



UNDÉCIMO ENCUENTRO REGIONAL
IBEROAMERICANO DEL CIGRÉ – XI ERIAC

COMITÉ NACIONAL PARAGUAYO DEL CIGRÉ
22 al 26 de mayo 2005 – Hernandarias – Paraguay

MIGRACIÓN DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES ANALÓGICA A OTRA DIGITAL, DE MODO GRADUAL Y ECONÓMICO.

INGS. R. E. GÓMEZ Y F.O. ROIZEN

ENTE PROVINCIAL DE ENERGÍA DEL NEUQUÉN. (EPEN)

Argentina

RESUMEN

Este artículo presenta un panorama de la implementación de una red digital para el transporte de información propia de una red eléctrica, a partir de una red analógica existente, en forma gradual y económica. Se trata de un proyecto en plena ejecución al momento de la confección de este artículo, y se informará sobre cómo se decidió la realización del mismo, la elección del protocolo, los tipos de enlaces, la comparación entre los servicios y capacidades previas y posteriores, así como graduación de las inversiones.

El trabajo espera ayudar al planeamiento y proyecto de redes de información de las empresas de energía, ilustrando sobre cómo incorporar las posibilidades de las nuevas tecnologías para lograr más y mejores servicios, así como mayor confiabilidad.

PALABRAS CLAVE

Telecomunicación – Redes WAN – Frame Relay – Teleoperación – Transmisión de Datos – Red Digital

1- Introducción

El Ente Provincial de Energía del Neuquén, (EPEN) es una empresa de transporte y distribución de energía eléctrica de propiedad pública, con jurisdicción en la Provincia del Neuquén, ubicada en la Patagonia de la República Argentina, cuyo Directorio y Organos de Control son compartidos entre representantes elegidos unos por el Poder Ejecutivo Provincial y otros en forma directa por los empleados del Ente.

Como la mayoría de las empresas de transporte de energía eléctrica de su porte, el EPEN posee una red privada de telecomunicaciones con la cual satisface los siguientes servicios, en orden de importancia:

- diálogo entre protecciones eléctricas, mediante equipos de teleprotección y enlaces.
- transporte de las señales del Sistema de Operación en Tiempo Real (SOTR), que provee la adquisición de datos en tiempo real necesaria para la supervisión del Sistema Eléctrico Interconectado Provincial (SIP) así como su telecomando, e incluye como subconjunto las señales propias del Mercado Eléctrico Mayorista Argentino (MEM) exigidas para la explotación del Sistema Interconectado Nacional (SIN).
- conmutación de señales del sistema de Medición de Energía Comercial (SMEC), también exigible en el ámbito del MEM. El SMEC comprende un ordenador centralizado que interroga diariamente a una red de unidades remotas que registran el consumo de energía de grandes clientes. La interrogación se realiza vía telefonía conmutada sobre una red privada y también utilizando la red de telefonía conmutada pública (RTCP).
- telefonía privada de operación y mantenimiento (PAX), que comprende el tráfico telefónico y FAX exclusivos para operación y mantenimiento del Sistema Eléctrico Provincial (SEP), y adicionalmente satisface tráfico de área de gestión y administración.

El EPEN ha venido ejecutando un proyecto tendiente a proveer mayor capacidad y confiabilidad a estos servicios precedentes. Para aumentar la capacidad de tráfico ha incorporado cinco enlaces del tipo Onda portadora sobre Líneas de Alta Tensión (OPLAT), digitales de 64 kbps de capacidad máxima, así como reemplazado radioenlaces de 2Mbps y multicanales analógicos por otros de 4 x 2Mbps. Además ha convertido 18 enlaces OPLAT analógicos en vínculos digitales incorporándoles modems en cada extremo, logrando velocidades entre 14,4 kbps y 28,8 kbps, reaprovechando así los mismos. Igualmente se ha

procedido con algunos canales de multiplex analógicos. Se logra así migrar un importante capital de enlaces disponibles de analógico a digital.

En todos los casos se ha cuidado la compatibilidad con los equipos de tele protección (TP) preexistentes. Los enlaces OPLAT digitales cuentan con módulos TP incorporados que dialogan por fuera de la trama digital (son analógicos), resultando así inmunes a las eventuales pérdidas de sincronismo o tasa de error elevadas en el canal principal.

En cuanto a la conmutación de voz y datos se ha implementado una red bajo protocolo Frame Relay (FR), que es lo que con mayor detalle se describe en este artículo.

2- Problemática de la disponibilidad de servicios.

Antes de la ejecución del proyecto la red PAX estaba constituida por centrales de tránsito de baja capacidad, de tecnología electrónica con conmutación por división del tiempo de señal discreta (PAM), vinculadas por enlaces analógicos o digitales con interfaz de canal analógica. Los enlaces existentes son de radio (RE) y OPLAT.

El SOTR se apoyaba en la misma red de enlaces privados con transmisión de señal mayoritariamente analógica, aun sobre los enlaces digitales, salvo donde se contaba con vinculación digital extremo a extremo, utilizándose transmisión digital. En pocos casos se utilizan enlaces vía satélite alquilados.

Los equipos SCADA que conforman el SOTR y el sistema de transporte de la información del mismo deben satisfacer en conjunto una disponibilidad anual requerida del 99,5 %.

De lo contrario las empresas son penalizadas económicamente, lo cual obliga a mantener una alta disponibilidad de cada uno de los elementos del sistema de control y telecomunicaciones.

La disponibilidad de los equipos electrónicos que proveen los servicios PAX, SMEC y SOTR, con adecuado mantenimiento preventivo, es satisfactoria dado que los mismos han sido rigurosamente especificados y controlados en tal sentido.

Para lograr alta disponibilidad de los equipos del SOTR y de Telecomunicaciones se cuenta con soluciones variadas, como redundancia de equipos con reemplazo manual (reserva fría); redundancia de equipos con reemplazo automático (reserva caliente); y adecuado lote de repuestos modulares para rápido recambio.

Pero esto no es suficiente, dado que la mayor causa de indisponibilidad de servicios radica en la indisponibilidad de los vínculos de telecomunicaciones, que están naturalmente expuestos a fallas permanentes o transitorias.

En lo que hace a los vínculos por OPLAT, por ejemplo, los transitorios de la línea provocan ruidos temporarios de gran intensidad. Y las descargas de un aislador defectuoso pueden provocar tanta potencia de ruido de radiofrecuencia que degrade notablemente la señal. Menos frecuente pero no por ello imposible es la caída de una línea, con degradación parcial o total de la señal.

Otro ejemplo lo constituyen las descargas atmosféricas que provocan fallas permanentes en los sistemas irradiantes de los RE, e incluso interferencias de terceros que usurpan frecuencias sin autorización. Además, sin involucrar al vínculo completo, suelen presentarse fallas a nivel de canal en vínculos multicanales que dejan afuera algún servicio en particular.

Si bien el EPEN cuenta con redundancia de vínculos de telecomunicaciones para los enlaces principales, el reemplazo del vínculo dañado por el nuevo no se efectúa en forma automática. Ante una avería resulta necesario disponer de personal idóneo en sitio para migrar los servicios a otro canal u otro vínculo, con las demoras que implica ubicar al personal de guardia, trasladarlo a sitio y efectuar la tarea, la que a veces sufre demoras adicionales por no disponer a distancia de la información necesaria para un diagnóstico de falla certero y no haberse llevado a sitio todos los elementos que hubieran sido necesarios.

3- Soluciones a la problemática de la disponibilidad

El objetivo principal perseguido es garantizar una disponibilidad de vínculos del 100% para condiciones de falla de la red de carácter no masivo, a costos mínimos razonables. Para alcanzar este objetivo se partió de las siguientes condiciones de contorno:

- utilizar tecnologías de telecomunicaciones suficientemente probadas, que además signifiquen una modernización de la red de telecomunicaciones existente de cara al paulatino crecimiento en capacidad y calidad de servicio.
- Aprovechar al máximo conveniente el equipamiento existente, de modo de minimizar las inversiones iniciales.
- utilizar los mejores estándares de mercado aplicables, que tengan proyección de futuro en cuanto a disponibilidad de equipos, soluciones y servicios.

Como resultado de la consideración de los objetivos y condiciones de borde, se determinó la necesidad de establecer una **Red Digital de Transporte (RDT)** para las señales de telecomunicaciones operativas, que comenzara soportando los servicios esenciales y paulatinamente fuera integrando los servicios restantes, conforme a un programa de inversiones pautadas bajo resultado de la ecuación costo-beneficio.

En una primera instancia se da soporte a los servicios más críticos, SOTR y PAX, dejando para más adelante

otros como los de la Red de Gestión Comercial y telefonía / fax de la administración central. No obstante ya en la primera etapa la RDT interconectará tres redes LAN de la Intranet corporativa. Todo ello sin comprometer el funcionamiento de las Teleprotecciones (TP).

A futuro se procurará su integración con el servicio móvil (red VHF simplex), cuando éste migre o se adapte a una versión digital. También las señales del sistema SMEC, puesto que el tránsito digital de las mismas a través de la RDT no aumentaría sus prestaciones actuales.

4 - Especificaciones técnicas generales

4.1- Tipo de red y normas de aplicación.

La RDT en implementación es del tipo de área extendida (wide area network = WAN). Permite la integración de Voz y Datos con alta confiabilidad y disponibilidad, operando bajo el protocolo de retransmisión de tramas conocido como Frame Relay (FR) y siendo de aplicación la mayoría de las especificaciones ANSI y del Frame Relay Forum.

La elección del protocolo FR en lugar del popular IP se ha hecho principalmente en base a lo siguiente:

- FR gasta un 50% menos de bits propios para su funcionamiento (*overhead*) que IP. En una red cuyos enlaces mayoritariamente poseen anchos de banda reducidos (14,4 a 64 kbps) esto implica un rendimiento de tráfico bastante mayor, sobre todo para la telefonía.
- siendo los enlaces de propiedad de la compañía se puede garantizar la calidad mínima necesaria para un descarte de tramas reducido.
- FR es una tecnología ampliamente madura, probada y difundida, con gran cantidad y variedad de dispositivos de adaptación de interconexión, a bajo costo.

La red está entonces conformada por nodos denominados de aquí en más **nodos FR**, enlazados entre sí conformando una topología del tipo malla-estrella.

4.2- Ubicación geográfica

La RDT tiene situados sus nodos en distintas Estaciones Transformadoras (ET) y oficinas de propiedad del EPEN, e interconecta a otras ET que poseen o poseerán distinto equipamiento como filtros analógicos de voz y datos, multiplexores analógicos y digitales, pero aun sin capacidad de conmutación ni protocolo FR. Estos totalizan los 24 emplazamientos que se muestran más adelante. Todos ellos situados dentro del territorio de la Provincia de Neuquén, República Argentina, a distancias que oscilan entre los 8 y 250 Km de la ciudad de Neuquén Capital.

5- Especificaciones técnicas de la RDT

La RDT debe proveer transporte fiable y tolerante a fallas para las señales de los distintos servicios. Los

nodos FR son administradores de ancho de banda que integran en forma modular en una misma unidad las funciones de digitalización / compresión de voz ensamblado / desensamblado de tramas (FRAD), multiplexado, y conmutación.

5.1- Tratamiento particular de las señales

5.1.1- Señales telefónicas en banda vocal

La RDT las transmite comprimidas a 6.4 kbps, siendo moduladas y demoduladas sólo en los nodos correspondientes, manteniendo así la calidad. Ya que la conmutación de tránsito estará a cargo de los nodos FR, las centrales telefónicas no necesitan mantener esa capacidad, siendo posible reemplazarlas por PABX comunes.

5.1.2- Señales de datos

Las Unidades Terminales Remotas (UTR) correspondientes al SOTR se conectarán a la RDT con dos canales de datos asíncronos idénticos, principal y respaldo, de modo que sólo uno a la vez proporcionará tráfico, estando cada uno asociado a un enlace lógico virtual (DLCI) diferente. Los nodos FR permiten conmutar automáticamente en pocos milisegundos hacia un DLCI de respaldo ante la caída del principal.

5.1.3- Señales de red LAN

La RDT dará interconexión a las redes LAN de dos Centros de Control con la red corporativa (Intranet) del EPEN. En cada caso se trata de redes bajo protocolo Ethernet, medio físico 100BaseT, que acometerán a través de enrutadores (routers) de modo de filtrar el tráfico.

5.2- Servicios y características particulares de los nodos FR.

Además de los comúnmente esperados, los nodos FR deben asegurar la provisión de los servicios y características siguientes:

- detección automática, ensamblado y desensamblado, y transmisión por técnica de demodulación y repetición de señales de fax Grupo III en tramas Frame Relay.
- ensamblado y desensamblado de señales de datos síncronas de velocidad y protocolo seleccionable. (FR, HDLC, X.25, asíncrono, transparente y otros).
- multiplexado de las tramas FR provenientes de varios puertos de entrada para su transmisión por un mismo puerto de salida.
- asignación de diferentes prioridades de transmisión para cada puerto de señal.
- asignación flexible de puertos de entrada y salida.
- gestión de tráfico: CIR, EIR ajustables.
- soporte para amplia variedad de interfaces de canal telefónico: FXS, FXO, E&M, E1/T1 CAS,BRI, S0, y más.
- reenrutamiento automático por canal de respaldo ante fallo del canal principal, definible para cada DLCI.
- ancho de banda ajustable sobre demanda mediante técnica de derivación de tráfico administrable por haz de enlaces.

- compatibilidad electromagnética adecuada al ambiente de trabajo.
- segmentación de tramas largas en tamaño ajustable para permitir la transmisión fluida de las tramas de voz.
- funcionamiento multidistribución de doble vía (two way multicast) conforme a FRF.7
- variedad de funciones para diagnóstico de fallas, incluyendo lazos de realimentación locales y remotos e inyección de tonos de prueba para canales de voz.

5.3- Especificaciones para el funcionamiento de la RDT

5.3.1- Estimaciones del tráfico de Datos (RTU y LAN)

El tráfico permanente principal de datos en la red es debido al diálogo entre las RTUs y el Centro Maestro del SCADA. Este sufre variaciones cuando ocurren cambios importantes en la red eléctrica, produciéndose avalancha de alarmas y cambios de estado.

La velocidad promedio de operación de las UTR es de 1200 bps con un promedio de ocupación del canal del 44%, lo que arroja un promedio para un 100% de ocupación de 525 bps. En sentido Estación Maestra → RTUs el tráfico es aun menor, con un promedio para el 100% del tiempo de 120 bps.

El protocolo utilizado por el SCADA provee corrección de errores mediante Código de Redundancia Cíclica (CRC) y recuperación mediante Requerimiento de Repetición Automático (ARQ), por lo cual soportará sin problemas errores en el campo Info de las tramas e incluso el descarte de las mismas.

Sin bien el tráfico total generado por el SCADA es de menor cuantía que el generado por el resto de los servicios soportados por la RDT, requiere de la mayor disponibilidad de servicio.

El tráfico LAN se limita a la interconexión entre tres redes Ethernet. Dado que la interconexión se hará filtrada mediante routers el tráfico entre redes no será tan elevado, considerándose suficiente una velocidad de 384 a 512 kbps.

5.3.2- Estimaciones del tráfico de Voz

El tráfico de voz es por naturaleza aleatorio, por lo cual le cabe estimación estadística en base a las particulares aplicaciones del mismo. En este caso se trata de tráfico operativo y de mantenimiento, el cual es de baja

5.3.4- Programación de tráfico

Una vez establecida la composición del hardware de cada uno de los nodos se puede proyectar la programación de los mismos, atendiendo a la mejor gestión de tráfico.

En principio cabe verificar que cada nodo pueda satisfacer la *Demanda de tráfico local máximo simultáneo (DTLMS)* de modo que no se produzcan cuellos de botella en la red. Luego se verifica que en

intensidad comparado con el comercial o de administración. Salvo la conmutación de voz local, la restante tiene lugar en los nodos FR y no en las centrales PABX.

Algo similar ocurre con las señales de fax, que también viajan con formato digital desde el nodo fuente hasta el nodo destino, pero con la diferencia de que éstas son automáticamente detectadas y demoduladas (no convertidas).

La conmutación a cargo de los nodos FR trae aparejada la ventaja de que en las centrales PABX no resultan necesarias líneas troncales para tráfico pasante, por lo cual en general se reduce el número de las mismas ahorrando recursos de hardware, o bien se mantienen ganando capacidad de tráfico propio.

En función de todo lo precedente se fija el número de troncales de las centrales PABX conforme al tráfico no local máximo previsible de acuerdo al perfil de necesidades.

5.3.3- Control de fallos y congestión

La RDT provee tolerancia a fallos de comunicación, sean estos originados en los puertos de los nodos como en los enlaces. A este efecto se programan para cada DLCI una ruta de respaldo (DLCI backup) que será activada automáticamente por el nodo que detecte la detención de la transmisión. Las características deseadas para los nodos FR incluyen el monitoreo del puerto / enlace en falla de modo de retornar automáticamente a la programación de tráfico original una vez superado el fallo, para no producir sobrecargas innecesarias en el enlace de respaldo.

Los protocolos de alto nivel en uso no tienen capacidad de interpretación de los bits BECN/FECN. Por ello sobre los canales asíncronos el control de congestión se implementará utilizando la función interna de los nodos FR que permite comandar los hilos RST y DTR por medio de dichos bits (en caso que tal funcionalidad esté disponible).

Las tramas de datos de UTR no serán elegibles para descarte dada su importancia. Las tramas de voz sí lo serán, confiando en la capacidad de interpolación del cerebro humano.

cada nodo la *Capacidad Máxima de Tráfico Simultáneo (CMTS)* sea suficiente para atender la demanda con un margen adecuado.

Se debe cumplir que $CMTS > DTLMS$. El margen de tráfico restante es necesario para posibilitar el respaldo entre vínculos.

Seguidamente cabe estimar la *Distribución de Tráfico Promedio Esperada (DTPE)*, de modo de programar su gestión por parte de la RDT. Para esto se calcula en cada nodo la *Demanda de Tráfico local Corriente (DTLC)*, atendiendo a lo siguiente:

1. que no se produzcan cuellos de botella en la red
2. que el tráfico se distribuya de modo de cargar en porcentajes de uso lo más uniformemente posible los enlaces, guardando márgenes suficientes para sobrecargas.

El registro existente para todas las UTRs operando a velocidad de interfaz de 1200 bps indica que rara vez se ha requerido una *tasa* mayor a 1000 bps en situación de avalancha para mantener el refresco de datos cada 3 segundos, que es lo requerido. Adicionando los bits de servicio de la trama (estimados en un 20% del campo INFO) se obtiene que la tasa mínima que debe garantizar cada conexión es de 1200 bps. Dado que resulta conveniente aprovechar velocidades de interfaz mayores a efectos de permitir un periodo de refresco menor, o bien garantizar el periodo actual para cualquier condición de avalancha (incluyendo el encendido de la UTR), se fijará la Tasa de Información Comprometida (CIR) y la Tasa de Información en Exceso (EIR) como se muestra en la Tabla I.

TABLA I. PROGRAMACIÓN CIR Y EIR PARA LAS UTR

Velocidad de interfaz asíncrona	CIR sobre DLCI FR	EIR sobre DLCI FR
1200	1000	200
2400	1200	1200
4800	1200	1200
9600	1200	1200

Para las señales de voz la CIR resulta igual a la tasa de salida del convertidor / compresor más los bits de servicio de trama estimados para la voz (25%), es decir $6.4 \text{ kbps} + 25\% = 8 \text{ kbps}$, no pudiendo existir información en exceso.

Finalmente para las señales LAN se fija una velocidad de interfaz de 384 a 512 kbps, con un CIR de 256 a 384 kbps, con un EIR de 128 kbps. El overhead se estima en 20%, a sumar sobre estas velocidades.

En las Figuras 1. y 2. se muestra la *CTMS* por canal y la *DTPE*, esta última expresada tanto en bps como en flujo de señales.

Debe considerarse también que una vez en servicio la RDT hay un cambio en las actitudes de los usuarios, que realimenta la programación permanentemente así como la necesidad de dotar la red con recursos siempre crecientes.

6.- Gestión de la RDT (Management)

El puesto de gestión se ubica en la Sede Central, siendo un sistema basado en el protocolo simple de gestión de red (SNMP) que permite:

- administrar una estructura jerárquica de red y mapas en múltiples niveles de representación gráfica.
- detección automática de agentes SNMP en la red
- configuración total de cada unidad de la red en forma remota dentro de banda, con resguardo de copia local en el host.
- localización de fallas y diagnóstico
- supervisión directa de la red en línea, con representación de alarmas y eventos en forma gráfica y sonora, con registro en base de datos.
- funciones para diagnóstico: bucles, pruebas de BERT, mediciones de tráfico, etc.
- simulador para diseñar y ensayar configuraciones nuevas.
- estadísticas en tiempo real tabulares y gráficas sobre periodos programables, que puedan ser exportados en formatos compatibles con tablas de cálculo y/o procesadores de texto.

7- Conclusiones

La migración de la red analógica a la digital cumplirá con las condiciones de partida impuestas, trayendo los siguientes beneficios inmediatos a su implementación:

- confiabilidad de las comunicaciones por enrutamiento de respaldo automático ante fallas de canal principal.
- mayor cantidad de servicios simultáneos, ya que los canales analógicos que hoy sólo pueden transmitir una comunicación de voz a la vez luego podrán cursar desde dos hasta cuatro.
- incremento del tráfico privado con la consecuente disminución del uso de telefonía pública, con el ahorro que ello supone.
- reutilización de todos los equipos logrando el mínimo impacto económico para satisfacer las necesidades actuales.
- extensión de la vida útil de las centrales PAX dado que libera capacidades de enlace ya colmadas y provee repuestos para reserva fría o futuras ampliaciones.
- monitoreo total en tiempo real

Además presenta aspectos positivos para el mediano y largo plazo:

- gran flexibilidad para las variaciones de la topología y posibilidad del aumento gradual de la capacidad de transporte de información.
- adhesión a un estándar con gran variedad de proveedores en el mercado, lo que conlleva menores precios y ofertas tecnológicas de diferentes niveles así como disponibilidad de unidades para adquisición y/o reposición a largo plazo.

La optimización de la programación general del tráfico y parámetros propios del transporte de cada señal se debe ejecutar durante la puesta en marcha. Después se irán manteniendo optimizadas para satisfacer los cambios de comportamiento de los usuarios y los nuevos servicios que se incorporen.

8.- Bibliografía

Redes para Proceso Distribuido -
 García/Ferrando/Piattini
 Enciclopedia de Redes - Tom Sheldon
 Enlaces, Redes y Servicios - Roberto Ares
 Manual de productos RAD

MAXcess-3000/3004: Integrated Bandwidth Managers -
 Installation and Operation Manual

Referencias URL

www.frforum.com
www.rad.com
www.cisco.com

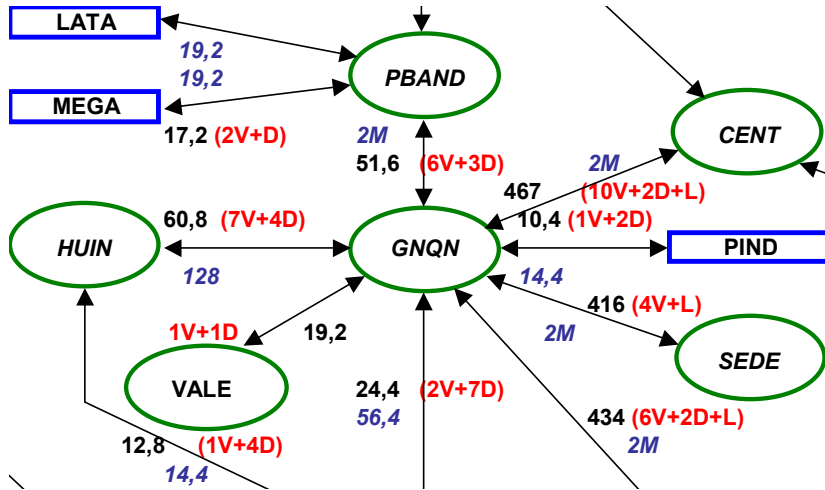


Fig 1. Distribución de tráfico promedio esperada en la RDT (detalle parcial)

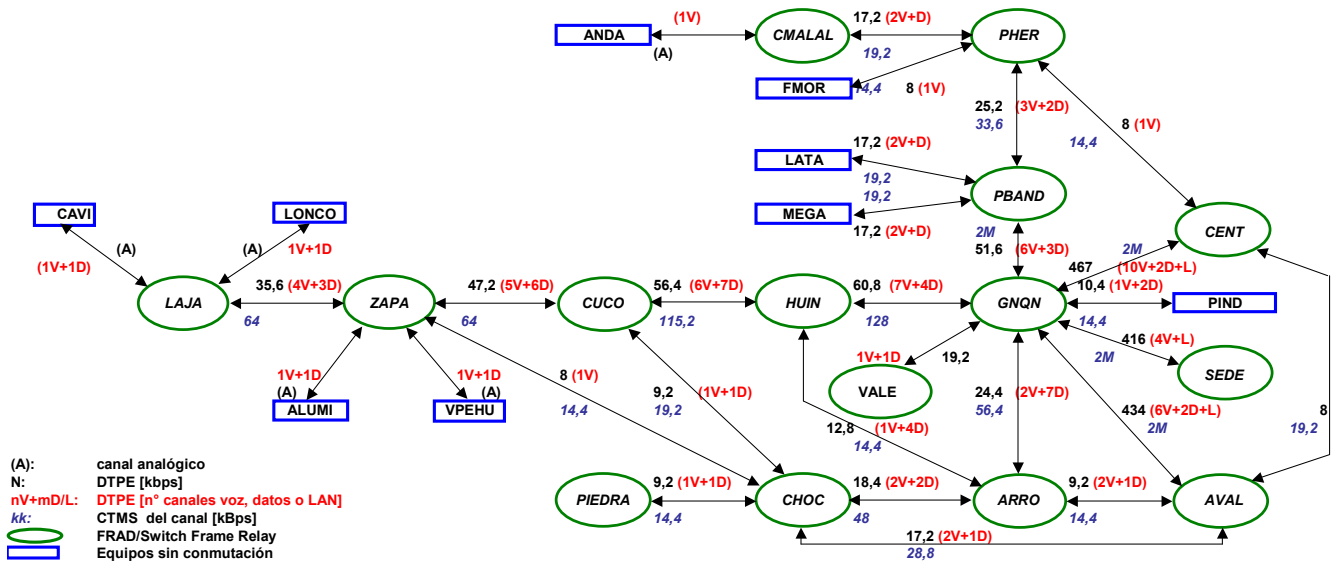


Fig 2. Distribución de tráfico promedio esperada en la RDT (DTPE total)