuentes NDI disponibles en la red, seleccionar la fuente deseada para transmitirla como entrada de vídeo.
3. Configurar Skype para la integración NDI: desde Skype y a través del menú Herramientas, se configura el vídeo, por ejemplo, se selecciona cámara web como entrada de vídeo. Y después se elige la fuente de audio NDI para transmitir audio junto al vídeo.
4. Iniciar la sesión de Skype: después de completar la configuración, se procede a realizar una llamada en Skype. La plataforma utilizará la fuente NDI seleccionada como entrada de vídeo, garantizando que los participantes reciban vídeo y audio de alta calidad desde la fuente NDI.

#### **2.6.5. Envío de vídeo NDI a Google Hangouts, YouTube y otras aplicaciones**

La aplicación NewTek NDI Transmit mejora el alcance de la tecnología NDI al permitir que su salida se integre a la perfección con plataformas populares como Google Hangouts (incluido Hangouts On Air), YouTube Live, Adobe Flash Media Live Encoder, VLC Media Player, entre otras aplicaciones de transmisión de vídeo. Esta capacidad garantiza la transmisión de vídeo de alta calidad, proporcionando una experiencia visual superior para el público a través de una variedad de aplicaciones.

A continuación, se describen los pasos para la configuración y transmisión de Vídeo NDI a través de Google Hangouts, YouTube Live, entre otras:

1. Configurar la fuente NDI: en el menú NewTek NDI Transmit se configura la fuente NDI adecuada que actuará como entrada de vídeo para la aplicación que se desea transmitir o emitir.
2. Seleccionar la fuente NDI en la aplicación de destino, por ejemplo, Google Hangouts o YouTube Live, y configuramos la entrada de vídeo. del mismo modo que elegiría una cámara web en las configuraciones tradicionales.

Ventajas del uso de NDI con plataformas de streaming y conferencias:

- Calidad de vídeo superior
- NDI ofrece secuencias de vídeo de alta definición, garantizando imágenes profesionales y pulidas para transmisiones en directo, presentaciones y conferencias.
- Capacidad de integrarse con plataformas populares como YouTube Live y Google Hangouts hace que los flujos de trabajo de NDI sean increíblemente versátiles y accesibles.
- Fácil proceso de configuración elimina la necesidad de hardware adicional o configuraciones complejas, lo que facilita la adopción de la tecnología NDI.

Al incorporar la tecnología NDI, los usuarios pueden elevar sus flujos de trabajo de comunicación y difusión. Esto permite la entrega de contenidos de vídeo visualmente impresionantes y de alta calidad en plataformas populares. La flexibilidad y escalabilidad de NDI transforman los flujos de trabajo tradicionales en sistemas de producción multimedia eficientes y de calidad profesional.

#### **2.6.6. Integración de NDI con Adobe Creative Cloud**

En los flujos de trabajo de producción actuales, cada gráfico, animación y vídeo se somete a varias rondas de revisión antes de ser finalizado. Incluso cuando las aplicaciones gráficas admiten la reproducción en tiempo real, a menudo es necesario convertir el proyecto en un archivo multimedia para su distribución a las partes interesadas. Este proceso, aunque necesario, puede ralentizar la colaboración e introducir ineficiencias.

La integración de NDI con Adobe Creative Cloud resuelve estos retos al permitir compartir proyectos en tiempo real a través de una red. Basta con reproducir un proyecto en una aplicación de Adobe compatible para que las partes interesadas puedan ver el resultado en directo en sus monitores locales mediante NDI Monitor. Esto elimina la necesidad de repetir la renderización durante las fases de revisión iterativas. Aunque la renderización sigue siendo esencial para el resultado final, NDI acelera los ciclos de revisión y fomenta una mejor colaboración creativa.

NDI amplía la funcionalidad de las aplicaciones de Adobe Creative Cloud, lo que permite a los equipos creativos agilizar sus flujos de trabajo. Los casos incluyen:

1. Emisiones en directo, permite la integración en tiempo real de activos creativos en entornos de producción.
2. Supervisión en tiempo real, esto garantiza una gradación cromática precisa y un control de calidad constante.
3. Captura de archivos con NDI IsoCorder, permite capturar salidas de aplicaciones de Adobe Creative Cloud y guardarlas como archivos accesibles desde cualquier lugar de la red lo cual simplifica la distribución y el archivado de contenidos.
4. Colaboración entre plataformas, permite compartir la salida NDI con aplicaciones que aceptan entrada de cámara web, como Skype, Google Hangouts Live y otras herramientas de videoconferencia lo cual permite una colaboración global sin interrupciones.

Estos ejemplos demuestran la versatilidad de las herramientas NDI, tanto gratuitas como comerciales, que mejoran los flujos de trabajo modernos. Al integrar NDI con Adobe Creative Cloud, los equipos creativos pueden aprovechar la tecnología de vanguardia para mostrar su creatividad al tiempo que optimizan la eficacia y la coordinación entre plataformas. NDI transforma los procesos de producción tradicionales y permite a los equipos conseguir más en menos tiempo.

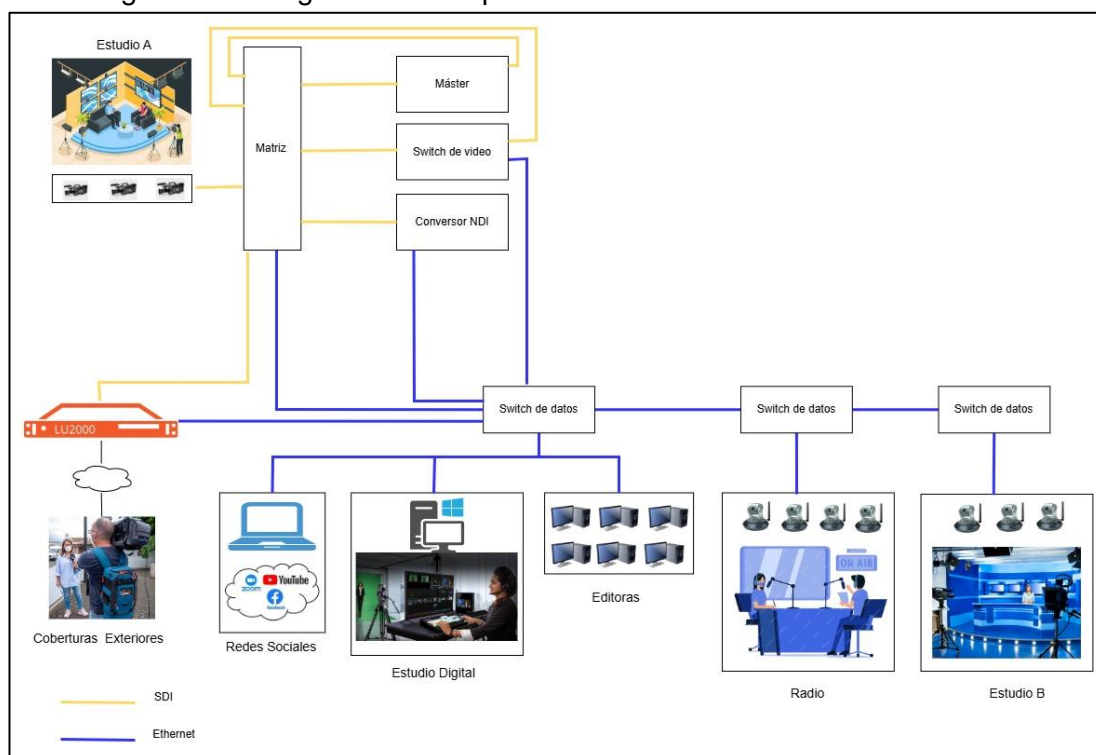
## CAPITULO 3: Diseño de la Red

Este capítulo presenta un análisis para el diseño de una red NDI, para garantizar un rendimiento óptimo en aplicaciones de producción en vivo, transmisión y postproducción. Con una configuración y gestión de red adecuadas, NDI ofrece un sistema de distribución de video moderno y eficiente, maximizando la productividad y reduciendo la complejidad de las instalaciones tradicionales de video y audio.

### 3.1. Diagrama de bloques

El diagrama de bloques que se ilustra en la Figura 3.1, es de gran utilidad porque muestra como los diferentes dispositivos o software interactúan en una red NDI para compartir y recibir señales de video y audio.

Figura 3. 1: Diagrama de Bloques del Canal de Televisión de la UCSG



Fuente: Autor

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques del canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, en él se detallan diversos elementos del sistema, como las fuentes NDI, que incluyen las cámaras de video; la red IP, que este caso es una red Ethernet que transporta

las señales entre los dispositivos. También muestra el destino NDI, que corresponde al dispositivo receptor de la señal NDI, como el switch o el software de producción, programas de edición o sistemas de visualización en tiempo real.

Además, nos indica la transmisión de audio y video, que representa el flujo de datos entre las fuentes y los destinos; finalmente se incluye el convertidor NDI, un equipo que permite integrar señales SDI y adaptarlas al protocolo NDI, facilitando así su envío y recepción a través de la red.

### 3.2. Escenarios de integración de señales NDI en una producción multilocación

Para describir la red del canal de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y con el propósito de no interrumpir el flujo habitual de trabajo, se presentan escenarios aislados para la transmisión de un evento en vivo o grabación de un programa que utilizan varias cámaras y diferentes fuentes de video. Para ello se instala el software vMix y las herramientas NDI en un computador que se encuentra instalado en el estudio digital. En la Tabla 3.1 se muestran en resumen las especificaciones del equipo.

Tabla 3. 1: Especificaciones del CPU

<b>Sistema Operativo</b>	<b>Windows 10 de 64 Bits</b>
Procesador	Intel Core I7-7700 CPU @ 3.60 GHz
RAM	8GB
Tarjeta de Video	GPU Nvidia

Elaborador por. Autor

En las Tablas 3.2 y 3.3 se muestran las especificaciones técnicas de los switches y router.

Tabla 3. 2: Especificaciones técnicas del Switch de la LAN

<b>Marca</b>	<b>Cisco</b>
Modelo	WS-C-2960X-48FPD-L
Puertos	48 puertos PoE 10/100/1000 740W



	2 puertos para fibra de 10Gigabit SFP+Uplinks
Frecuencia	50/60 Hz
Voltaje	CA 120/230 V

Elaborador por. Autor

Tabla 3. 3: Especificaciones Técnicas del Switch de la cabina de Radio

Marca	Linksys
Modelo	SRW 2024
Puertos	24 puertos Gigabit Ethernet 10/100/1000 Mbps Rj-45 2 puertos mini GBIC Combinados
Voltaje	100/240 VAC

Elaborador por. Autor

Tabla 3. 4: Especificaciones Técnicas del Switch del Estudio B

Marca	Tp-link
Modelo	TL-SG1024D
Puertos	24 puertos Gigabit Ethernet 10/100/1000 Mbps Rj-45
Voltaje	100/240 VAC

Elaborador por. Autor

Tabla 3. 5: Especificaciones Técnicas del Router

Marca	Mikrotik
Modelo	RB1100AHx2
Puertos Ethernet	13 puertos 10/100/1000
Sistema Operativo	RouterOS
Ram	2 GB
Voltaje	100-240 VAC

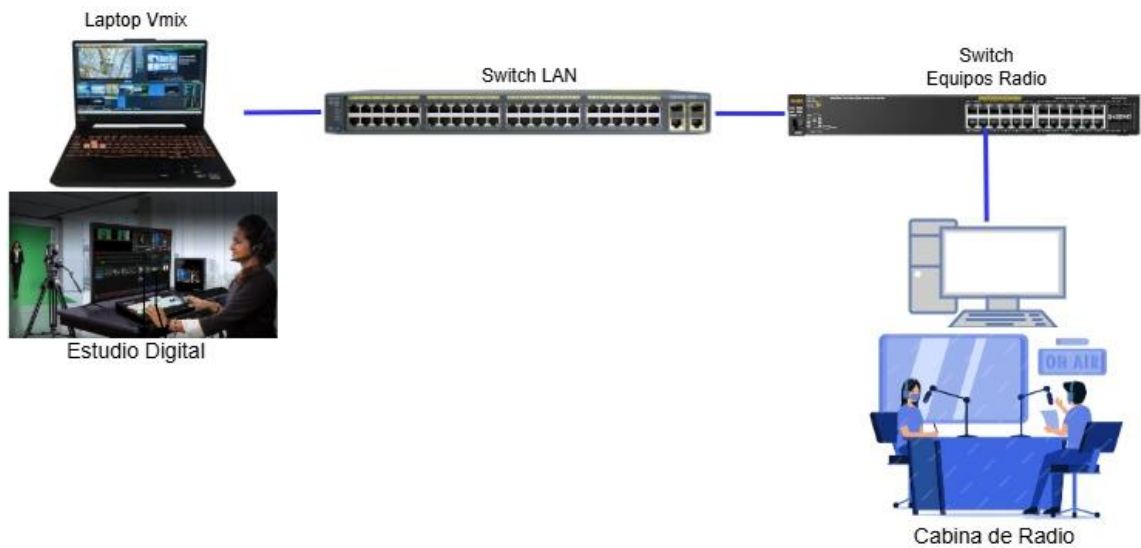
Elaborador por. Autor

### 3.2.1. Escenario para dos localidades

El escenario que se muestra en la figura 3.2 tiene como objetivo integrar dos localidades ubicadas en diferentes áreas de la red local, como el estudio

digital y la cabina de radio, utilizando una señal NDI con una conexión Ethernet de 1Gbit/s.

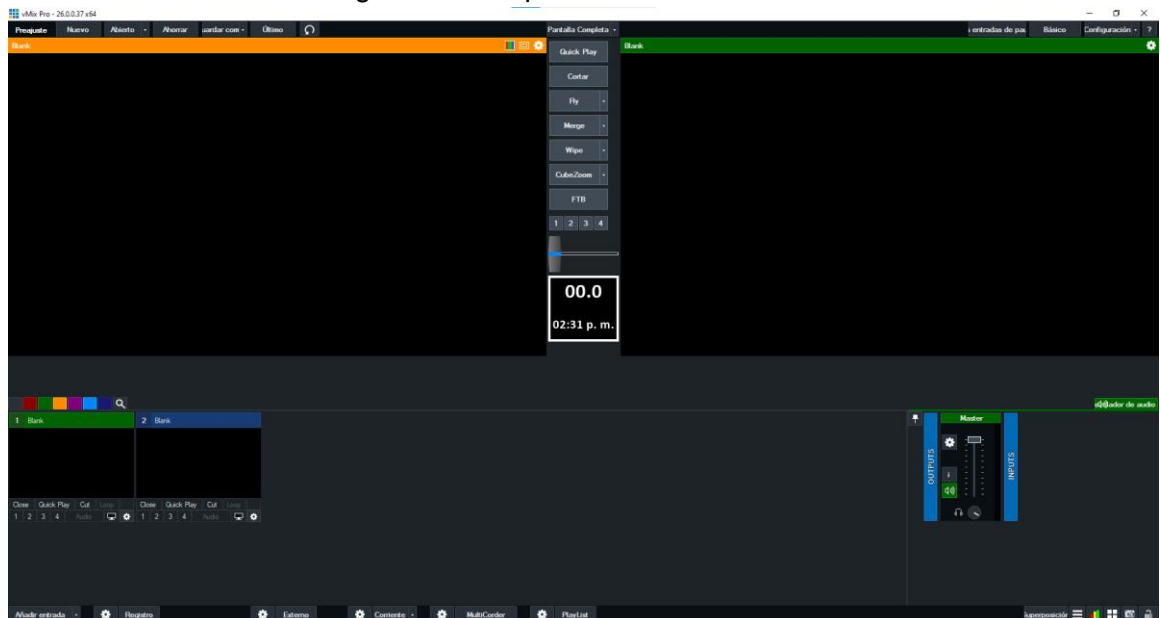
Figura 3. 2: Integración de Cabina de Radio y Estudio Digital



Fuente: Autor

En la siguiente figura vemos la pantalla inicial del software vMix al iniciar el programa que se encuentra instalado en el pc que se encuentra en el estudio digital.

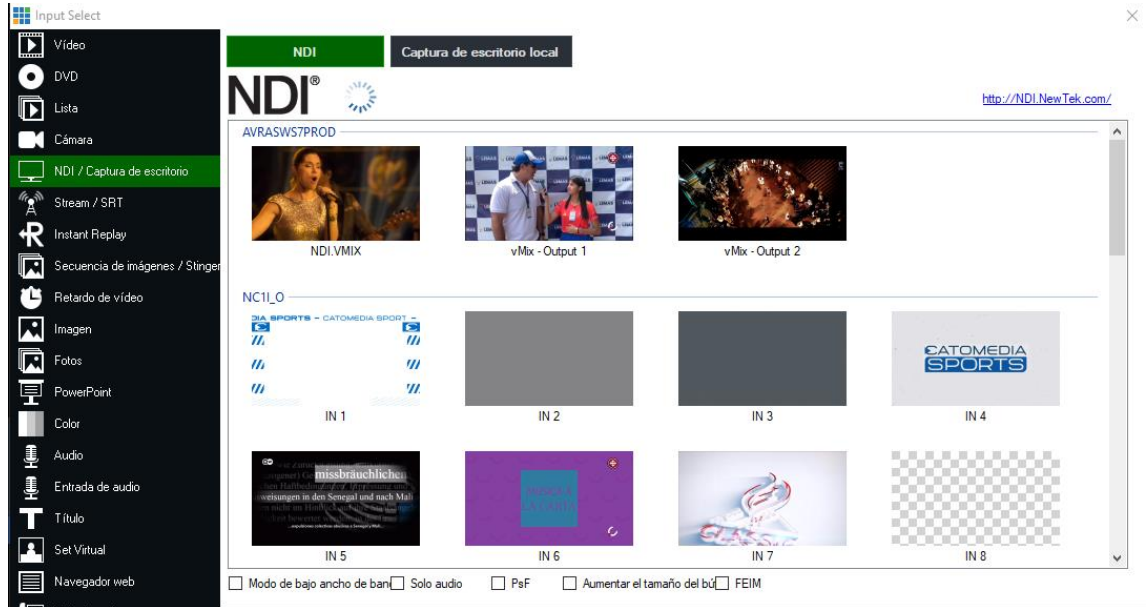
Figura 3. 3: Captura inicial de vMix



Fuente: Autor

Con la herramienta NDI monitor visualizamos las señales disponibles en la red, se debe seleccionar la fuente a ingresar dependiendo lo que necesitamos producir, como se observa en la figura 3.4

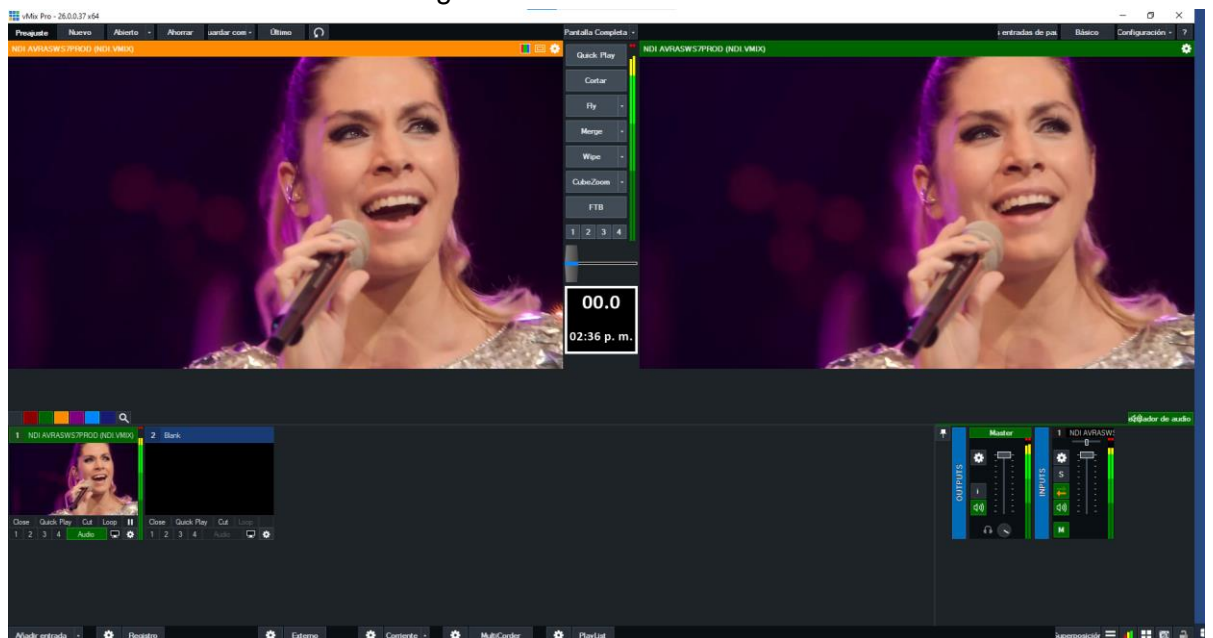
Figura 3. 4: Fuentes NDI disponibles



Fuente: Autor

A continuación, se seleccionó una fuente proveniente desde la PC de la cabina de radio que se encuentra en otro punto de la red local, utilizando para la transmisión señales con resolución de 1920 x 1080 pixeles. En la figura 3.5 observamos el ingreso de una señal NDI, en el software vMix.

Figura 3. 5: Señal NDI

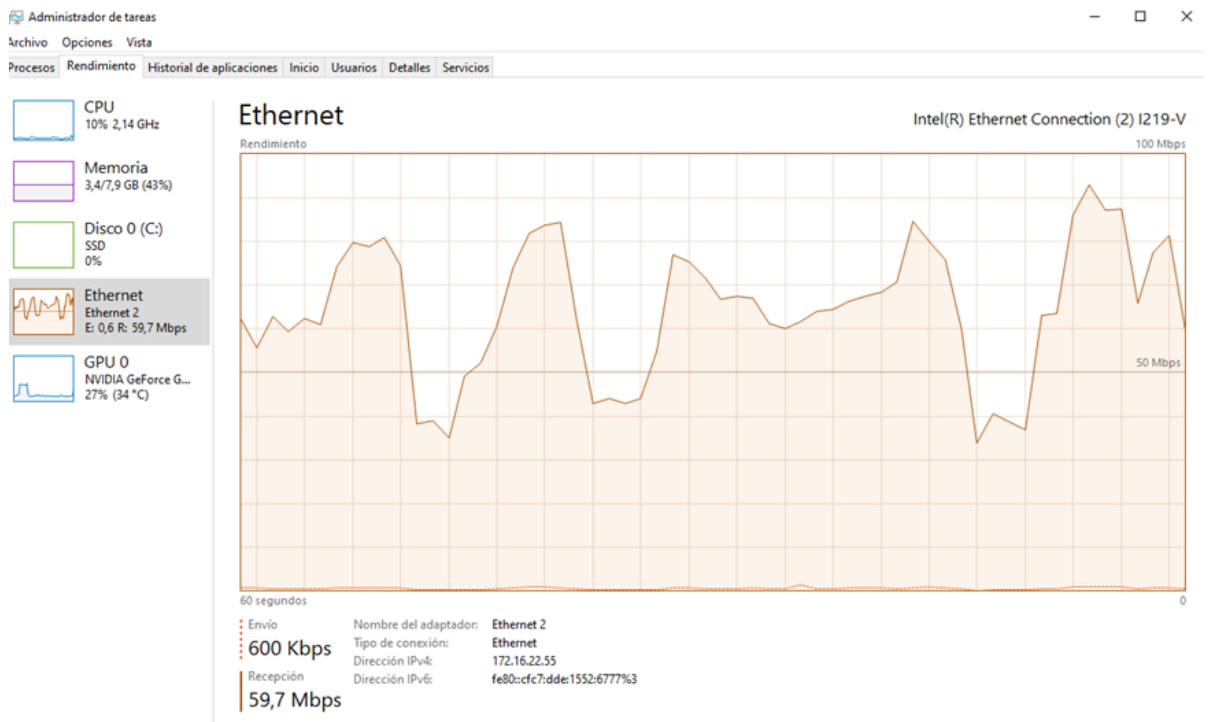


Fuente: Autor

Es importante verificar el consumo de ancho de banda en la PC que recibe la señal NDI para confirmar que mantiene los parámetros

correspondientes, como se observa en la figura 3.6 es de aproximadamente 59.7 Mbps.

Figura 3. 6: Consumo de Ancho de banda con una señal NDI



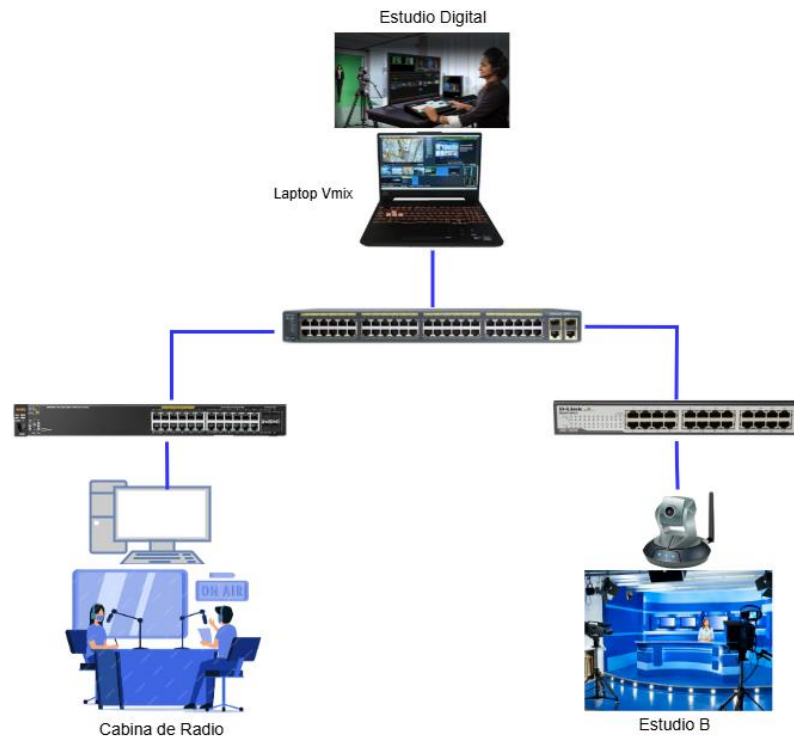
Fuente: Autor

### 3.2.2. Escenario para tres localidades para grabación de programas

Se ha tomado como ejemplo la producción de un programa musical, que utiliza un escenario compuesto por tres localidades y dos señales NDI. El estudio B en donde se encuentra el conductor del programa, quien será responsable de presentar los videos musicales, los videos se reproducirán desde una PC ubicada en la cabina de radio. Los videos, así como la señal de la cámara desde el estudio B, son enviados a través de fuentes NDI a otra PC en el estudio digital que tiene instalado el software vMix para su gestión y transmisión.

Este flujo de trabajo está diseñado para garantizar la sincronización entre las diferentes localidades y la correcta presentación del contenido en tiempo real, tal y como se muestra en el diagrama de la figura 3.7.

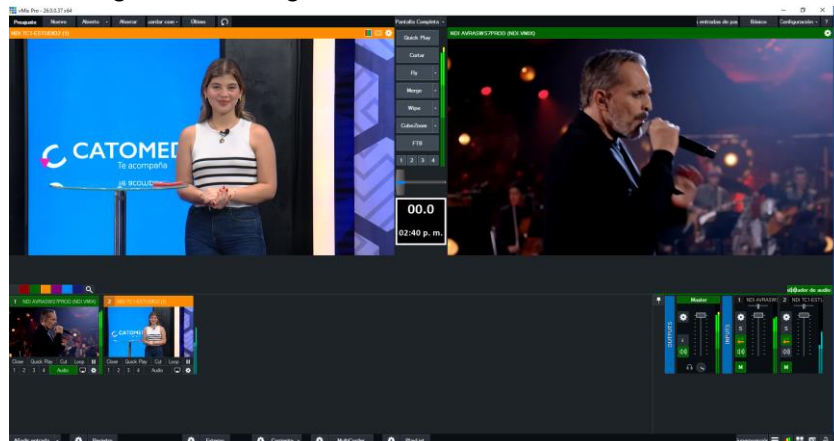
Figura 3. 7: Escenario con tres localidades y dos señales NDI



Fuente: Autor

En la figura 3.8, se muestra una captura del software vMix, donde se puede observar la entrada de dos señales NDI, como son la señal del presentador que se encuentra en el estudio B y el video que se está rodando desde una pc en la cabina de radio.

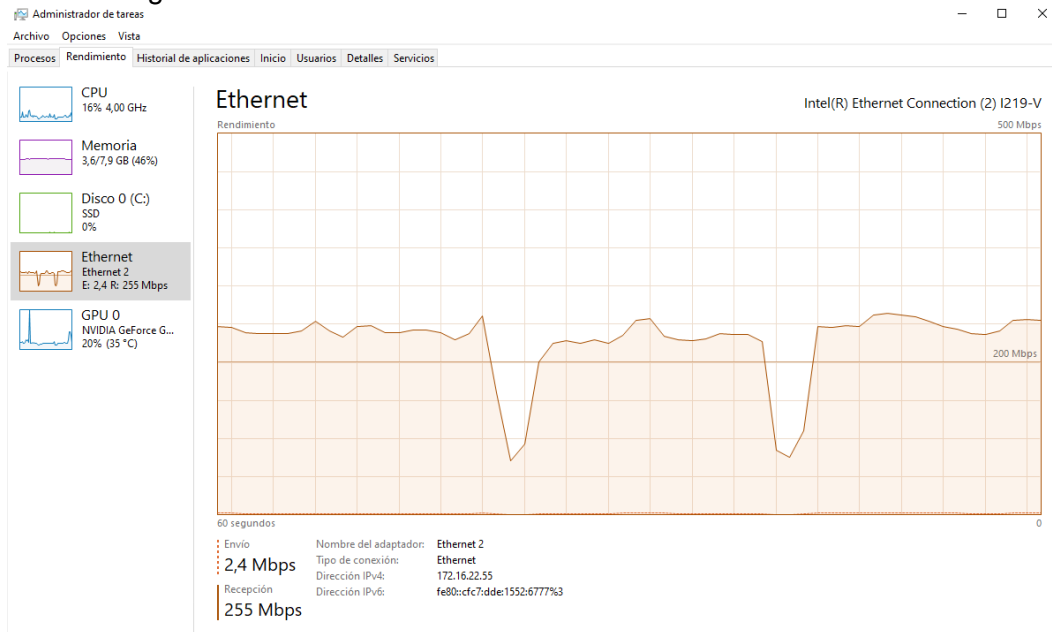
Figura 3. 8: Asignación de dos señales NDI en VMix



Fuente: Autor

Para este escenario, observamos que el consumo de ancho de banda ha aumentado en la PC que está recibiendo las señales NDI, alcanzando un valor de 255 Mbps como se muestra en la figura 3.9

Figura 3. 9: Consumo de ancho de banda con dos señales NDI



Fuente: Autor

Con el propósito de verificar la estabilidad de la red, se realizó una prueba de ping enviando 100 paquetes desde el pc donde está instalado vMix a la puerta de enlace. Como se observa en la figura 3.10 no hubo paquetes perdidos y el tiempo de respuesta es menor a 1 milisegundo. Esto confirma que la latencia de la red es baja, lo cual garantiza un buen desempeño en la transmisión de video y audio en tiempo real.

Figura 3. 10: Ping a la puerta de enlace

```
C:\Windows\system32\cmd.exe

Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 172.16.22.232: bytes=32 tiempo<1m TTL=64

Estadísticas de ping para 172.16.22.232:
    Paquetes: enviados = 100, recibidos = 100, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 2ms, Media = 0ms

C:\Users\Entrevistas-UCSG>
```

Fuente: Autor

### **3.2.3. Escenario para tres localidades con producción en vivo**

En este escenario de producción de video en vivo, se integran tres locaciones distintas utilizando la tecnología NDI para transmitir y recibir señales de video y audio de alta calidad a través de la red.

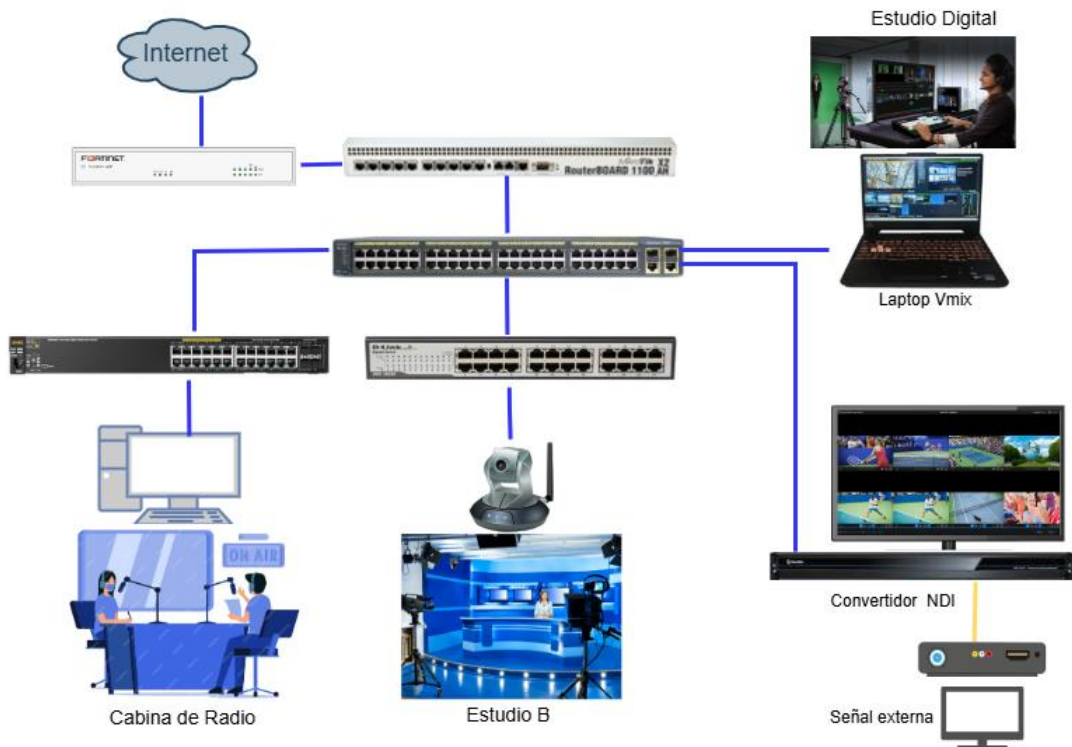
En el estudio digital se instala el software vMix en una PC, este software actúa como el mezclador de video y permite integrar diversas fuentes de video y audio. Entre las fuentes de video se incluyen: señales NDI provenientes de otras locaciones y señales SDI convertidas a NDI mediante un convertidor que permite la integración de cámaras externas o equipos que no están directamente conectados a la red IP.

En la cámara del estudio B, se encuentra el presentador transmitiendo en vivo, la cual está conectada a la red mediante NDI enviando su señal de video en tiempo real hacia el software vMix en el estudio digital. De esta manera, la imagen del presentador se integra a la producción, y se puede mezclar con otras señales de video de manera fluida.

Para incorporar noticias internacionales, se utiliza una señal externa SDI que pasa por un convertidor NDI; este convertidor transforma la señal SDI en formato NDI, permitiendo que la señal de video externa sea recibida y procesada por el sistema vMix. Esta integración es clave para transmitir contenido en vivo desde fuentes internacionales o remotas, sin perder calidad ni agregar latencia significativa, las notas o videos producidos se incorporan a través de un pc ubicado en la cabina de radio.

En la figura 3.11 se muestra un esquema que describe cómo se conectan las distintas locaciones y cómo el uso de vMix y NDI facilita la producción de video en vivo con múltiples fuentes.

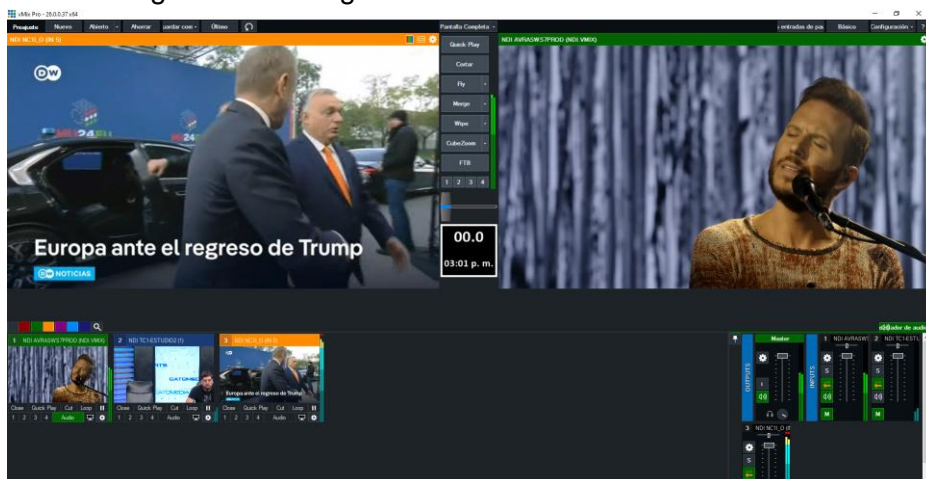
Figura 3. 11: Escenario con tres localidades y tres señales NDI



Fuente: Autor

En la figura 3.12, se muestra la captura del software vMix con la asignación de tres señales NDI, provenientes de estudio, cabina de radio, señal externa de una cadena aliada.

Figura 3. 12: Asignación de tres señales NDI en vMix



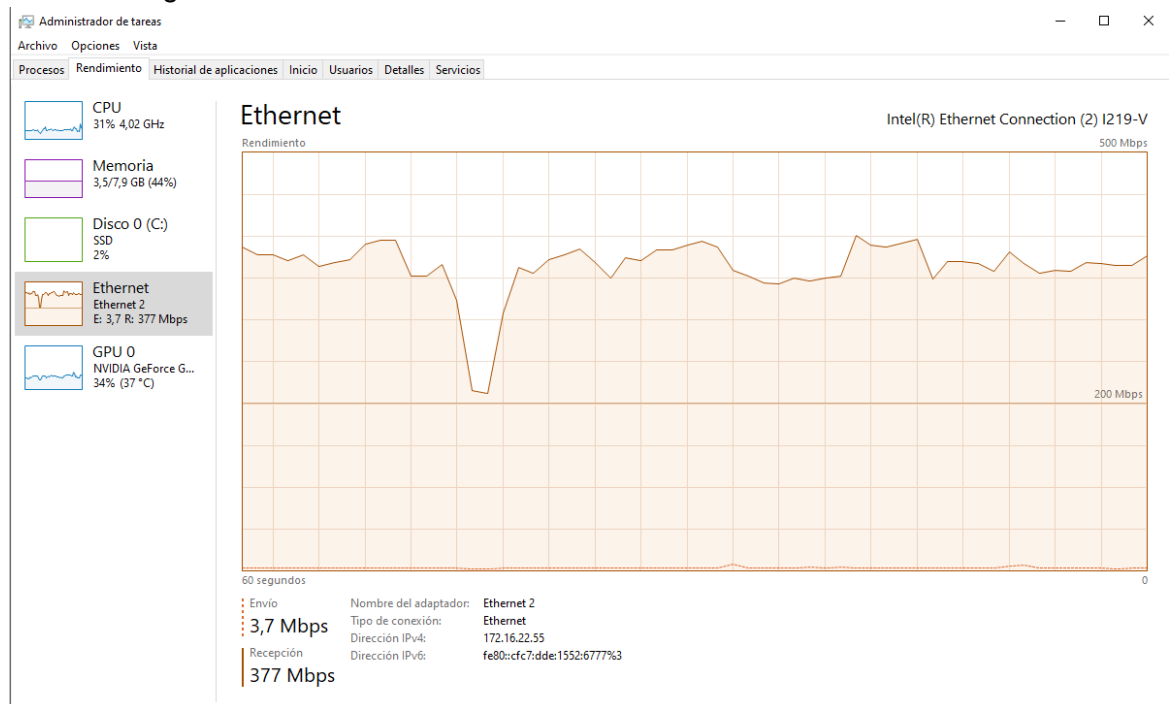
Fuente: Autor

Con el ingreso de tres señales NDI, observamos en la figura 3.13 que el consumo de ancho de banda aumentó a 377 Mbps, lo cual se mantiene dentro de los parámetros esperados para una red NDI. Este aumento no afecta el



desempeño de la red, porque no se presenta retardo en las señales externas recibidas, garantizando una transmisión fluida y sin interrupciones.

Figura 3. 13: Consumo de ancho de banda con tres señales NDI

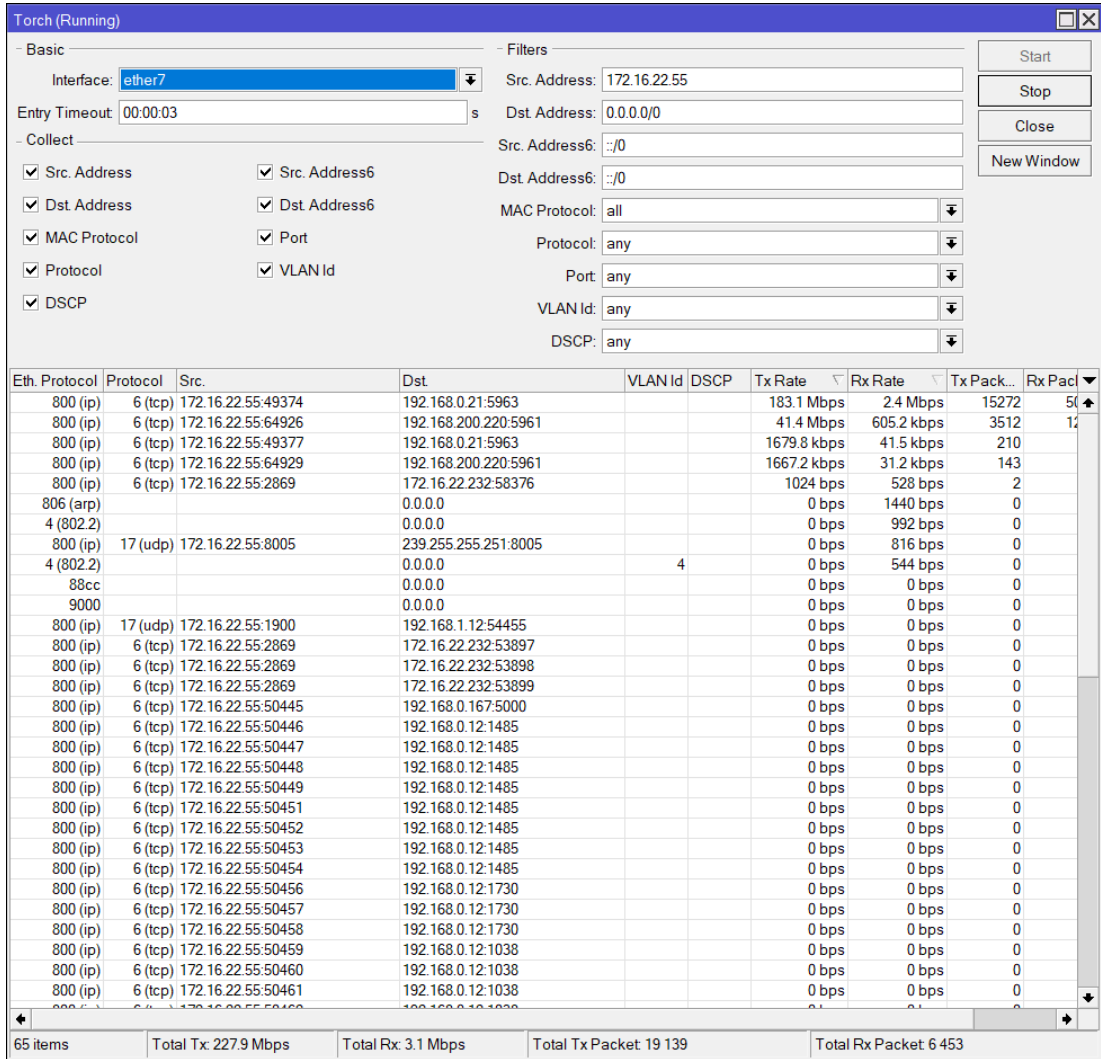


Fuente: Autor

Adicionalmente se realizó el monitoreo del tráfico de la red desde el router principal hacia la PC en donde se encuentra instalado el software vMix que está recibiendo las señales NDI.

Con la herramienta Torch se monitoreo el tráfico en tiempo real en la interface de red del router Mikrotik, clasificándolo por dirección de origen/destino, protocolo, puerto, VLAN. En la parte de filters se puede especificar la dirección IP para que solamente muestre el tráfico que circula en esa dirección como se muestra en la figura 3.14, la dirección IP 172.16.22.55 corresponde a la Pc en donde está instalado el software vMix, además se puede observar la velocidad de transmisión y recepción (tx/rx)

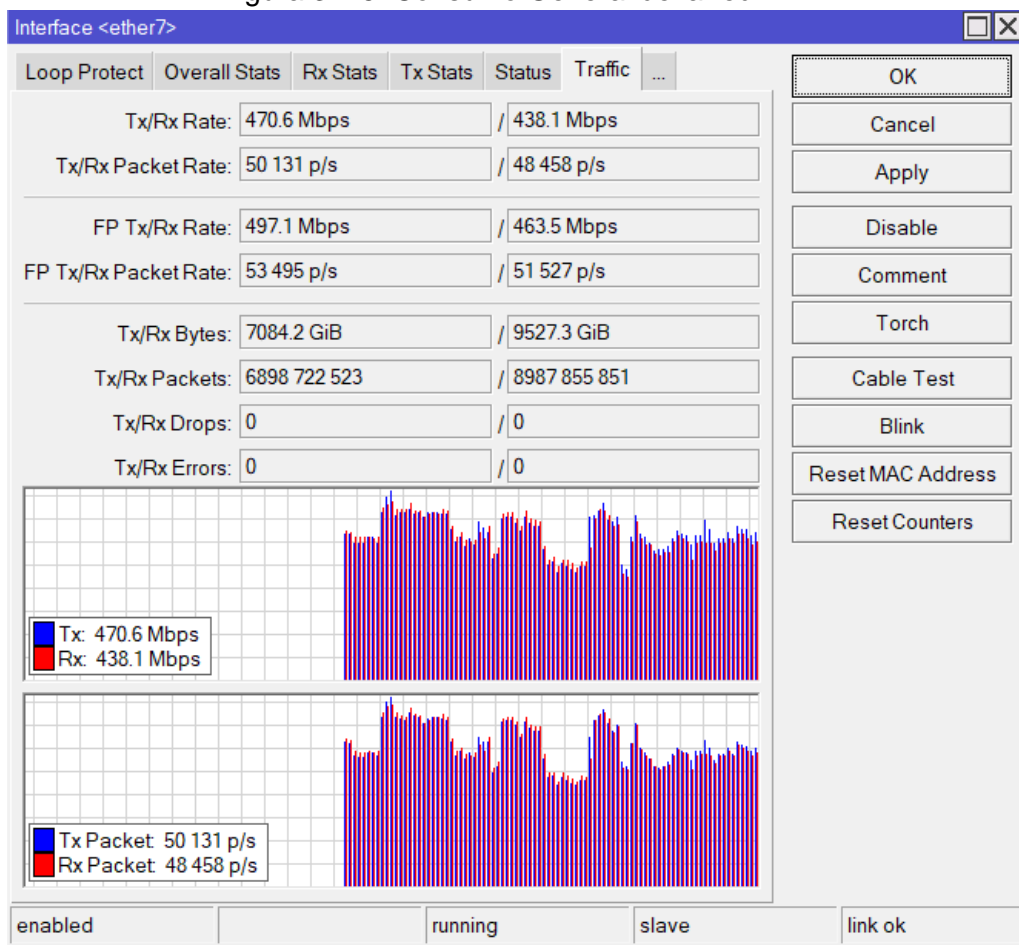
Figura 3. 14: Monitoreo de Tráfico en el Router Principal



Fuente: Autor

En la figura 3.15 seleccionando la pestaña trafficc, se puede observar el ancho de banda que se está consumiendo en total, así como el número de paquetes por segundo que transitan en la interface del router.

Figura 3. 15: Consumo General de la red LAN



Fuente: Autor

Se realizó una prueba de ping desde el router principal hacia la Ip 172.16.22.55 configurada en la Pc que recibe las señales NDI con el software vMix, donde se obtiene un tiempo máximo de 2 ms, como se observa en la figura 3.16.

Figura 3. 16: Ping desde el router principal hacia la Pc con vMix

```
[admin@UCSG-RB1200] > ping 172.16.22.55
SEQ HOST                               SIZE TTL TIME   STATUS
 0 172.16.22.55                         56 128 0ms
 1 172.16.22.55                         56 128 0ms
 2 172.16.22.55                         56 128 0ms
 3 172.16.22.55                         56 128 0ms
 4 172.16.22.55                         56 128 0ms
 5 172.16.22.55                         56 128 2ms
 6 172.16.22.55                         56 128 0ms
 7 172.16.22.55                         56 128 0ms
 8 172.16.22.55                         56 128 1ms
 9 172.16.22.55                         56 128 0ms
10 172.16.22.55                         56 128 0ms
11 172.16.22.55                         56 128 0ms
12 172.16.22.55                         56 128 0ms
13 172.16.22.55                         56 128 0ms
14 172.16.22.55                         56 128 0ms
15 172.16.22.55                         56 128 0ms
16 172.16.22.55                         56 128 1ms
17 172.16.22.55                         56 128 0ms
18 172.16.22.55                         56 128 0ms
19 172.16.22.55                         56 128 0ms
sent=20 received=20 packet-loss=0% min-rtt=0ms avg-rtt=0ms max-rtt=2ms
SEQ HOST                               SIZE TTL TIME   STATUS
20 172.16.22.55                         56 128 0ms
21 172.16.22.55                         56 128 0ms
22 172.16.22.55                         56 128 2ms
23 172.16.22.55                         56 128 2ms
24 172.16.22.55                         56 128 0ms
25 172.16.22.55                         56 128 0ms
26 172.16.22.55                         56 128 0ms
27 172.16.22.55                         56 128 0ms
28 172.16.22.55                         56 128 0ms
29 172.16.22.55                         56 128 0ms
30 172.16.22.55                         56 128 0ms
31 172.16.22.55                         56 128 0ms
32 172.16.22.55                         56 128 0ms
33 172.16.22.55                         56 128 2ms
34 172.16.22.55                         56 128 0ms
35 172.16.22.55                         56 128 1ms
36 172.16.22.55                         56 128 0ms
37 172.16.22.55                         56 128 0ms
38 172.16.22.55                         56 128 0ms
39 172.16.22.55                         56 128 0ms
sent=40 received=40 packet-loss=0% min-rtt=0ms avg-rtt=0ms max-rtt=2ms
```

Fuente: Autor

### 3.3. Diagrama de red NDI del canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Con el paso del tiempo la demanda de contenido audiovisual creció por lo que los requerimientos para una producción cambiaron teniendo que integrar múltiples fuentes.

La implementación del protocolo NDI (interfaz de dispositivo de red) han redefinido los flujos de trabajo, teniendo que integrarse el módulo IP NC1 Studio I/O de la marca Newtek que proporciona interoperabilidad entre ubicaciones y sistemas de producción en la red. Con la integración de este módulo en la red se presenta una solución de tecnología IP al mismo tiempo que hace uso de los equipos e infraestructura SDI existentes



## Conclusiones

- Este documento estudia los conceptos de redes, transmisión de videos a través de la red a su vez que explica cómo diseñar y optimizar un flujo de trabajo NDI, detallando los pasos para implementar esta tecnología de manera efectiva.
- El diseño de una red NDI es fundamental para garantizar una transmisión confiable y de alta calidad entre dispositivos de captura, conmutadores, pantallas y servidores de procesamiento, todo dentro de una infraestructura de red gestionable.
- Se detallan algunos procesos, desde la captura y la distribución de video, hasta la integración con el software de producción y la gestión del tráfico de red, con el objetivo de maximizar la eficiencia, reducir los costos operativos y mejorar la flexibilidad en la producción de contenido.
- En los escenarios presentados se analizó como se puede utilizar NDI para la transmisión de video, permitiendo a los equipos de producción trabajar de manera más eficiente y creativa ampliando la colaboración y creación de contenido.
- Las pruebas realizadas presentaron resultados esperados con respecto a la velocidad de los datos durante la reproducción de los videos, así como el ancho de banda de la red.
- Al realizar el monitoreo fue posible medir en tiempo real la tasa de utilización del CPU, la memoria RAM y el tráfico de la red lo que permitió analizar el rendimiento de la infraestructura de red existente, garantizando un ancho de banda suficiente, baja latencia y una calidad constante, evitando interferencias o caídas de señal.

## Recomendaciones

- Para implementar el protocolo NDI se debe tener una infraestructura de red de al menos 1 Gigabit ethernet para asegurar una transmisión de alta calidad con múltiples fuentes.
- Debido a que la red puede ser inestable por sobrecarga de tráfico, se recomienda una red independiente para los dispositivos NDI o en su defecto la implementación de VLANs para segmentar el tráfico para de esta manera separar el tráfico de video y datos de otro tipo de tráfico de la red.
- Es necesario actualizar el hardware de red como son switches, routers con equipos óptimos para el tráfico de video. En el caso de los switches preferentemente utilizar switches administrables con puertos Gigabit, que tenga capacidad de QoS para darle prioridad al tráfico de video NDI.
- Usar conexiones por cable, el mismo que debe ser de categoría 5e o superior. Los cables de mala calidad pueden introducir interferencia, pérdida de señal que ocasionan caídas de conexión; las conexiones Wi-Fi no es lo ideal para aplicaciones de video en vivo.
- La red NDI se debe proteger con firewalls, y en caso de que haya usuarios que se conecten remotamente o transmisiones a través de redes externas considerar implementar VPNs.
- Antes de realizar una transmisión se debe monitorear la red para detectar cuellos de botella, pérdida de paquetes, verificando el ancho de banda haciendo pruebas de velocidad para asegurar la calidad de la transmisión NDI.

## Bibliografía

- Aliesawi, S. A., Mustafa, S. S., & Gathban, S. A. (2005). Motion estimation and convolutional coding for video streaming over wireless channels. . . *Vol.*, 22.
- Andrade, M. T., Santos, P., Costa, T. S., Freitas, L., Golestani, S., Viana, P., Rodrigues, J., & Ulisses, A. (2020). Ubiquitous Framework for High Quality Audiovisual Production. *2020 TRON Symposium (TRONSHOW)*, 1–8. <https://doi.org/10.23919/TRONSHOW51327.2020.9336105>
- Bross, B., Wang, Y.-K., Ye, Y., Liu, S., Chen, J., Sullivan, G. J., & Ohm, J.-R. (2021). Overview of the Versatile Video Coding (VVC) Standard and its Applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 31(10), 3736–3764. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2021.3101953>
- Bull, D. R., & Zhang, F. (2021). Video coding standards and formats. En *Intelligent Image and Video Compression* (pp. 435–484). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820353-8.00021-9>
- Byeon, J., Jang, S., Lee, J., Kim, K., & Sim, D. (2021). Fast Thumbnail Extraction for H.264/AVC, HEVC and VP9. *Applied Sciences*, 11(4), 1844. <https://doi.org/10.3390/app11041844>
- Caputo, A. C. (2010). Understanding Networks and Networked Video. En *Digital Video Surveillance and Security* (pp. 89–122). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-747-4.00004-4>
- Castells, M., & Cardoso, G. (2005). *The Network Society: From Knowledge to Policy*. Center for Transatlantic Relations.



- Chemin, D. (2023). *The Dynamic Optimizer Framework. Video encoding, assessment and comparison* [Laurea, Politecnico di Torino]. <https://webthesis.biblio.polito.it/26705/>
- Cruzat La Rosa, A. D. (2023). *Re-encoding Resistance: Towards Robust Covert Channels over WebRTC Video Streaming* [Master's Degree Thesis]. University of Waterloo.
- Darwich, M. K. (2017). *Cost-Efficient Video On Demand (VOD) Streaming Using Cloud Services* [Doctoral Thesis]. University of Louisiana at Lafayette.
- Farhat, B. (2022). *Efficient hardware designs of the new Versatile Video Coding (VVC) tools for ASIC platforms* [Phdthesis, INSA de Rennes]. <https://theses.hal.science/tel-04477217>
- Ferder, J. E. (2022). The Proliferation of NDI in Live Production and Broadcast Workflows. *SMPTE 2022 Media Technology Summit*, 1–5. <https://doi.org/10.5594/M001991>
- Gaustad, S. L., & Mjøs, N. M. (2021). *Live Video: Broadcasting Live Video with Ultra-Low Latency using NDI* [Western Norway University of Applied Sciences]. [https://hvlopen.brage.unit.no/hvlopen-xmlui/bitstream/handle/11250/2982101/Gaustad\\_Mjoes.pdf?sequence=1](https://hvlopen.brage.unit.no/hvlopen-xmlui/bitstream/handle/11250/2982101/Gaustad_Mjoes.pdf?sequence=1)
- Haaraoja, A. (2022). *Fundamentals of Streaming: How to Setup a Virtual Event System*. Tampere University of Applied Sciences.
- Hu, M., Luo, X., Chen, J., Lee, Y. C., Zhou, Y., & Wu, D. (2021). Virtual reality: A survey of enabling technologies and its applications in IoT. *Journal of Network and Computer Applications*, 178, 102970. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102970>

- Huang, C.-J., Cheng, H.-W., Lien, Y.-H., & Jian, M.-E. (2024). A Survey on Video Streaming for Next-Generation Vehicular Networks. *Electronics*, 13(3), 649. <https://doi.org/10.3390/electronics13030649>
- Ibraheem, M. K. I., Dvorkovich, A. V., & Al-khafaji, I. M. A. (2024). A Comprehensive Literature Review on Image and Video Compression: Trends, Algorithms, and Techniques. *Ingénierie des systèmes d'information*, 29(3), 863–876. <https://doi.org/10.18280/isi.290307>
- ISO/IEC. (2022). *ISO/IEC 14496-10:2020(en), Information technology—Coding of audio-visual objects—Part 10: Advanced video coding*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:14496:-10:ed-9:v1:en>
- Jäger, N., Kaufmann, M., Heitz, B., Vauderwange, O., Haiss, U., & Curticapean, D. (2020). Live streaming of events over an IP network as a catalyst in media technology education and training. En G. G. Gregory & A.-S. Poulin-Girard (Eds.), *Optics Education and Outreach VI* (p. 18). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2568843>
- Järvenpää, T. (2017). *Educational Video: Case Häme University of Applied Sciences Riihimäki Campus* [Master's Thesis]. Lahti University of Applied Sciences.
- Kalan, R., & Dulger, I. (2024). A Survey on QoE Management Schemes for HTTP Adaptive Video Streaming: Challenges, Solutions, and Opportunities. *IEEE Access*, 12, 170803–170839. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3491613>
- Kumar, T., Sharma, P., Tanwar, J., Alsg hier, H., Bhushan, S., Alhumyani, H., Sharma, V., & Alutaibi, A. I. (2024). Cloud-based video streaming services: Trends, challenges, and opportunities. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 9(2), 265–285. <https://doi.org/10.1049/cit2.12299>

- Kwon, I., Li, J., & Prasad, M. (2023). Lightweight Video Super-Resolution for Compressed Video. *Electronics*, 12(3), 660. <https://doi.org/10.3390/electronics12030660>
- Lehr, W., & Sicker, D. (2017). Would You like Your Internet with or without Video? *University of Illinois Journal of Law, Technology & Policy*, 2017, 73.
- Leiderman, T., & Ben Ezra, Y. (2024). Information Bottleneck Driven Deep Video Compression—IBOpenDVCW. *Entropy*, 26(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/e26100836>
- Li, X., Darwich, M., Salehi, M. A., & Bayoumi, M. (2021). A survey on cloud-based video streaming services. En *Advances in Computers* (Vol. 123, pp. 193–244). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2021.01.003>
- Li, Z.-N., Drew, M. S., & Liu, J. (2021). Modern Video Coding Standards: H.264, H.265, and H.266. En Z.-N. Li, M. S. Drew, & J. Liu, *Fundamentals of Multimedia* (pp. 423–478). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-62124-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62124-7_12)
- Ming, Y., Zhou, J., Hu, N., Feng, F., Zhao, P., Lyu, B., & Yu, H. (2024). Action recognition in compressed domains: A survey. *Neurocomputing*, 577, 127389. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.127389>
- Mochurad, L. (2024). A Comparison of Machine Learning-Based and Conventional Technologies for Video Compression. *Technologies*, 12(4), 52. <https://doi.org/10.3390/technologies12040052>
- Muhummad M., A. A. (2023). *Real-Time Video Sharing with OBS Studio using WebRTC* [Master's Thesis, New Mexico State University]. [https://www.researchgate.net/publication/375597075\\_Real-Time\\_Video\\_Sharing\\_with\\_OBS\\_Studio\\_using\\_WebRTC](https://www.researchgate.net/publication/375597075_Real-Time_Video_Sharing_with_OBS_Studio_using_WebRTC)
- Nawaz, O., Fiedler, M., & Khatibi, S. (2024). QoE-Based Performance Comparison of AVC, HEVC, and VP9 on Mobile Devices with Additional

Influencing Factors. *Electronics*, 13(2), 329.  
<https://doi.org/10.3390/electronics13020329>

Nazih, W., Elkilani, W. S., Dhahri, H., & Abdelkader, T. (2020). Survey of Countering DoS/DDoS Attacks on SIP Based VoIP Networks. *Electronics*, 9(11), 1827. <https://doi.org/10.3390/electronics9111827>

Neugebauer, R. (Ed.). (2019). *Digital Transformation*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58134-6>

Nilsson, F., & Axis, C. (2023). *Intelligent Network Video: Understanding Modern Video Surveillance Systems* (3a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.4324/9781003412205>

Okopnyi, P., Guribye, F., Caruso, V., & Juhlin, O. (2023). Automation and redistribution of work: The impact of social distancing on live TV production. *Human–Computer Interaction*, 38(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/07370024.2021.1984917>

Pawłowski, P., & Piniarski, K. (2024). Efficient Lossy Compression of Video Sequences of Automotive High-Dynamic Range Image Sensors for Advanced Driver-Assistance Systems and Autonomous Vehicles. *Electronics*, 13(18), 3651. <https://doi.org/10.3390/electronics13183651>

Petreski, D., & Kartalov, T. (2023). Next Generation Video Compression Standards – Performance Overview. *2023 30th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IWSSIP58668.2023.10180261>

Podgorelec, D., Strnad, D., Kolingerová, I., & Žalik, B. (2024). State-of-the-Art Trends in Data Compression: COMPROMISE Case Study. *Entropy*, 26(12), 1032. <https://doi.org/10.3390/e26121032>

Popescu, A., Yao, Y., & Ilie, D. (2018). Video Distribution Networks: Architectures and System Requirements. En A. Popescu (Ed.),

*Greening Video Distribution Networks* (pp. 1–23). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71718-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71718-0_1)

Richards, P. W. (2021). *The Unofficial Guide to Open Broadcaster Software*. <https://cpfumc.org/wp-content/uploads/2022/03/The-Unofficial-Guide-to-Open-Broadcaster-Software-PDF.pdf>

Saberi, Y., Forghani, M., & S. Mirkhalaf, S. (2024). The Best and Most Efficient Video Compression Methods. En *Navigating the World of Multimedia—Innovation and Applications [Working Title]*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1007331>

Slivar, I. (2021). *Quality of experience driven video encoding adaptation strategies for cloud gaming under network constraints* [Info:eu-repo/semantics/doctoralThesis, University of Zagreb. Faculty of Electrical Engineering and Computing. Department of Telecommunications]. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:823938>

Smei, H., Jemai, A., & Smiri, K. (2017). Performance Estimation of HEVC/h.265 Decoder in a Co-Design Flow with SADF-FSM Graphs. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 10(11), 261–281. <https://doi.org/10.4236/ijcns.2017.1011016>

Subbarayappa, S., & Rao, K. R. (2021). Video quality evaluation and testing verification of H.264, HEVC, VVC and EVC video compression standards. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1045(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1045/1/012028>

Taha, M., & Ali, A. (2023). Redirection and Protocol Mechanisms in Content Delivery Network-Edge Servers for Adaptive Video Streaming. *Applied Sciences*, 13(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/app13095386>

Tarrats S., S. (2024). *Design of hybrid SDI-IP video systems for multi-purpose use* [Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/410927>

- Vaz, R. A., Alves, L. G. P., Lobeiro, M., Da Silva Ferraz, E., De Oliveira, G. H. M. G., Jerji, F., & Akamine, C. (2023). Integrated broadband broadcast video scalability usage proposal to next-generation of brazilian DTTB system. *Multimedia Tools and Applications*, 83(16), 46997–47020. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-17480-6>
- Zhang, Y., Cheng, S., Guo, Z., & Zhang, X. (2024). Inferring Video Streaming Quality of Real-Time Communication Inside Network. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 34(8), 7756–7770. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2024.3375604>
- Zhang, Z., Liu, C., Li, Z., Yu, L., & Yan, H. (2019). Detection of Transcoding from H.264/AVC to HEVC Based on CU and PU Partition Types. *Symmetry*, 11(11), 1343. <https://doi.org/10.3390/sym11111343>
- Zuhra, S. U., Chaporkar, P., Karandikar, A., & Poor, H. V. (2024). Multi-Connectivity for Multicast Video Streaming in Cellular Networks. *Network*, 4(2), 175–195. <https://doi.org/10.3390/network4020009>

## GLOSARIO

<b>Acrónimo</b>	<b>Significado en inglés</b>	<b>Significado en español</b>
<b>AVC</b>	<i>Advanced Video Coding</i>	Codificación de Video Avanzada
<b>CIF</b>	<i>Common Intermediate Format</i>	Formato Intermedio Común
<b>DC</b>	<i>Data Center</i>	Centro de Datos
<b>GigE</b>	<i>Gigabit Ethernet</i>	Ethernet de Gigabit
<b>GOP</b>	<i>Group of Pictures</i>	Grupo de Imágenes
<b>GPON</b>	<i>Gigabit Passive Optical Network</i>	Red Óptica Pasiva con Capacidad de Giga
<b>HDMI</b>	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>	Interfaz Multimedia de Alta Definición
<b>HEVC</b>	<i>High Efficiency Video Coding</i>	Codificación de Video de Alta Eficiencia
<b>H.264</b>	<i>Advanced Video Coding</i>	Codificación de Video Avanzada
<b>IEC</b>	<i>International Electrotechnical Commission</i>	Comisión Electrotécnica Internacional
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i>	Protocolo de Internet
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>	Organización Internacional de Normalización
<b>ITU-T</b>	<i>International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector</i>	Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Normalización de las Telecomunicaciones
<b>LAN</b>	<i>Local Area Network</i>	Red de Área Local
<b>MCU</b>	<i>Multipoint Control Unit</i>	Unidad de Control Multipunto
<b>MPEG</b>	<i>Moving Picture Experts Group</i>	Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento
<b>NDI</b>	<i>Network Device Interface</i>	Interfaz de Dispositivos de Red
<b>PPV</b>	<i>Pay-Per-View</i>	Pago por Evento

<b>QCIF</b>	<i>Quarter Common Intermediate Format</i>	Formato Intermedio Común Cuadrante
<b>QoS</b>	<i>Quality of Service</i>	Calidad de Servicio
<b>RTCP</b>	<i>Real-time Transport Control Protocol</i>	Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real
<b>RTP</b>	<i>Real-time Transport Protocol</i>	Protocolo de Transporte en Tiempo Real
<b>SDI</b>	<i>Serial Digital Interface</i>	Interfaz Digital Serie
<b>SDP</b>	<i>Session Description Protocol</i>	Protocolo de Descripción de Sesión
<b>SLA</b>	<i>Service Level Agreement</i>	Acuerdo de Nivel de Servicio
<b>SIP</b>	<i>Session Initiation Protocol</i>	Protocolo de Inicio de Sesión
<b>T-VoD</b>	<i>Transactional Video on Demand</i>	Video Bajo Demanda Transaccional
<b>VOD</b>	<i>Video on Demand</i>	Video Bajo Demanda
<b>VoIP</b>	<i>Voice over IP</i>	Voz sobre IP





Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly** con C.C: # **0915336671** autor del trabajo de titulación: Diseño de la red NDI para el canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 13 de marzo del 2025

f. 

Nombre: **Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly**

C.C: **0915336671**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Diseño de la red NDI para el canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Ordóñez Yagual, Sonia Aracelly		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Peñañiel Olivo, Kety Jenny; Bohórquez Heras, Diana Carolina; Bohórquez Escobar, Celso Bayardo		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>PROGRAMA:</b>	Maestría en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	13 de marzo del 2025	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	64 p.
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Sistemas de Comunicaciones, TV Digital, Redes.		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	IP, Tecnología, NDI, Interface, Redes		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El presente documento presenta el desarrollo de la tesis de maestría denominada “Diseño de la red NDI para el canal de televisión de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil”. En la actualidad, la transmisión de vídeo sobre IP basada en redes de acceso por fibra óptica (por ejemplo, GPON) en tiempo real es cada vez más importante en el ámbito de la televisión, sin embargo, en el canal TV UCSG no dispone de un sistema de transmisión de vídeo sobre una NDI. El propósito fue diseñar una plataforma de control de TV basada en IP y completamente funcional. En el capítulo 1 se presenta la descripción general del proyecto de titulación. En el capítulo 2 se describen los fundamentos teóricos de los sistemas de vídeo sobre IP y de la interface de dispositivos de red (NDI). En el capítulo 3 se realiza el diseño de la implementación de la tecnología NDI para el canal TV UCSG.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593998179271	E-mail: sonia209@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo Ph.D.		
	<b>Teléfono:</b> +593995147293		
	<b>E-mail:</b> celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			