

ALTERNATIVAS PARA EL TRANSPORTE DE AUDIO A TRAVÉS DE REDES IP DEL SISTEMA DE RADIO TRONCALIZADO MPT-1327

René Yáñez de la Rivera¹, Brian Jofre de Villegas Biosca², Julio A. Alpizar Aguiar³

¹ Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE, Calle114 No. 11901 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba. ^{2,3} Empresa Movitel, Ave. 49 No.2831 esq. 49-A, Rpto. Kohly. Playa, La Habana, Cuba.

¹e-mail: ry.rivera.2014@gmail.com

²e-mail: brian@movitel.co.cu

³e-mail: julio@movitel.co.cu

RESUMEN

El sistema de radio Trunking MPT 1327 es una tecnología analógica con control digital, desarrollado en el Reino Unido en la década del 80, valorado por sus prestaciones y robustez lo que explica que algunos operadores deseen extender la vida útil del sistema, pero confrontan dificultades con la obsolescencia del equipamiento. Esto sucede especialmente con las pasarelas, denominadas Megaplex, que permiten el acceso a la red de transporte SDH (Jerarquía Digital Síncrona) así como con la propia evolución a IP (Protocolo de Internet) de estas redes. Existe una solución comercial única suministrada por la empresa RAD, de origen israelita, con presencia en Estados Unidos. Tal condición puede ser contradictoria con las políticas trazadas por algunos operadores que prefieren no depender de un solo suministrador, además de que en el caso particular de Cuba, el bloqueo crearía obstáculos para su posible adquisición. El propósito del presente artículo es hacer un estudio teórico de las alternativas de solución factibles las cuales puedan implementarse a partir de equipos comerciales, mediante desarrollo propio o combinando estas dos primeras, a las que denominaremos híbridas. Se parte de la premisa del funcionamiento, prestaciones y evolución de la plataforma Megaplex, como equipo clave para este análisis, ofreciéndose elementos técnicos y comerciales de las variantes propuestas. Estas variantes se comparan entre sí a partir de criterios de costo, facilidad de adquisición y tiempo de desarrollo lo cual permite establecer un orden de prioridad, así como sugerir estrategias al respecto, válidas para diferentes escenarios.

PALABRAS CLAVES: Radio Trunking MPT-1327, Megaplex, TDMoIP, VoIP, AoIP.

AUDIO TRANSPORT APPROACHES THROUGH IP NETWORKS IN THE CONTEXT OF THE TRUNKING RADIO SYSTEM MPT-1327

ABSTRACT

The Radio Trunking System MPT-1327 is an analogical technology with digital control, developed by the United Kingdom in the 80 decade, being considered by operators a high valuable equipment because its performances and sturdiness. This explains that some operators wish to extend the useful life cycle of system, but are facing to troubles because of obsolescence of equipment set, specially the denominated Megaplex Gateways, which have in charge the access to SDH transport networks, besides, the proper trends of network to IP (Internet Protocol). A unique commercial available solution is possible from RAD enterprise from Israel with branch in USA, condition that can be against some policies of operators which prefer more independence from suppliers. Further in the case of Cuba the embargo is a strong obstacle. The purpose of this report is to accomplish a theoretical study of solutions approaches to be implemented by either commercial solutions, own development or a hybrid combination of them. The premise for this analysis is to study the features of Megaplex platforms taking into account working principles, performance and evolution, being this the key equipment in relation. An analysis of alternative solutions is carried out considering criteria of cost, acquisition feasibility and development contributing to set a priority order and to suggest strategies to different situations.

ALTERNATIVAS PARA EL TRANSPORTE DE SEÑALES DE AUDIO A TRAVÉS DE REDES IP EN EL ESCENARIO DEL SISTEMA DE RADIO TRONCALIZADO MPT-1327

INDEXTERMS: RadioTrunking MPT-1327, Megaplex, TDMoIP, VoIP, AoIP.

1. INTRODUCCIÓN

Los denominados sistemas de radio troncales (trunking) [1] son sistemas de radiocomunicaciones móviles, de tipo privado, con una estructura de móvil celular. Estos son destinados básicamente al sector corporativo, pero con prestaciones específicas como son la formación de grupos y subgrupos, así como las llamadas de emergencia. Las primeras versiones analógicas datan de los años 80 y han estado muy ligados a la gestión de flotas de vehículos en empresas transportistas.

Se diferencian de los sistemas móviles celulares públicos en que las células, llamadas en este caso "sitios", se ubican en aéreas geográficas diferentes y el proceso de comunicación entre estos sitios (intersite) se realiza a través del nodo central encargado del control. La asignación de canales es automática y bajo demanda lo cual hace muy eficiente la administración de los recursos y de ahí deriva también la denominación de troncalizado (trunking) por su semejanza con el concepto de tronco surgido en la red telefónica fija tradicional.

La tecnología de soporte de tales sistemas ha evolucionado desde sistemas analógicos a digitales y actualmente a IP. En particular el sistema trunking MPT-1327, desarrollado en el Reino Unido en la década del 80 y publicado por la Agencia Británica de Comunicaciones en enero de 1988, es de tipo analógico con control digital. Fue muy competitivo en comparación con los modelos analógicos de su época e incluso con otras tecnologías emergentes como el modelo Tetra, de tipo digital. Actualmente existen diversas variantes de sistemas troncalizados basadas en IP.

En la Fig. 1 se muestra la arquitectura del sistema MPT-1327 que abarca un sitio y el nodo central, encargado de la comunicación entre sitios o "intersite". Se distinguen el canal de control y los canales de audio propiamente. La señal de voz se modula en FM con ancho de banda de 12.5 o 25 kHz; la señal de control es digital, pero mediante un modem se convierte en analógico por lo que hacia afuera del sitio se comporta como un canal de voz en banda base.

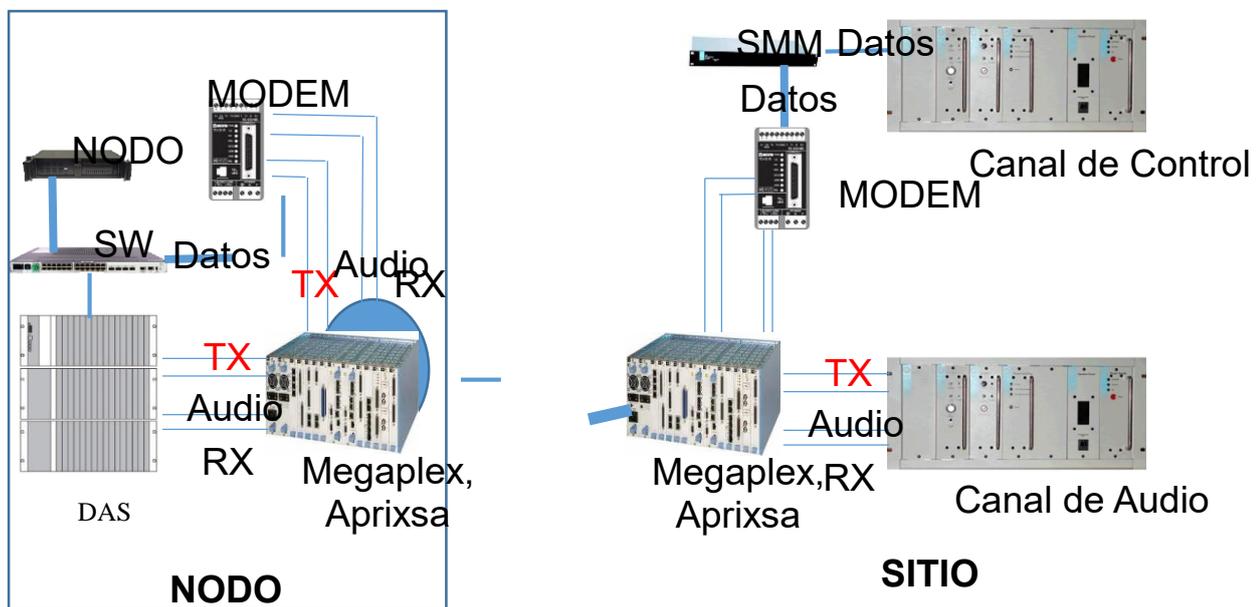


Figura 1: Arquitectura del Sistema Trunking MPT 1327 (Elaborado por Movitel).

Las llamadas dentro del sitio son gestionadas por el control local, mientras que las que van hacia afuera, o sea entre sitios diferentes (intersite), se controlan centralizadamente en el llamado nodo. Este nodo, además, realiza la conmutación mediante una matriz analógica, con control digital, denominada DAS (Digital Audio Switching). La señalización para el proceso de establecimiento de la llamada es propietaria y se conforma una red de datos que comprende una computadora de propósito específico, conmutadores de nivel 2 y los modems mencionados.

En esta misma Fig. 1 se destaca que el transporte de los canales de audio entre los sitios y el nodo se realiza a través de la red de transporte SDH (Jerarquía Digital Síncrona por sus siglas en inglés). La interfaz está a cargo de las pasarelas de acceso conocidas comercialmente como "Megaplex" que digitalizan y multiplexan las señales de audio. Se conforma con este propósito una trama de nivel E1 (30 canales + sincronismo +señalización) de 2 Mb/s (2.048 Mb/s) que se transporta como carga útil dentro de los diferentes niveles jerárquicos del SDH (STM-1,4,16).

Los sitios son equivalentes a las llamadas radio bases en la telefonía móvil celular pública, albergando el sistema de antenas, los transceptores (Transmisores y Receptores) analógicos y un sistema de control digital de carácter local que intercambia señalización directamente con los terminales de usuario o con el nodo central. Esta señalización se transporta como un canal de audio, de ahí la presencia del modem, mencionado anteriormente. Por su parte, el nodo central es un centro de control y conmutación en el que confluyen, multiplexados en el tiempo (TDM, por sus siglas en inglés) según el estándar SDH mencionado, los canales de audio (voz y control) procedentes de las radio bases que conforman los sitios. La red SDH normalmente puede pertenecer a un operador público.

Dada la competitividad relativa del sistema trunking MPT-1327, algunos operadores optan por extender la vida útil del mismo, pero confrontan dos problemas:

1. La red SDH ha evolucionado a tecnologías avanzadas especializadas en transporte de redes de datos basadas en IP.
2. El equipo Megaplex, de primera generación, que entrega tramas E1 ha quedado obsoleto, dificultándose las partes y piezas de repuesto para los que aún quedan en funcionamiento.

Existe una solución comercial única, basada en un Megaplex evolucionado, suministrada por la empresa RAD de origen israelita y con presencia en Estados Unidos. Esto da lugar a la dependencia de un solo suministrador lo cual puede resultar contraproducente para algunos operadores, destacándose el caso de Cuba en particular, donde el bloqueo impediría su posible adquisición.

En este sentido se identifica una situación problemática asociada al transporte "intersite" de los canales de audio y de control que requiere de un análisis de alternativas para su posible solución. El objetivo de este reporte, que abarca una primera fase del trabajo, es hacer un estudio teórico a partir del cual puedan obtenerse un conjunto de alternativas, a las que se han llamado "Variantes". Esto permite hacer un estudio comparativo y un análisis de factibilidad que luego permitiría elaborar una estrategia para una segunda fase de pruebas experimentales, desarrollo de prototipos y/o puesta en marcha de equipos comerciales, entre las posible líneas a seguir.

2. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Como método de investigación para identificar las alternativas de solución posibles y como premisa del trabajo al respecto, se ha tomado en cuenta el principio de funcionamiento de la pasarela "Megaplex". Luego se han estudiado sus características y la evolución de la tecnología a partir del equipo original y la documentación disponible del mismo [2]. Esto conduce al planteamiento de una hipótesis tentativa que sería la siguiente:

"A partir del principio de funcionamiento, prestaciones y evolución tecnológica de las pasarelas "Megaplex" de la compañía RAD, se pueden obtener las diversas alternativas de solución para el transporte de los canales de audio entre sitios (intersite) del sistema Trunking MPT-1327".

La primera generación [2] data de 1996 y la interfaz de salida principal (denominada ML en la documentación técnica del equipo) es un flujo de 2 Mb/s, nivel E1 en la norma europea, donde se multiplexan el conjunto de canales asociados a las interfaces de entrada/salida de usuarios. Esta pasarela tiene como propósito básico el acoplamiento con la red SDH basada en TDM (Multiplexación por División en Tiempo, por sus siglas en inglés). La interfaz de entrada/salida usada en la aplicación específica del sistema MPT-1327 para la interconexión intersite es la VC- 16A, para Voz de 16 canales, sin señalización y con posibilidad de selección para operar a 2 hilos (2H) o cuatro hilos (4H), [2]. Los modelos en el mercado son el MP 2100/2104 que se diferencian por el tamaño del chasis y en consecuencia por la capacidad disponible.

ALTERNATIVAS PARA EL TRANSPORTE DE SEÑALES DE AUDIO A TRAVÉS DE REDES IP EN EL ESCENARIO DEL SISTEMA DE RADIO TRONCALIZADO MPT-1327

La segunda generación [3] introduce nuevas prestaciones en los mencionados modelos 2100/2104 y surge en 2006 como la versión 12.6. Se introduce una nueva interfaz de salida del tipo TDMoIP (TDM sobre IP), un protocolo propiamente para transporte no necesariamente equivalente a Voz sobre IP (VoIP), como se aclara más adelante. La salida es por un puerto ethernet, además de mantener, complementariamente, el puerto de salida E1 como en la versión original.

El proceso de conformación de los paquetes IP se realiza a partir de los flujos E1 de la tarjeta de multiplexación que es clave en todas las versiones de los Megaplex. De hecho lo que se hace es conformar una trama ethernet cuya carga útil es la secuencia de tramas E1 que se quieren transportar [3]. Se puede deducir entonces que este proceso supone de antemano una prioridad al tráfico en los enlaces punto a punto. El protocolo IP permite, entonces, identificar las tramas que van hacia el nodo y los diferentes sitios mediante el direccionado de nivel tres.

Siguiendo el hilo de este proceso se infiere que no se necesita el denominado protocolo RTP (Protocolo de Transporte en Tiempo real), asociado a la tecnología de Voz sobre IP (VoIP) en telefonía, porque la garantía de operar en tiempo real está dada por la prioridad de los enlaces. En este sentido, TDMoIP no es exactamente equivalente a VoIP. Además, profundizando en el proceso [3, apéndice E] se explica, que en la capa de transporte, los puertos a utilizar son los del tipo UDP (User Datagram Protocol). En este sentido, la secuencia consiste en un número de tramas E1, que se selecciona al configurar el equipo, con encabezados UDP/IP que se transportan sobre el campo de carga útil de la unidad de datos ethernet. Esta tecnología no es propietaria de RAD, reportándose en la literatura [4] y explicándose que la misma "consiste en encapsular tramas TDM en paquetes IP agregando las cabeceras apropiadas para el transporte de TDM sobre una red conmutada en paquetes". También se conoce como pseudo hilo (pseudowire) y puede transportar cualquier información síncrona.

En la pasarela Megaplex, versión 12.6, se dispone de dos tarjetas de procesamiento que se ubican en las unidades de entrada /salida (I/O): una tarjeta de procesamiento E1, como en el modelo original; y otra IP, encargada del proceso de empaquetado y conformación del protocolo TDMoIP, ambas bajo el mando y supervisión de las tarjetas de control lógicas. También es importante garantizar el sincronismo entre transmisión y recepción lo que se consigue dedicando algunas ranuras de tiempo (time slots) al transporte de una señal de reloj y utilizando una memoria separadora (buffer) en recepción. Dicha memoria permite la compensación del llamado "jitter", o sea, la incertidumbre en la ubicación temporal de los momentos de transición de los pulsos de reloj recuperados.

El siguiente paso, en la evolución de los equipos Megaplex, se da con el lanzamiento del modelo MP-4100/4104, de próxima generación [5], con prestaciones avanzadas, compatible con los anteriores y que opera sobre fibra óptica y cobre. El mismo posee interfaces de salida IP/MPLS y ópticas SDH a operar a sus diferentes niveles. Recientemente se suministra como un módulo extra, una tarjeta para la virtualización de funciones de red (NFV), denominada D-NFV (Distributed NFV) que permite la implementación de paredes de fuego, enrutadores, controladores SCADA y herramientas de encriptación, entre otras [6,7].

El estudio realizado permite orientarse hacia plataformas comerciales de acceso con prestaciones equivalentes, así como también plantearse los requerimientos de diseño para una versión de desarrollo propio. Otro camino, válido también en principio, sería aquel de recurrir a tecnologías diferentes a la concepción original que ofrecen los Megaplex de la compañía RAD, pero que permitan el transporte de la señal de voz sobre redes de datos IP. A modo de resumen se destacan tres elementos asociados a esta tecnología:

1. Puertos de salida E1 (primera generación).
2. Puertos E1 y TDMoIP basado en el transporte de tramas E1 en unidades de datos ethernet, operación sobre cobre y fibra óptica, con numerosas interfaces (en segunda y próxima generación).
3. Interfaz de entrada de audio (voz) sin señalización, aplicación punto a punto, a 2H o 4H. (primera y segunda generación).

El análisis documental realizado, a partir de las premisas planteadas, permite identificar entonces las siguientes líneas de trabajo:

- La interfaz de entrada /salida de los canales de audio en banda base, en transmisión (Tx) y Recepción (Rx), no debe depender de protocolos de señalización telefónica.

- Si estos protocolos son inherentes a las plataformas de acceso disponibles en el mercado, hay que buscar soluciones de conexión permanente o semipermanente de modo que no se produzcan deterioros de la calidad de servicio (QoS) por interrupciones o demoras de procesamiento excesivas.
- La interfaz de salida, en las plataformas comerciales, debe ser IP con salida ethernet por puerto RJ-45 de cara a la red y puede ser eléctrico u óptico.
- En las soluciones de desarrollo propio la interfaz de entrada/salida tiene que disponer de codificadores de audio (Codecs) para la conversión análogo/ digital y digital/análogo con prestaciones para telefonía. Después seguiría un paso intermedio de multiplexación digital al nivel E1 o sub múltiplo (fraccionario), seguido de un módulo de empaquetamiento y ensamblaje del conjunto de protocolos de VoIP o TDMoIP, para el transporte de voz en tiempo real.
- Este módulo de empaquetamiento y protocolos puede seguir filosofías diferentes como pueden ser:
 - 1). Implementación en PC, con desarrollo de software propio, uso de código abierto disponible en la red o aprovechamiento de las facilidades brindadas por paquetes de programas como MatLab, LabView, e incluso Asterisk [13], aplicación esta última, que permite implementar una centralita privada IP (PBX IP).
 - 2). Implementación en dispositivos programables del tipo FPGA , de las firmas Altera o Xilinx disponibles en algunas instituciones del país.
 - 3). Placas de micro controladores de software libre como la línea de productos Arduino.
- El esquema TDMoIP puede aportar un diseño simplificado del módulo de empaquetamiento y protocolo IP, pues no depende de la implementación de RTP que es el esquema clásico de VoIP (RTP/UDP/IP/Ethernet).
- La prioridad al tráfico se puede conseguir sobre redes IP/MPLS, que es precisamente la evolución natural que han seguido los operadores que brindan servicio de transporte IP.

Llegado a este punto, y a modo de ordenamiento, las alternativas de solución pueden clasificarse en los tipos siguientes:

- I. Soluciones basadas en plataformas de acceso comerciales.
- II. Soluciones basadas en diseño y fabricación propias.
- III. Soluciones híbridas que combinen las anteriores.

Desde el punto de vista de la tecnología es conveniente considerar una subdivisión de las soluciones anteriores que comprende tres grupos importantes:

- a. Soluciones basadas en TDM sobre IP (TDMoIP) inherentes al principio de funcionamiento de las pasarelas Megaplex de RAD .
- b. Soluciones basadas en Voz sobre IP (VoIP) propiamente.
- c. Soluciones basadas en Audio sobre IP (AoIP).

La voz sobre IP se asocia a la telefonía IP, una tecnología difundida entre los telecomunicadores que permite la utilización de las redes de datos para el servicio telefónico. Usa el protocolo RTP para el transporte de señales en tiempo real y típicamente se basa en codificadores (Codecs) que comprimen la señal de voz para optimización del ancho de banda (Recomendaciones G.709, G.723). Esta es la base de las tarjetas de procesamiento de los teléfonos conocidos como IP de amplio uso en los escenarios corporativos.

ALTERNATIVAS PARA EL TRANSPORTE DE SEÑALES DE AUDIO A TRAVÉS DE REDES IP EN EL ESCENARIO DEL SISTEMA DE RADIO TRONCALIZADO MPT-1327

El audio sobre IP es un tema quizás menos conocido, basado en la digitalización a partir de codificadores (Codecs) que garantizan calidad musical y el transporte de audio sobre redes de datos (protocolos sobre IP, Ethernet y propietarios). Pertenecen a la tecnología de las estaciones de radio, TV y salas de espectáculos modernas, así como a los suministradores de contenido de entretenimiento en general.

Soluciones basadas en plataformas de acceso comerciales.

Se tomarán en cuenta las plataformas de acceso de TDMoIP/ VoIP, introducidas en el país por el proveedor chino Huawei, así como las tecnologías de audio digital, disponibles en el mercado para AoIP. A continuación se ofrecen diversos elementos sobre ambos tipos de plataforma y las variantes de solución que se derivan a partir de las mismas.

En principio, no se tiene exactamente el dato del tipo de procesamiento realizado en muchas de las plataformas de acceso en el mercado para el transporte de la señal de voz sobre IP. Se infiere que al menos cuando se manejan varios canales, puede haber un proceso de multiplexación al nivel E1 o fraccionario lo que hace más fácil la implementación de la tecnología TDMoIP. De todas formas aquí los problemas van a estar más bien en la dependencia de protocolos de señalización telefónicas, por ejemplo en puertos POTS (Plain Old Telephone Systems) para teléfonos analógicos tradicionales. Esto se debe al hecho de que, para establecer la comunicación, se requiere de una secuencia de operaciones como son descolgado, tono, marcado, descuelgue del llamado y colgado final, lo cual puede impactar en demoras inadmisibles en la interfaz de audio propuesta.

Plataformas de TDMoIP/ VoIP.

Se disponen en el país los siguientes equipos del proveedor Huawei: [8,9,10]

- Pasarela de acceso modelo MA5612/MA5616 que es una unidad de red óptica (ONU) de aplicación en solución FTTB y FTTC (Fibra al edificio/acera, por sus siglas en inglés) del tipo GPON (Gigabit-Passive Optical Network), con puertos de entrada POTS (Plain Old Telephone System), E1 y Ethernet, y con salida, de cara a la red, GPON (Gigabit Pasive Optical Networks) y Gigabit Ethernet (ambos ópticos). En la Tabla 1 se resumen las especificaciones y características dadas por el fabricante. Más adelante se explica cómo puede aplicarse en el proyecto "intersite" teniendo en cuenta el carácter multipropósito de esta plataforma de acceso.
- Pasarelas de media y de baja capacidad, denominadas IAD (Integrated Access Devices), con puertos de entrada FXS (Foreign eXchange Subscriber, denominación dada a la interfaz para conectar teléfonos analógicos o Fax, por conector del tipo RJ-11), entre 4 y 32 teléfonos, en la gama baja, con salida ethernet. La Tabla 2 ofrece un resumen de sus características principales. En el mercado internacional son equivalentes a los productos ATA (Adaptador Telefónico Analógico) del fabricante Grandstream [12].
- Teléfonos IP, que son dispositivos con puerto ethernet de cara a la red (Distribuidos por Huawei y otros suministradores como Grandstream).

Tabla 1. Especificaciones y características de la plataforma de acceso MA 5612 [8,9,10].

Característica/Especificación	Descripción
GPON	Cumple con la Recomendación UIT G.984 32 T-CONTs 1000 puertos GEM
Banda Ancha	4096 VLANs con soporte QinQ y apilamiento de VLANs. 4096 direcciones MAC con soporte de VMAC. Protocolo 802.1p, con soporte PQ y control de flujo WRR y ACL.
Voz	Protocolos SIP y H.248. 2 PRIs. POTS (de lazo de abonado corto).
Puerto del lado de Red	Provee dos puertos ascendentes (uplink) que usa módulos ópticos SFP y se adapta automáticamente

	a múltiples modos que incluyen GPON y GE. Se configuran de la forma siguiente: 2 X GPON 2 X GE (Óptico) 1 X GPON + 1 X GE (Óptico).
Puerto de lado de Usuario	Soporta configuración fija y dispone de dos ranuras (slots).Las configuraciones fijas son las siguientes: 2 GE (eléctrica) +6 FE (eléctrica) 2 GE (eléctrica) +6 FE (eléctrica) + 16 POTS 2 GE (eléctrica) +6 FE (eléctrica) + 16 POTS + 1 RF Las dos ranuras pueden dar cabida a las siguientes tarjetas: Tarjeta con 8 puertos FE Tarjeta POTS de 16 puertos Tarjeta con 8 puertos E1
Dimensiones (H x W x D) mm	43.6 mm x 442 mm x 245 mm

Tabla 2. Características de la gama de dispositivos IAD de Huawei [10].

Dispositivo	IAD 104H	IAD 132E(T)	IAD 196	IAD 1224
Interfaz de usuario	4	8-32	32-96	32-224
Puerto Físico	1 WAN 1 LAN 1 Consola	1 WAN 3 LAN 1 Consola	1 WAN 2 LAN 1 Consola	1 WAN 2 LAN 1 Consola
Protocolos	SIP y MGCP	SIP y MGCP	SIP y MGCP	SIP y MGCP
Dimensiones (H x W x D) mm	36 x 234 x170	1U Gabinete estándar del chasis 19 pulgadas. (42 x 436 x365)	1U Gabinete estándar del chasis 19 pulgadas. (44 x 442 x310)	1U Gabinete estándar del chasis 19 pulgadas. (86.1 x 442x310)
Alimentación	100 V-240 V AC 12 V DC	100 V-240 V AC	100 V-240 V AC -48 V DC	100 V-240 V AC -48 V DC

A partir de estas plataformas y dispositivos surgen las siguientes tres variantes:

Variante 1: Solución parcial usando los puertos E1 del MA5612/16 para los sitios en que se puedan mantener los Megaplex de primera generación. También se recomienda para la realización de pruebas preliminares de transporte y de calidad de servicio (QoS) de los canales de audio " intersite" sobre la red IP/MPLS [11].

Variante 2: Solución VoIP a través de los puertos POTS del MA 5612/5616 y/o los IAD de Huawei o Grandstream, sustituyendo los equipos Megaplex. En los sitios serian más apropiados los IAD, mientras que en el nodo las plataformas MA pueden ser más convenientes.

En esta variante hay que considerar la problemática de las conexiones permanentes o semipermanentes en dispositivos que dependen de protocolos de telefonía (alimentación, tono, marcado, timbre, colgado/descolgado) mencionados antes. Igualmente habría que tomar en cuenta las configuraciones y registros en equipos de control como el Softswitch (pasarela de control o MGC) y servidores asociados al protocolo SIP, si fueran necesarios.

ALTERNATIVAS PARA EL TRANSPORTE DE SEÑALES DE AUDIO A TRAVÉS DE REDES IP EN EL ESCENARIO DEL SISTEMA DE RADIO TRONCALIZADO MPT-1327

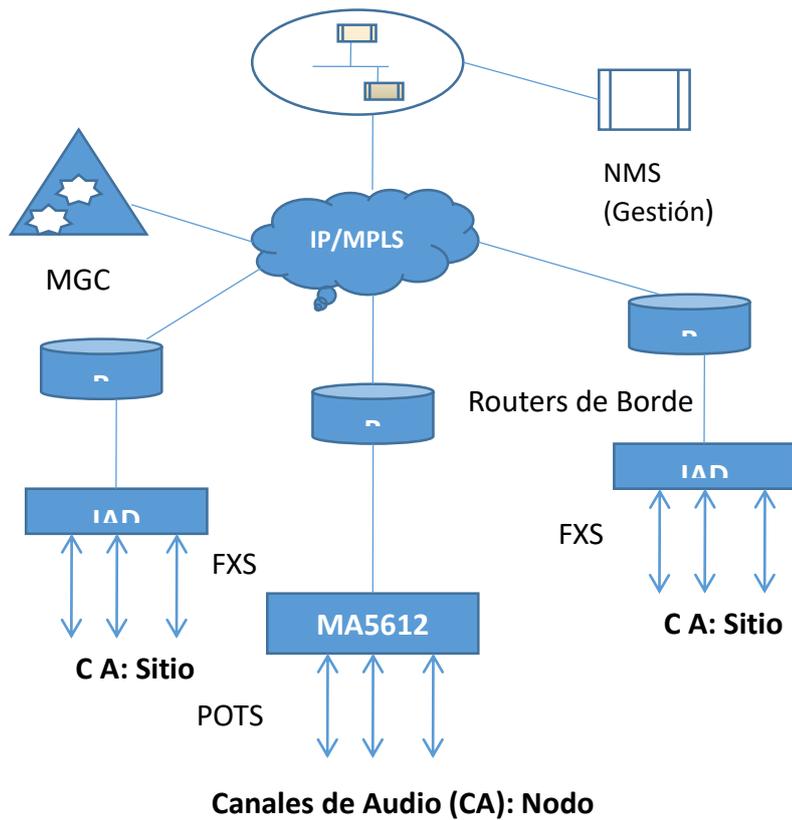


Figura 2: Escenario de trabajo para la Variante 2 a través de la plataforma MA5612 y los dispositivos IAD de Huawei [8,9,10].

En el caso de esta variante propiamente, la Fig. 2 da una idea simplificada de la arquitectura a utilizar, mostrando la comunicación entre dos sitios cualesquiera a través del nodo central. Los canales de audio son analógicos y se acoplan a las entradas POTS del MA5612 en el Nodo, mientras que en los sitios se utilizan los puertos FXS de los dispositivos IAD. Obsérvese la presencia, en el diagrama, del MGC (Pasarela de Control, por sus siglas en inglés), mencionada antes, encargada del control de la plataforma de acceso MA5612 y de los dispositivos IAD. El puerto de salida, de cara a la red, en el MA5612 debe ser preferiblemente el gigabit ethernet (GE), óptico por defecto, pues de usarse el GPON se requeriría un equipo terminal de línea (OLT, Optical Line Terminal, por sus siglas en inglés) en el otro extremo, lo que complicaría un poco la red, pues GPON encapsula la información en un tipo de trama llamada GEM (GPON Encapsulated Method, por sus siglas en inglés).

Debe destacarse, a modo de esclarecimiento, que la nube IP/MPLS sustituye a la red SDH en el esquema original, mientras que los IAD, en los sitios, y la plataforma de acceso MA-5612, en el nodo central, equivale a los equipos megaplex. Siempre debe tenerse en cuenta que la comunicación entre sitios no es directa, sino a través de la conmutación en el nodo central a través del denominado DAS, mostrado en la Figura 1.

Variante 3: Solución VoIP a través de teléfonos IP [19] usados como pasarela de audio mono canal que se conectan a una red LAN con un Switching de nivel 2 y un router como mínimo. Es recomendable incluir una PC de gestión y habrá que manejar problemáticas similares a las expuestas en la Variante 2; de hecho hay que asociarse a un operador de servicio de voz sobre IP (VoIP).

La esencia de la solución propuesta es aprovechar la entrada de micrófono y la salida de parlante, de cada teléfono, como transmisión y recepción respectivamente de los canales de audio. La conversión 4H/2H se realiza en la híbrida interna del dispositivo que debe reajustarse para máxima separación entre los canales de ida y vuelta.

Esta variante puede tener problemas de mantenimiento y fiabilidad porque cada canal va a requerir de un teléfono IP lo cual , especialmente en el nodo, puede ser complicado en cuanto a número de dispositivos y manipulación. Sin embargo, si se realiza un montaje robusto de las tarjetas de procesamiento propiamente, asociadas a cada dispositivo, la solución es más funcional y podría considerarse, entonces, como una variante híbrida.

En las soluciones tipo I, basadas en plataformas de acceso y telefonía IP, no se descarta la necesidad de implementar alguna facilidad de hardware para complementar algunos requerimientos que pueda exigir el sistema de Trunking MPT 1327. Se han identificado como posibles el uso de Atenuadores/Amplificadores de audio, Convertidores 2H/4H, detectores de actividad de voz y emuladores de protocolos telefónicos. De la misma forma puede necesitarse un servidor en el nodo en el que se implemente un controlador de pasarela (MGC en la Figura 2) con mínimas prestaciones (un mini Softswitch), a operar con protocolos H.248 y/o SIP.

Plataformas de AoIP.

Las plataformas de Audio sobre IP (AoIP) propiamente [14,15,16] se apartan del esquema de acceso de las pasarelas Megaplex y es por tanto una alternativa que sigue una línea diferente, pero válida en el contexto de esta investigación. A continuación se resumen las características principales de las mismas y los protocolos de comunicación asociados.

En general, los sistemas de audio digital convierten la señal analógica a digital con codificadores que introduzcan mínima degradación y tal proceso, entre otras prestaciones, simplifica el cableado de distribución, además de que posibilitan el transporte de señal a grandes distancias a través de las redes de datos. Existen diferentes protocolos al respecto, como Ethersound y Cobranet, que operan al nivel 2, pero no son compatibles con IP; el de mayor interés es el denominado "Dante" [18] que opera al nivel 3 del protocolo TCP/IP, incorporando en el tratamiento del audio, el conjunto RTP/UDP/IP/Ethernet y por tanto es apropiado para el presente proyecto. Es uno de los protocolos de AoIP más difundidos comercialmente, siendo creado en el año 2006.

En base a esta tecnología los fabricantes aportan al mercado varias marcas entre las cuales se destaca la línea de productos de la compañía Yamaha y otras pequeñas empresas [15,16,17]. De interés particular para el proyecto "Intersite" se pueden citar los siguientes tipos de productos :

Interfaces de audio de baja capacidad: Series de pequeños fabricantes como AtteroTech, cítese el ejemplo de la serie AtteroTechUmDio (2X2, 4X4, 8X8) entradas/salidas analógicas. Su función básica es la conversión A/D y D/A, con selección de diferentes codecs y número de bits con salida por puerto Ethernet RJ-45 con protocolo Dante, compatible con IP. El costo con mínimas prestaciones (2X2) se reporta sobre los 500 Euros, que es un precio relativamente atractivo.

Interfaces de audio de mediana capacidad: Serie Rio de la firma Yamaha [20], como la RIO 1608, Interfaz de 16 entradas analógicas/8 salidas. De cara a la red, posee un puerto RJ-45 (Ethernet) con protocolo Dante, compatible con IP. Costos entre 1500 y 4,000 Euros. Sobre la base de estas interfaces, de pequeña y mediana capacidad, se propone la Variante No. 4 siguiente:

Variante 4: Solución a través de los equipos de bajo costo AtteroTechUmDio 2X2, 4X4, 8X8 que digitalizan audio en protocolo Dante, compatible con IP. De cara a la red de datos poseen puerto Ethernet de 1 GB, procesan entradas/salidas analógicas y son módulos de bajo costo.

Soluciones basadas en diseño y fabricación propias.

De acuerdo a las líneas expuestas anteriormente, el desarrollo de un producto propio o personalizado requiere el diseño e implementación de dos partes principales: la tarjeta de interfaz de audio con los convertidores A/D y D/A y el módulo de empaquetamiento de acuerdo a los protocolos IP. Si a esta alternativa se le codifica como **Variante 5**, se podrían distinguir al menos tres sub variantes :

- a) Tarjeta de interfaz de Audio junto a Módulo de procesamiento IP implementado en PC.
- b) Interfaz de Audio junto a Módulo IP en dispositivo programable del tipo FPGA [21,22,23].

ALTERNATIVAS PARA EL TRANSPORTE DE SEÑALES DE AUDIO A TRAVÉS DE REDES IP EN EL ESCENARIO DEL SISTEMA DE RADIO TRONCALIZADO MPT-1327

c) Implementación de todo el sistema sobre placas Arduino complementada con el llamado escudo (shield) Ethernet que se monta sobre la placa principal.

Las denominadas placas arduino [24] son productos destinados principalmente a aplicaciones en la rama de la robótica, la domótica y el control automático en general que pueden incluir, además, facilidades de interconexión con las redes de datos y procesamiento de audio. Se componen de un dispositivo micro controlador que incluye conversores A/D y en algunos modelos DAC (conversor D/A), así como entradas/ salidas digitales y entradas analógicas con conversión a digital previa multiplexación. Poseen un entorno de programación amigable, basada en lenguaje de programación C, que permite reducir el tiempo de puesta a punto de un prototipo dado.

El producto básico, más conocido, es el llamado Arduino 1, pero en el proyecto "intersite" se recomienda el uso del modelo Arduino Due con más prestaciones, entre ellas el disponer de dos convertidores Digital/Analógico (DAC) y una mayor frecuencia de reloj (80 MHz vs. 16 MHz). Esto es importante para mantener una frecuencia de muestreo, en el proceso de conversión A/D, de 8000 Hz que es la mínima para aplicaciones de telefonía [25]. Pueden revisarse las referencias [26,27] que muestran aplicaciones de interés para el desarrollo de un proyecto como el que aquí se propone.

En cualquiera de estas variantes se pueden contemplar dos tecnologías a implementar: Voz sobre IP propiamente o la opción TDMoIP que simplifica los protocolos pero requiere tener en cuenta el sincronismo y la prioridad del tráfico en los enlaces. Si se decide una implementación del tipo TDMoIP es importante la revisión de la RFC 5087 la cual contiene los elementos y principios básicos al respecto [30].

Soluciones híbridas que combinan las anteriores.

Se consideran dos soluciones híbridas principales: 1). Combinación de hardware externo con un equipo de Acceso comercial; 2). Combinación de Tarjetas de Interfaz de Audio, disponibles en el mercado, con aplicaciones personalizadas corriendo en una PC de propósito general. Se identifican las siguientes alternativas o variantes:

Variante 6 : Solución híbrida con modulo personalizado de multiplexación al nivel E1, acoplado al puerto E1 del MA5612/16, salida de cara a la red por el puerto Gigabit Ethernet ascendente. Sigue la idea de la Variante 1, pero sustituye los equipos Megaplex.

Variante 7: Solución híbrida AoIP con interfaz de audio de bajo costo para aplicaciones de grabación y difusión de pequeños espectáculos musicales en casa, muy usado por guitarristas y aficionados en general. Normalmente se acoplan a la PC por puerto USB por lo que es posible disponer de una aplicación para implementar la pila de protocolos RTP/UDP/IP sugerida en la Variante 5a vista anteriormente.

Las Interfaces de audio comerciales de este tipo más vendidas en el mundo pertenecen a la Serie de Focusrite-Scarlet [28]. Esta interfaz cuenta con una gama amplia de entradas/salidas que van desde 1/1 hasta 18/20 y precios entre 140 y 420 Euros aproximadamente. Este tipo de interfaz no requiere de señalización por lo cual se simplifica el proceso de diseño y está acorde con los lineamientos identificados a partir del estudio de la documentación de los equipos megaplex.

Sin embargo hay que tener en cuenta que requieren de disponer en la PC de un software de aplicación para grabación y reproducción, existiendo en el mercado diferentes compañías que lo proporcionan como son Ableton Live, Reaper, Cubase, Nuendo, Cakewalk, etc., todos denominados de modo general como software DAW por las siglas en inglés de Estación Digital de Trabajo (Digital Audio Workstation). Tales aplicaciones DAW corren en la PC que completa sus posibilidades a través de las interfase descriptas arriba, conformándose entre PC, software DAW e Interfaz de Audio, todo un estudio de audio que puede operar en casa

La necesidad del software de grabación surge porque la interfaz de audio resuelve directamente el problema de la transmisión de los canales de audio, pero no así tan directamente la recepción, pues dicha interfaz no posee normalmente entradas digitales. Esto es posible a través de una configuración apropiada del tipo de software de grabación que se adquiera, algunos de ellos incluso libres de costo. De esta manera lo que se recibe por el puerto ethernet de la PC se transmite, via puerto USB, a la Interfaz de Audio y ésta lo encamina hacia los conversores Digital /Analógico; de ahí se hace llegar a la salida de parlantes donde se monitorea normalmente la grabación. Estas salidas van a constituir, en la aplicación propuesta, los puntos de recepción de audio del sistema.

Obsérvese que estas interfaces difieren de las que se describen en la Variante 4, basadas en protocolos de AoIP. De hecho son más sencillas y por tanto permiten una reducción del costo, simplificando a su vez el proceso de diseño e implementación, pues prácticamente conduce a una solución basada en software, muy apropiada en el contexto del proyecto en cuestión.

En la Fig. 3 se muestra el esquema de transmisión y recepción de los canales de audio (voz) "intersite" utilizando una Interfaz de Audio, modelo 2i2 (2 entradas/2 salidas). El audio a transmitir se acopla a las entradas, representadas en la figura por los conectores asociados a los símbolos de guitarra y micrófono; los mismos se ajustarían como "LINE". Por su parte, los canales recibidos del extremo distante estarían presentes en las salidas simbolizadas como parlantes.

El sistema, propio para un sitio, maneja en este caso 2 entradas/ 2 salidas de audio que se acoplan a la red IP a través del puerto ethernet de la PC representada en la figura citada como una portátil. La implementación del protocolo IP en la PC puede agilizarse utilizando el paquete de programas LabView el cual posee un bloque virtual que emula la función de Ethernet.

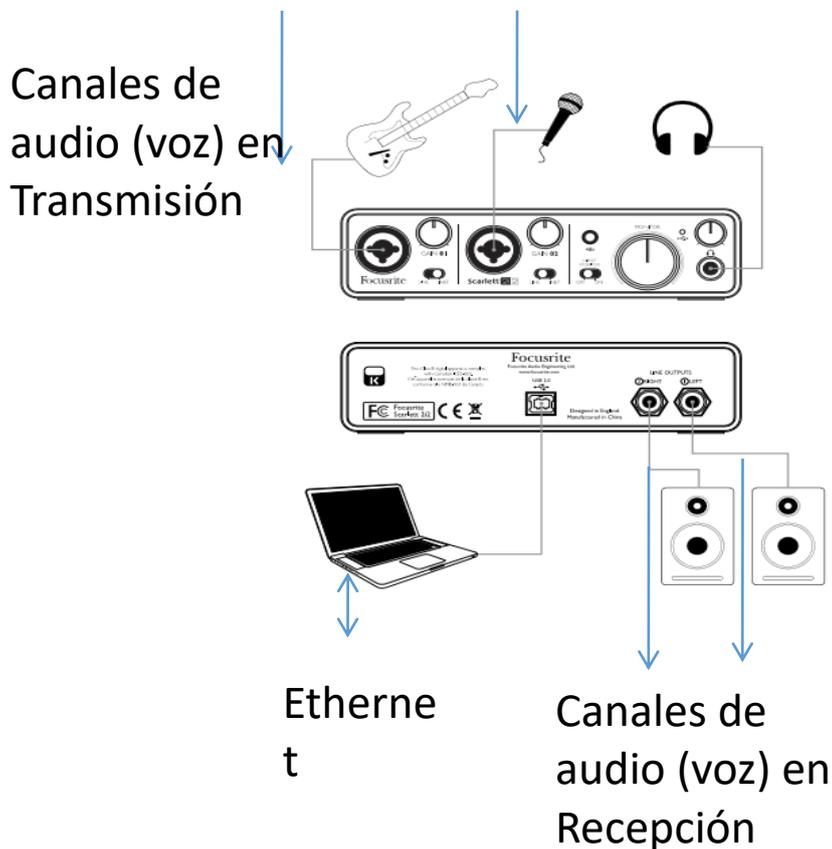


Figura 3: Esquema de Transmisión/Recepción para los canales de audio utilizando la Interfaz de Audio Focusrite 2i2 y una PC [29] .

3. BREVE ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.

Las variantes propuestas son de interés en los siguientes escenarios:

- Operadores que se hayan trazado estrategias de desarrollo que no dependan de un solo suministrador.
- Limitaciones comerciales como es el caso de Cuba, sometida a situaciones de bloqueo.

ALTERNATIVAS PARA EL TRANSPORTE DE SEÑALES DE AUDIO A TRAVÉS DE REDES IP EN EL ESCENARIO DEL SISTEMA DE RADIO TRONCALIZADO MPT-1327

- Pequeñas y medianas empresas (PYMES) dedicadas a la electrónica que deseen incrementar su gama de productos en el mercado, por ejemplo incursionar en el campo del audio sobre IP (AoIP).

En la comparación de las variantes un aspecto a tener en cuenta es la presencia en el país de determinados suministradores. Este es el caso de Cuba cuyos nexos con la empresa Huawei de la República Popular China datan de principios de los 2000, con soporte técnico y comercial, así como penetración importante en la red de telecomunicaciones. Esto garantiza una disponibilidad de equipamiento cuya adquisición se facilita lo cual es válido para las plataformas de acceso MA 5612/16 y los IAD, ambas explicadas en la sección 2 de este reporte .

De aquí que para Cuba el orden de prioridad de las soluciones consideradas puede ser la variante comercial V2, que propone MA 5612 y/o IAD de Huawei y sustituye los Megaplex. Le sigue la V4, una variante comercial con una línea alternativa a través de las tecnologías de AoIP. En tercer lugar, las variantes híbridas que son un compromiso entre un diseño totalmente personalizado y la introducción de equipo comercial.

El inconveniente de un desarrollo totalmente propio es básicamente el tiempo que puede requerir un proyecto de investigación de este tipo, el cual comprende el diseño, la adquisición de materiales y componentes, así como la puesta a punto de los prototipos que culminen en un producto final. Debe tomarse en cuenta, además, que hay que identificar el grupo o entidad que posea condiciones y disposición de emprender un trabajo de esta naturaleza.

A continuación, en la Tabla 3, se ofrece una comparativa de las variantes propuestas tomando en consideración diferentes aspectos como son costo, facilidad de adquisición y tiempo de desarrollo. Si se complementa la información de esta Tabla con elementos tales como soberanía tecnológica, independencia de otros operadores así como fiabilidad y facilidad de gestión, se obtiene que las alternativas más favorables apuntan hacia las Variantes V2 (VoIP) , V4 (AoIP), V5c (Desarrollo propio basado en software libre Arduino) y V7 (Híbrida basada en la interfaz de audio Focusrite). Sin embargo si se da el mayor peso a la soberanía tecnológica, dada la independencia que se adquiere en el país a partir de un desarrollo propio, la mejor opción es la Variante 5c, basada en hardware libre Arduino, la cual desde luego debe ser sometida posteriormente a un estudio de factibilidad más profundo.

Se recomienda también la vinculación con las universidades y centros de investigaciones del país para ampliar el estudio y análisis de las variantes propuestas. Esto permitiría el posible desarrollo personalizado de un producto en cuestión lo cual tendría un impacto importante en lo concerniente a la soberanía tecnológica, mencionada en el párrafo anterior.

Tabla 3: Comparativa de las Variantes propuestas

Variante	Tipo	Costo en USD	Facilidad de Adquisición Comercial	Tiempo de Puesta en Marcha/Desarrollo	Observaciones
V1, V2	Comercial Plataformas de Acceso	MA5612: 500 a 1000 \$/sitio según configuración IAD: 132E 16 puertos 360.34 \$ como referencia.(Tomado de www.99.geo.com) 200 a 500 \$/sitio	Alta, (disponible en mercado cubano por la presencia de Huawei como suministrador)	6 meses	V1 para pruebas y solución parcial. V2 sustituye los Megaplex, pero hay que ver conexión permanente y dependencia de operación de las Pasarelas de Control .(Softswitch).
V3	Comercial VoIP	40\$ por teléfono IP del tipo GXP 1610 de Grandstream.	Media	6 meses	Una alternativa que gana en fiabilidad es extraer las tarjetas de procesamiento de cada teléfono e instalarlas sobre un

		(320.00\$/Pack de 6 canales audio y 2 de control)/Sitio			mismo chasis (Pack). Sería una Variante Híbrida.
V4	Comercial AoIP	Attero Tech UmDio (2X2, 4X4, 8X8) : 500 \$/Sitio	A explorar el mercado.	3 meses	No depende de protocolos de Telefonía ni de terceros operadores
V5	Desarrollo Propio	V5a. Interfaz Audio: \$700/Sitio (Componentes e impreso +PC). V5b. FPGA: 1700 \$/Sitio (Si se adquiere un Kit de desarrollo, además de la Interfaz Audio) V5.c. Arduino: 200 \$/Sitio (Placas +Shield Ethernet)	A explorar en : Mercado Libre Mexicano, Amazon, Europa. Compras vía Internet	18 meses	La Variante 5c con Arduino es la menos costosa, incluso usando dos placas Arduino Due por Sitio. No se ha considerado el costo del Proyecto en salario y otros gastos.
V6, V7	Híbridas	V6. Tarjeta Mux E1: 50 a 100 \$ /Sitio (Precio del MA 5612 no incluido). En la practica, la instalación del MA5612 en sitios y Nodo central, encarece la solución. V7.Interfaz Focusrite: 140 a 400 \$/Sitio (Costo de PC no incluido)	A explorar el mercado. Para V7, ver Distribuidores México, Amazon, etc. (Se anuncian facilidades de envío a Cuba)	12 meses V7 puede reducir el tiempo de puesta a punto, pues es sólo implementación y desarrollo de software en PC.	V6: Mux E1 +Ma5612 Puerto E1 V7: Interfaz Audio +PC + Software DAW + Software pila de protocolos RTP/UDP/IP/Ethernet que puede ser sobre LabView.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo se han identificado siete alternativas diferentes, denominadas Variantes, propuestas como posibles soluciones al problema planteado y clasificándose las mismas en tres grupos: Comerciales, de Desarrollo propio (personalizadas) e Híbridas, siendo estas últimas una combinación de las dos primeras. Se distinguen también sub variantes basadas en tecnologías de TDMoIP, VoIP y AoIP y se dan recomendaciones a seguir en el escenario cubano. Las alternativas de desarrollo personalizadas e híbridas son de especial interés en estrategias que busquen soberanía tecnológica y posible sustitución de importaciones. Puede considerarse que se ha probado la hipótesis de partida basada en el estudio de la plataforma Megaplex de la cual se obtuvieron las premisas y líneas a seguir para la presente investigación.

ALTERNATIVAS PARA EL TRANSPORTE DE SEÑALES DE AUDIO A TRAVÉS DE REDES IP EN EL ESCENARIO DEL SISTEMA DE RADIO TRONCALIZADO MPT-1327

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dirección de la empresa Movitel (Comunicaciones Móviles) por su apoyo en la realización del presente estudio, facilitando la información técnica al respecto, así como dando sugerencias y orientaciones para su culminación.

REFERENCIAS

- [1] Benítez Torres F, «Análisis comparativo entre el estándar analógico MPT-1327 y el estándar digital Tetra», Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador, 2009.
- [2] RAD Data Communications. *Megaplex-2100/2104 with CL.2 Common Logic Modular E1/T1 Integrating Access Device Installation and Operation Manual*. Publication No. 764-202-07/01, 2001.
- [3] RAD Data Communications. *Megaplex-2100/2104. Modular Integrated Access Multiplexers Version 12.6 Installation and Operation Manual*. (Cap2,3 and Appendix E.5 TDMoIPEnvironment), 2006.
- [4] blog.davantel.com. *Introducción a la tecnología TDM*.
- [5] RAD Data Communications. *Megaplex-4100/4104. Next Generation Multiservice Access Nodes*. www.rad.com, 2018.
- [6] CIE Telemática. *Megaplex 4 is finally NFV ready*, 2020. <https://cietelematica.com>
- [7] Pulse Supply. *Megaplex-4- Next Generation Multi-Service Access Nodes*. RAD Telecom, 2021. <https://www.pulsupply.com>
- [8] Peña Silva Jennifer, «Propuesta de Prácticas de Laboratorio vinculadas a las Redes de Acceso para la asignatura de Redes III», CUJAE. La Habana, Cuba. 2019.
- [9] Huawei Technologies Co., Ltd. *Huawei SmartAX MA561X Series*. <https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1000107059>.
- [10] Huawei Technologies Co., Ltd. *Huawei Integrated Access Devices -IAD*.
- [11] Consultas privadas. Plataforma MA 5612. Especialistas Huawei y ETECSA, 2020.
- [12] Sitio Grandstream: www.grandstream.com
- [13]. Asterisk. Sitio Asterisk: www.asterisk.org
- [14] Grupo CIE. "What's the difference between VoIP and AoIP". (cie-group.com)
- [15] Diego Sánchez de León, «Diseño del sistema de audio para una sala de fiestas genérica», Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación. Campus Sur. Universidad Politécnica de Madrid, 2017.
- [16] Antonio Gutiérrez Remondo, «Integración Protocolo AoIP Dante en el Sistema de Producción de Audio Digital de una Emisora de Radio», ETSIS TELECOMUNICACION. España.
- [17] Vicente Ponce Moreno, «Diseño e instalación del sistema de sonorización sobre cableado estructurado del Biopar», Universidad Politécnica de Valencia y Escuela Politécnica Superior de Gandía, 2012.
- [18] d&bAudiotechnik. *TI 317 1.1es, Red de Audio Dante*. Alemania.
- [19] Premium numbers. *Manual de Uso Gradstream GXP 1610*. Soluciones Globales en Telecomunicaciones. Grandstream. Oficinas Valencia/Madrid. www.premiumnumbers.es
- [20] Yamaha Corporation. *I/O Rack Rio 3224-D y Rio 1608-D*. Manual de Instrucciones, 2012 <http://www.yamahaproaudio.com/>
- [21] Marín, V., Yáñez, R et al. «Interfaz Digital de Abonados», Revista Ingeniería Eléctrica Automática y Comunicaciones. [En línea]. Vol. XXVII No. 1. Disponible en: www.cujae.edu.cu/ediciones/RElectronica.asp, 2007).
- [22] Omar J. Abreu González, Víctor Marín Contreras, René Yáñez de la Rivera, «Implementación de una Plataforma de Conmutación Telefónica en Lógica Programable», Revista Cubana de Ingeniería (RCI), 2009.
- [23] Víctor Marín Contreras, René Yáñez de la Rivera, Mario García Montoya, Nelía R. León González, «Implementación de los protocolos de comunicación para VoIP: RTP/RTCP sobre FPGA de Altera», Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones (RIELAC). ISSN 1815 5928. CUJAE, 2014.
- [24] Torrente Artero Oscar. *Arduino: Curso práctico de formación*. Primera Edición Alfa omega Grupo Editor, S.A. de C.V., México ISBN: 978-607-707-648-3, 2013.
- [25] Willem Maes. «Howto make an Arduino fast enough to...». May 2018. <http://www.optiloading.be>
- [26] Stefano Fasciani Manohar Vohra, «Towards a High-Performance Platform for Sonic Interaction Interfaces». Proceedings of the 16th Sound & Music Computing Conference ISBN 978-84-09-08518-7, 2019.
- [27] Sergio Sandoval Reyes, Arturo Hernández Balderas, «TRANSMISIÓN-RECEPCIÓN DE AUDIO VÍA LUZ VISIBLE», Pistas Educativas No. 128 (SENIE 2017), febrero 2018, México, Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- [28] Focusrite. www.focusrite.com ó <https://focusrite.com>
- [29] Focusrite. *Guía de usuario de Sacarlet 2i2*. www.focusrite.com, 2011.

[30] Network Working Group. Request for Comments. RFC 5087. 2007.

SOBRE LOS AUTORES

Rene Yáñez de la Rivera: Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica. Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular a cargo de las asignaturas "Sistemas de Transmisión" y "Redes de Telecomunicaciones III", Metodólogo de Investigación del Centro de Estudio de Telecomunicaciones e Informática (CETI), Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". CUJAE. No. ORCID: 0000-0002-4045-4512

Brian Jofre de Villegas Biosca: Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica. Dirección de Gestión de Red e Inversiones de Movitel. No. ORCID: 0000-0003-3160-8492

Julio A. Alpizar Aguiar: Técnico en Telecomunicaciones y Electrónica. Especialista General de Movitel. No. ORCID: 0000-0002-7525-6989.

CONFLICTO DE INTERESES

No existen conflictos de intereses ni de los autores ni de las instituciones a las cuales pertenece en relación al contenido del artículo aquí reflejado.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES.

- Rene Yáñez de la Rivera: 60% (conceptualización, preparación, creación y desarrollo del artículo).
- Brian Jofre de Villegas: 20% (orientación técnica del funcionamiento del sistema MPT-1327, identificación de la situación problemática).
- Julio A. Alpizar Aguiar: 20% (contribución a la idea y sugerencias acertadas).

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

