Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Ingeniería de una red de acceso IP/MPLS para brindar conectividad a internet a las instituciones de zonas rurales en la región Cusco

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones

Elaborado por

Luis Enrique Nuñez Herrera

0009-0008-3562-4653

Asesor

M.Sc. Ing. Alfredo Efraín Rodríguez Gutiérrez

0000-0001-6246-049X

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Nuñez Herrera [1]
Referencia/Reference Estilo/Style: IEEE (2020)	[1] L. Nuñez Herrera, "*Ingeniería de una Red de Acceso IP/MPLS para brindar acceso a Internet a las Instituciones de zonas rurales en la Región Cusco*" [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.

Citar/How to cite	(Nuñez, 2025)
Referencia/Reference Estilo/Style: APA (7ma ed.)	Nuñez, L. (2025). *Ingeniería de una Red de Acceso IP/MPLS para brindar acceso a Internet a las Instituciones de zonas rurales en la Región Cusco*. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.

Dedicatoria

En primer lugar, lo dedico a Dios, por proporcionarme la fortaleza y la fe para continuar con mi camino tanto personal como profesional.

A mi papá, que desde el cielo me cuida en cada paso que doy.

A mi mamá, por todo su amor, ejemplo y empuje a cumplir mis metas.

A mi hermana, por brindarme su respaldo en todo momento.

Y a mi pareja, por todo su cariño y por incentivarme a continuar avanzando siempre.

Agradecimientos

A la empresa M&N Multiservicios Generales que me permitió ser parte en la ejecución del proyecto.

Resumen

El presente trabajo describe la implementación de una red de Acceso basada en IP (*Internet Protocol*) y MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) con servicios en enrutadores para cumplir el objetivo final que es brindar el acceso en banda ancha a Internet a las instituciones rurales de la región de Cusco, en un total de 581 Instituciones Abonadas Obligatorias (IAO) definido por el Fondo de Inversión de Telecomunicaciones (Fitel); actualmente Programa Nacional de Telecomunicaciones (Pronatel), el cual es el ente del Estado Peruano encargado de la supervisión del Proyecto. Estas IAO están divididas en Colegios Estatales, Centros de Salud y Comisarías. Esta red IP/MPLS cumple con los estándares recomendados por los organismos internacionales de Telecomunicaciones, las buenas prácticas y los requerimientos establecidos dentro de las bases del proyecto; destacando el uso del protocolo *Point-to-Point Protocol over Ethernet* (PPPoE) para establecer la conexión desde el *Customer Premises Equipment* (CPE) de la IAO hasta el enrutador de Core que cumple la función de *Broadband Network Gateway* (BNG) y *Carrier-Grade NAT* (CGNAT), y así finalmente cada IAO pueda conectarse a Internet. Se deduce que, tras la implementación y funcionamiento de la red, se reducirá la brecha digital en la población rural, al tener acceso a información reciente, al utilizar las tecnologías emergentes y con un efecto beneficioso en el progreso a nivel social y económico de la zona.

Palabras clave — Red de acceso, redes regionales, acceso a internet, zonas rurales, IP, MPLS, IS-IS, LDP, BNG, PPPoE, disponibilidad de una red, velocidad de transferencia de datos, Pronatel

Abstract

The present work describes the implementation of an Access network based on IP (Internet Protocol) and MPLS (Multiprotocol Label Switching) with router services to achieve the final objective of providing broadband Internet access to rural institutions in the Cusco region, in a total of 581 Obligatory Subscriber Institutions (IAO) defined by the *Fondo de Inversión de Telecomunicaciones* (Fitel); currently the *Programa Nacional de Telecomunicaciones* (Pronatel), which is the Peruvian State entity in charge of supervising the Project. These IAOs are divided into State Schools, Health Centers and Police Stations. This IP/MPLS network complies with the standards recommended by international telecommunications organizations, good practices and the requirements established within the project bases; highlighting the use of the Point-to-Point Protocol over Ethernet (PPPoE) to establish the connection from the Customer Premises Equipment (CPE) of the IAO to the Core router that serves as Broadband Network Gateway (BNG) and Carrier-Grade NAT (CGNAT), and thus finally each IAO can connect to the Internet. It is deduced that, after the implementation and operation of the network, the digital divide in the rural population will be reduced, by having access to recent information, by using emerging technologies and with a beneficial effect on the social and economic progress of the area.

Keywords — Access Network, regional networks, internet access, rural areas, IP, MPLS, IS-IS, LDP, BNG, PPPoE, availability of a network, data transfer speed, Pronatel

Tabla de Contenido

Pág.

Lista de Tablas

Pág.

Lista de Figuras

Pág.

Introducción

Considerando que la deficiencia en el acceso a Internet ha incrementado la brecha digital entre los países desarrollados y los en vías de desarrollo, la tendencia en la utilización de internet por parte de los usuarios ya no consiste en pasar horas frente a un ordenador tras las clases o el trabajo, sino en mantenerse conectados en todo momento y beneficiarse de las amplias ventajas de tener acceso a la nube en tiempo real. El presente trabajo detalla los aspectos técnicos de una red de acceso IP/MPLS, que permita implementar servicios a fin de proveer acceso a internet en banda ancha a los colegios públicos primarios y secundarios, centros de salud y comisarías, de las zonas rurales de la región de Cusco.

En el capítulo I, se presenta el panorama que se tenía antes de la implementación de la red de acceso, mostrando la problemática que existía en esa región y cuál es el objetivo del proyecto para plantear la solución, que considera algunos antecedentes trabajados en otros proyectos tanto en el Perú como afuera.

En el capítulo II, se detallan el marco teórico que se utiliza en el proyecto y el marco conceptual que establece los conceptos concretos empleados durante la realización del trabajo.

En el capítulo III, se describe el equipamiento electrónico (enrutadores) elegido. Además, se detalla la estimación de la disponibilidad de la red. Por último, se muestra cada proceso que se ejecutó en las configuraciones de los enrutadores y las validaciones que se consideraron en el proyecto con el objetivo de demostrar que se cumplen los objetivos del proyecto.

En el capítulo IV, se analizan los resultados obtenidos, para luego llegar a las conclusiones donde se cumple con los objetivos trazados para el proyecto. Finalmente se encontrará recomendaciones para futuro proyecto con objetivos similares.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

El organismo especializado en telecomunicaciones “UIT” tiene como meta lo siguiente:

> Reducir la brecha digital con el fin de contar con una sociedad inclusiva y facilitar un acceso universal a la banda ancha, es una de las metas de la Agenda Conectar 2030 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) de las Naciones Unidas, organismo del cual el Perú es miembro y a cuyos acuerdos está suscrito. (Radio Programas del Perú, 2022, p.1)

La organización internacional más grande que existe actualmente “ONU” señala lo siguiente acerca del acceso a la red:

> El reconocimiento del acceso a internet como derecho humano después de que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) anunciara en 2016 que “las medidas para impedir o interrumpir intencionadamente el acceso o la difusión de información en línea (es) una violación de la legislación internacional sobre derechos humanos". Las Naciones Unidas señalaron, entonces, que el acceso a internet debía estar anclado en un enfoque basado en los derechos humanos, internet debía "ser abierto, accesible y alimentado por la participación de múltiples partes interesadas". (Mhlungu & Sánchez, 2022, p.1)

Por lo mencionado anteriormente, en el mundo y por su puesto aquí en el Perú, el acceso a Internet termina siendo muy importante para el día a día. Por ejemplo, desde el punto de vista de las localidades rurales beneficiarias tenemos lo siguiente:

- En el sector educación, el internet proporciona oportunidades de aprendizaje en línea accediendo a cursos en la nube o videoconferencias con expertos de diversos temas, que sería de ayuda para las escuelas rurales con recursos limitados.
- Para el sector de servicios de salud, la telemedicina se volverá más accesible en áreas rurales donde estos servicios son limitados. Los pacientes tienen la

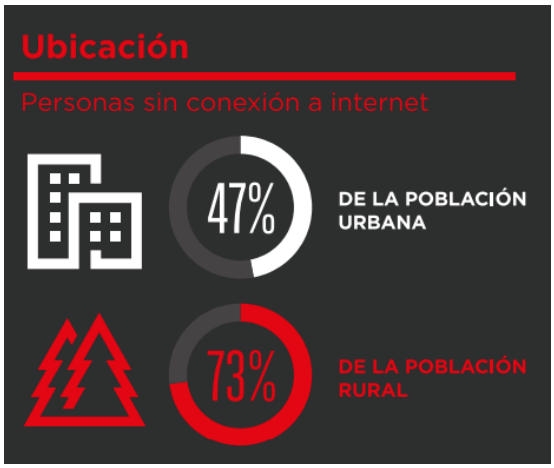
posibilidad de consultar a médicos en línea, obtener segundas opiniones y obtener información médica de gran relevancia.

- Para el caso del sector de la policía, permitiría estar actualizado en tiempo real a los hechos de seguridad ciudadana, subir la documentación de los casos a la nube y que las demás comisarías puedan acceder a ello de ser necesario.

Para el año 2014, la figura 1 nos indica que el 73% de la población rural peruana carecía de conexión a Internet, información obtenida del reporte "Inclusión digital en América Latina y el Caribe", elaborado por GSMA (*Groupe Speciale Mobile Association*) (*Groupe Speciale Mobile Association GSMA*, 2016, p. 63).

Figura 1

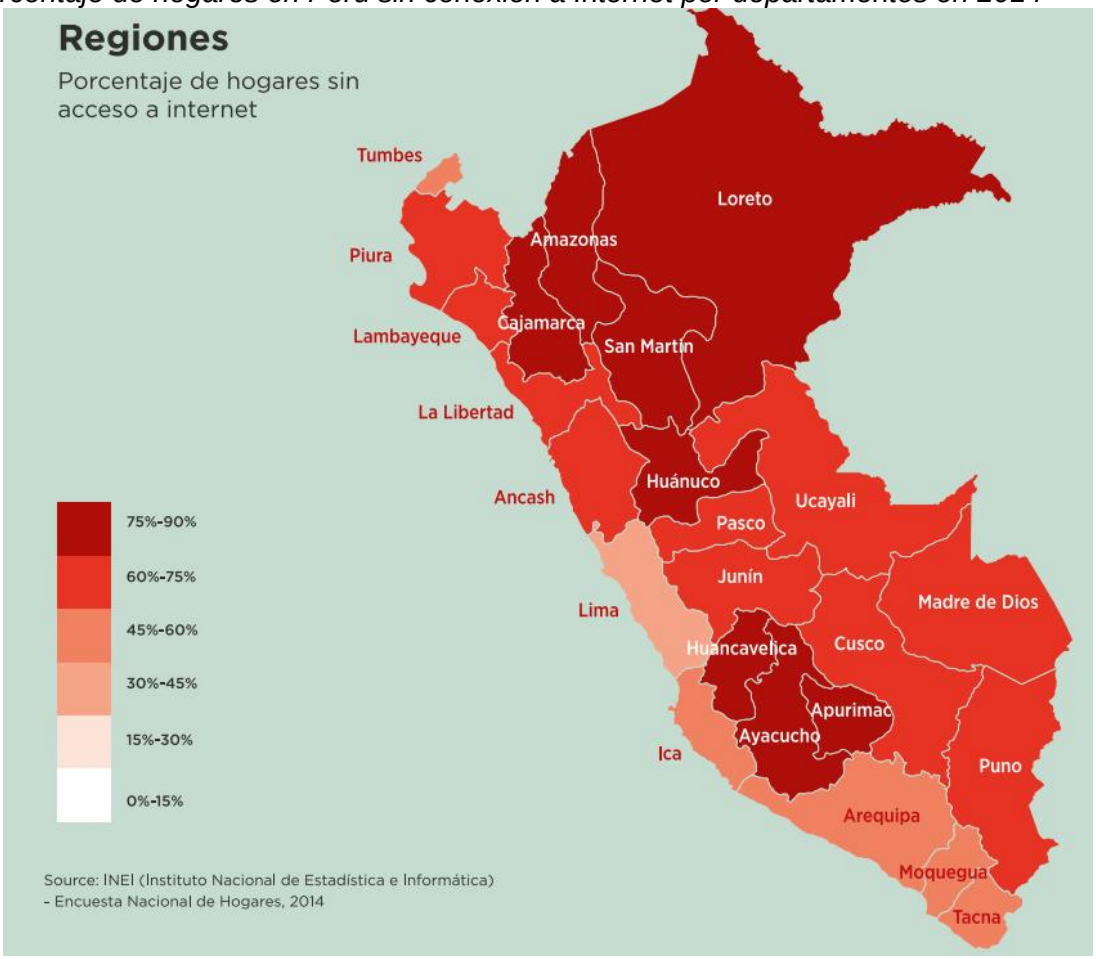
Porcentaje de viviendas sin conexión a internet en zonas urbanas y rurales en Perú en 2014



Este informe también presenta, tal como se puede apreciar en la figura 2, el porcentaje de viviendas sin conexión a internet por cada departamento del Perú. Se observa que solo la capital Lima tiene un porcentaje debajo del 15%, pero los demás departamentos superan más del 45% de su población sin acceso a internet (*Groupe Speciale Mobile Association GSMA*, 2016, p.62).

Figura 2

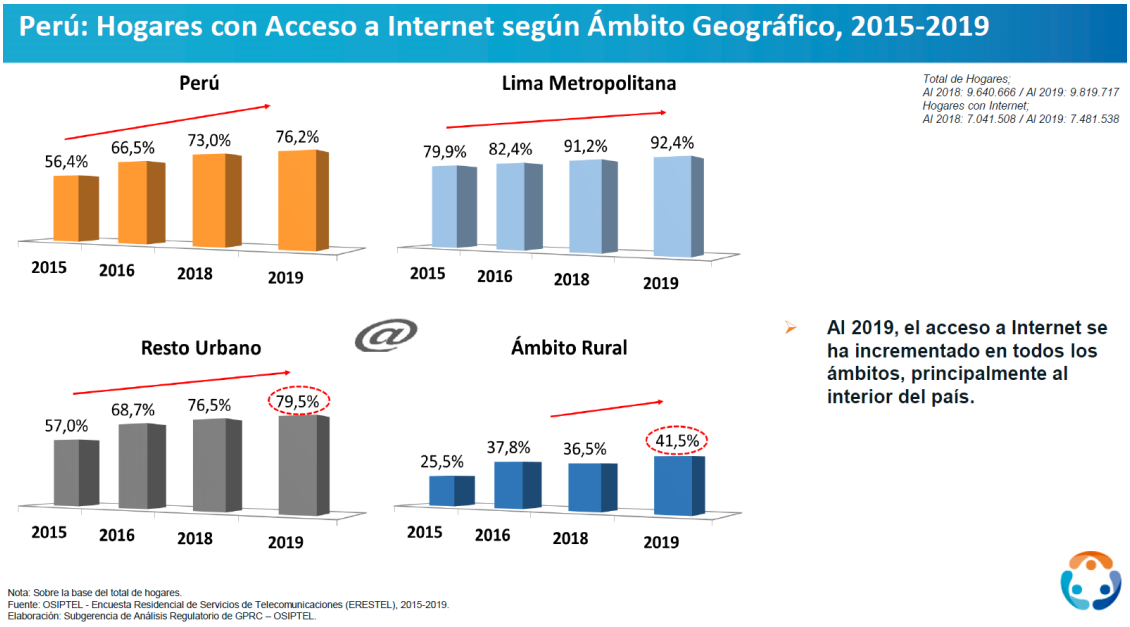
Porcentaje de hogares en Perú sin conexión a Internet por departamentos en 2014



El acceso a Internet en los sectores rurales ha experimentado un aumento al 41.5% entre 2015 y 2019, como se observa en la figura 3, esto debido a que algunos proyectos regionales entraron en operación en esos años como fue en las regiones de Huancavelica, Ayacucho, Apurímac. Dichas estadísticas se obtuvieron de la presentación de la Encuesta Residencial de Servicios de Telecomunicaciones (Erestel) elaborado por la Subgerencia de Análisis Regulatorio de la Gerencia de Políticas Regulatorias y Competencia de Osiptel (Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones, 2020, p. 85).

Figura 3

Porcentaje de hogares con acceso a Internet según ubicación geográfica en Perú del 2015 al 2019



Dentro de las normativas y estándares que se tomaron en cuenta en la ingeniería y que son soportados por los enrutadores utilizados, tenemos los siguientes:

- **Estándares IEEE**

  IEEE 802.1AB - *Station and Media Access Control Connectivity Discovery*

  IEEE 802.1D - *MAC bridges*

  IEEE 802.1Q – Dot1q (*VLAN Tagging*)

  IEEE 802.1w - *Rapid Reconfiguration of Spanning Tree*

  IEEE 802.3ad - *Link Aggregation* (LAG)

  IEEE 802.3ae - 10Gbps *Ethernet*

  IEEE 802.3u - 100Base-TX

  IEEE 802.3z - 1000Base-X

- **IS-IS**

  RFC 1142 - OSI IS-IS *Intra-domain Routing Protocol* (ISO 10589)

  RFC 1195 - *Use of OSI IS-IS for routing in TCP/IP & dual environments*

RFC 2763 - *Dynamic Hostname Exchange for IS-IS*

RFC 2966 - *Domain-wide Prefix Distribution with Two-Level IS-IS*

RFC 3373 - *Three-Way Handshake for Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Point-to-Point Adjacencies*

RFC 3567 - *Intermediate System to Intermediate System (ISIS) Cryptographic Authentication*

RFC 3784 - *Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Extensions for Traffic Engineering (*TE*)*

RFC 3847 - *Restart Signaling for IS-IS*

- **BGP**

  RFC 4271 - *A Border Gateway Protocol 4* (BGP-4)

  RFC 8212 - *Default External BGP* (EBGP) *Route Propagation Behavior without Policies*

- **MPLS – General**

  RFC 3031 - *MPLS Architecture*

  RFC 3032 - *MPLS Label Stack Encoding*

  RFC 4379 - *Detecting Multi-Protocol Label Switched* (MPLS) *Data Plane Failures*

- **MPLS – LDP**

  RFC 5036 - *LDP Specification*

  RFC 3037 - *LDP Applicability*

  RFC 3478 - *Graceful Restart Mechanism for LDP — GR helper*

  RFC 5443 - *LDP IGP Synchronization*

- **Recomendaciones y otros**

  ITU-T Y.1564 - *Ethernet service activation test methodology*

  RFC 2516 - *Method for Transmitting PPP Over Ethernet* (PPPoE)

  RFC 4787 - *Network Address Translation* (NAT) *Behavioral Requirements for Unicast UDP*

  RFC 6888 - *Common Requirements for Carrier-Grade NAT* (CGN)

1.2 Descripción del problema de investigación

1.2.1 Situación problemática

La figura 4 muestra que el departamento de Cusco se divide políticamente en 13 provincias, que incluyen Acomayo, Anta, Calca, Canas, Canchis, Chumbivilcas, Cusco, Espinar, La Convención, Paruro, Paucartambo, Quispicanchi y Urubamba. (Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI, 2021, p.14).

Figura 4

Mapa del departamento de Cusco y sus 13 provincias

Según los datos finales de los "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas", llevados a cabo por el INEI y resumidos en la tabla 1, el departamento de Cusco cuenta con 1 205 527 residentes. De este total de departamentos, el 60,7 % se ubica en zonas urbanas y el restante 39,3 % en zonas rurales.

Tabla 1

Población censada urbana y rural 2017

POBLACIÓN	CUSCO	CUSCO (%)
Urbano (*)	731,252	60.7
Rural (**)	474,275	39.3
TOTAL	**1,205,527**	**100.0**

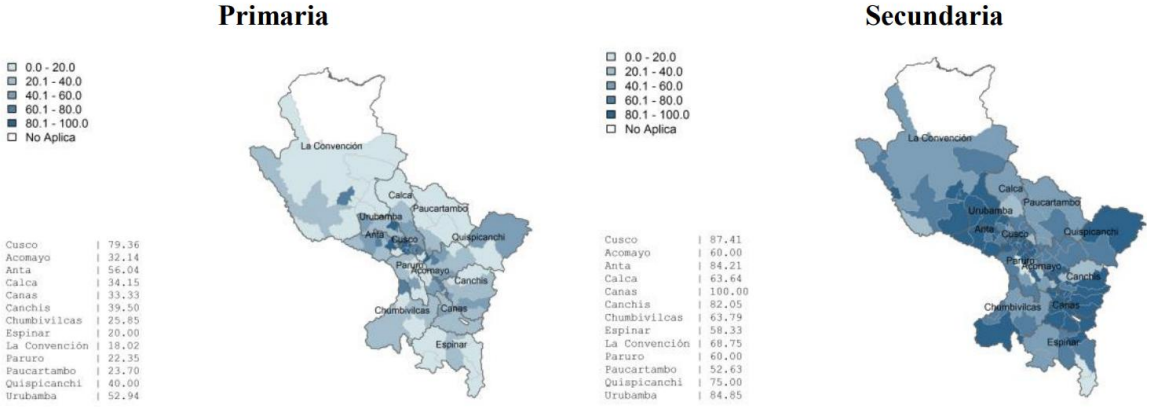
Nota: tomado de Perú, Perfil Sociodemográfico INEI (CPV-2017)
(*) Urbano: Centros poblados con dos mil y más habitantes
(**) Rural: Centros poblados con menos de dos mil habitantes

En Cusco, uno de los principales problemas es el acceso a internet.

El acceso a Internet en las escuelas de esta región difiere mucho dependiendo de la provincia y el distrito. En la figura 5, se observa que en la educación primaria la provincia de Cusco tiene el mayor acceso con 79.4% de escuelas con acceso a internet. En cambio, la provincia de La Convención tiene el menor acceso. En el ámbito distrital, el acceso se asemeja al estado de la provincia a la que pertenece, aunque con ciertas diferencias. En secundaria, el acceso a Internet es distinto en primaria y muestra mejores resultados. Así, las provincias de Canas, Cusco, Urubamba, Anta y Canchis se encuentran con mayor acceso con 100.0%, 87.4%, 84.8%, 84.2% y 82.1% respectivamente. Por otro lado, las provincias de Acomayo y Paruro tienen el menor acceso. A nivel distrital, el acceso es similar al provincial. (Ministerio de Educación, 2016, p.19)

Figura 5

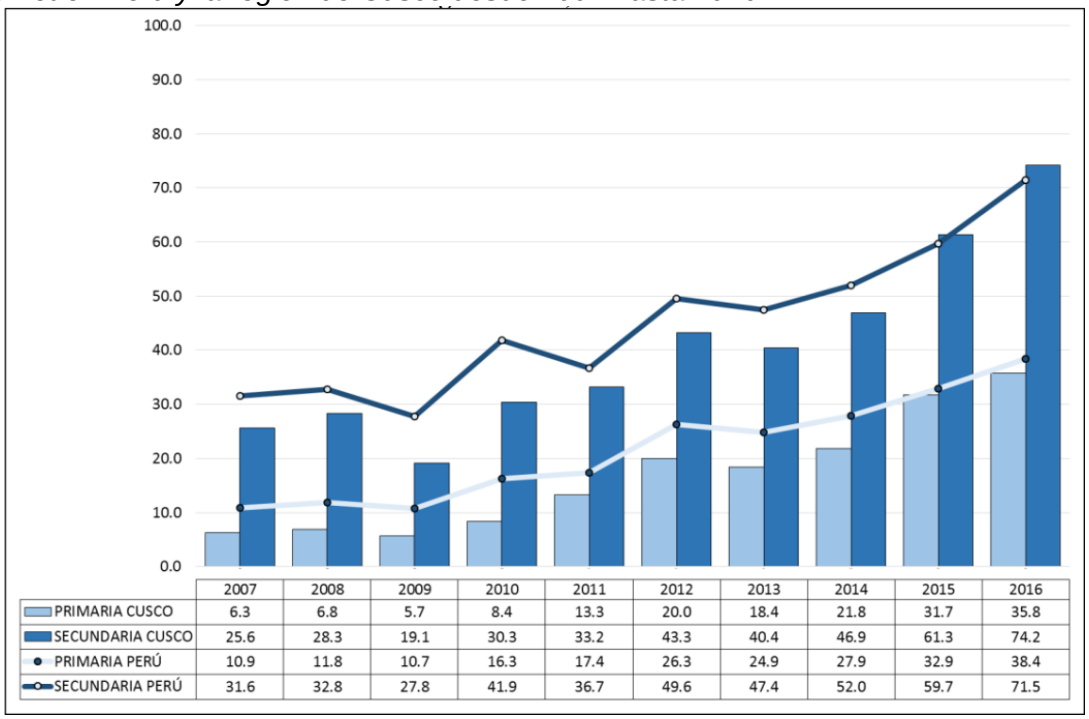
Porcentaje de colegios primarios y secundarios en la región de Cusco que disponen de acceso a Internet por provincia y distrito en 2016



En la figura 6, se puede ver que la tendencia ha sido de mejora según este indicador tanto en la región Cusco como en todo el Perú. Además, también debe destacarse que el porcentaje de acceso a internet en las escuelas de la región ha sido menor que el nacional prácticamente en todos los años, con la excepción del caso de secundaria para los años 2015 y 2016, en los que el acceso en Cusco fue levemente superior al porcentaje nacional. En educación primaria, el porcentaje de escuelas con internet en la región es inferior al nacional con brechas que han ido reduciéndose con el paso del tiempo. En secundaria se observa el mismo comportamiento, la diferencia ha ido acortándose hasta que, en el 2015, se revirtió el avance en desmedro de Cusco. (Ministerio de Educación, 2016, p.18)

Figura 6

Porcentaje de instituciones educativas de nivel primario y secundario con conexión a Internet en Perú y la región de Cusco desde 2007 hasta 2016



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
PRIMARIA CUSCO	6.3	6.8	5.7	8.4	13.3	20.0	18.4	21.8	31.7	35.8
SECUNDARIA CUSCO	25.6	28.3	19.1	30.3	33.2	43.3	40.4	46.9	61.3	74.2
PRIMARIA PERÚ	10.9	11.8	10.7	16.3	17.4	26.3	24.9	27.9	32.9	38.4
SECUNDARIA PERÚ	31.6	32.8	27.8	41.9	36.7	49.6	47.4	52.0	59.7	71.5

Otro aspecto crucial es el requerimiento de un acceso a Internet con alta velocidad de transferencia de datos en los centros de salud de la región para proporcionar un servicio de telemedicina óptimo.

Cabe indicar que, en el año 2017, los hospitales del Minsa incorporaron los servicios de telemedicina. Desde entonces brinda los servicios de teleconsulta, teleinterconsulta, teleapoyo al diagnóstico, telemonitoreo y teleorientación. En el caso de la región Cusco, el Gobierno Regional mediante la Gerencia Regional de Salud continúa con la política de implementar el servicio de telemedicina. Para el año 2023, como se muestra en la tabla 2, Cusco tiene los siguientes establecimientos que ofrecen telemedicina. (Gerencia Regional de Salud de Cusco, 2023, p.1)

Tabla 2

Establecimientos de salud que ofrecen telemedicina en la región Cusco 2023

#	Establecimientos de salud de Cusco
	Red de servicios de salud Cusco Sur
1	San Jerónimo, San Sebastián, Santa Rosa, Acomayo, Pomacanchi, Paruro, Accha, Yaurisque, Paucartambo, Colquepata, Huancarani, Urcos, Ccatcca, Cusipata, Oropesa, Quiquijana, Túpac Amaru, Mental San Sebastián, Pilcopata, Marcapata, Ocongate, Mental Comunitario Huaro, Puesto de Salud Marcaconga, Colcha, Huanoquite y Tocra.
	Red de servicios de salud Cusco Norte
2	Siete Cuartones, Miraflores, Picchu La Rinconada, Ccorcca, Ccorao, Belenpampa, Zarzuela Alta, Dignidad Nacional, Wanchaq, Ttio, Anta, Ancahuasi, Cachimayo, Huarocondo, Limatambo, Mollepata, Calca, Pisac, Putucusi, Urubamba, Chinchero, Huayllabamba, Ollantaytambo, Mental Santiago, Mental Comunitario Virgen Asunta De Calca, Mental Comunitario Anta y Mental Comunitario Urubamba.
	Red de servicios de salud Canas, Canchis, Espinar
3	Yanaoca, Layo, Techo Obrero, Combapata, Marangani, Tinta, Yauri, Mental Comunitario Sicuani, Mental Comunitario Espinar ‘Musuq Kawsay´, Pampaphalla y Pitumarca.
	Red de servicios de salud La Convención
4	Kirigueti, Kiteni, Palma Real, Camisea, Maranura, Quellouno, Pucyura, Paccaybamba, Santa Ana, Mental Quillabamba y Huyro.
	Red de servicios de salud Kimbiri Pichari
5	San Juan de Kimbiri (VRAEM), Chirumpiari, Lobo Tahuantinsuyo, Pichari y Mantaro.
	Red de servicios de salud Chumbivilcas
6	Santo Tomás, Pulpera, Alhuacchullo, Ccapacmarca, Chamaca, Colquemarca, Livitaca, Llusco, Quiñota, Velille y Pfullpuri Condepampa.
	Categoría Hospital II
7	Los hospitales de Quillabamba, Sicuani y Espinar.
	Categoría Hospital III
8	Hospital Regional y Hospital Antonio Lorena; finalmente el SAMUE Cusco.

Por último, para el año 2020, de acuerdo a la figura 7, en el capítulo de infraestructura de la comisaría correspondiente al Sistema de Unidades Policiales (SIUP 2020), las comisarías de la región Cusco presentan un 58.5% (48) de un total de 82 localidades policiales con un acceso a internet adecuado (Ministerio del Interior, 2020, p.1).

Figura 7

Resultados del estudio de infraestructura de la comisaría básica en Cusco 2020

1.2.2 Problema a resolver

Limitado acceso a internet en banda ancha de colegios públicos primarios y secundarios, centros de salud y comisarías, de las zonas rurales de la región de Cusco.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Elaborar una red de acceso IP/MPLS segura y estable para la implementación de servicios, con el objetivo de proporcionar acceso a Internet a los usuarios finales de las instituciones en zonas rurales de la Región de Cusco.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estimar la disponibilidad de los nodos de la red de acceso en base al equipamiento de redes elegido para superar el mínimo valor de disponibilidad de 98% requerido por las bases del proyecto, considerando las sugerencias UIT-T G.911 y UIT-T Y.1561.

- Implementar un protocolo de enrutamiento para establecer la conectividad IP entre todos los enrutadores de los nodos distritales a los enrutadores del Core de acceso de la región y viceversa, siguiendo las buenas prácticas en telecomunicaciones.
- Garantizar una mínima velocidad de transferencia de datos del 40% del plan establecido por las bases del proyecto para brindar acceso a internet, acorde al Reglamento de Calidad de los Servicios Públicos de Telecomunicaciones del Osiptel aprobado con Resolución N° 123-2014-CD/OSIPTEL.

1.3.3 Indicadores del logro de los objetivos

La tabla 3 presenta los indicadores definidos del trabajo para evaluar la consecución de los objetivos concretos establecidos.

Tabla 3

Indicadores del logro de los objetivos específicos

N°	Objetivos específicos	Indicador de logro	Métrica
1	Estimar la disponibilidad de los nodos de la red de acceso en base al equipamiento de redes elegido para superar el mínimo valor de disponibilidad de 98% requerido por las bases del proyecto, considerando las sugerencias UIT-T G.911 y UIT-T Y.1561.	Disponibilidad de un nodo > 98%	%
2	Implementar el protocolo de enrutamiento para establecer la conectividad IP entre todos los enrutadores de los nodos distritales a los enrutadores del *Core* de acceso de la región y viceversa, siguiendo las buenas prácticas en telecomunicaciones.	Porcentaje del total de nodos distritales con conectividad al *Core* = 100%	%
3	Garantizar una mínima velocidad de transferencia de datos del 40% del plan establecido por las bases del proyecto para brindar acceso a internet, acorde al Reglamento de Calidad de los Servicios Públicos de Telecomunicaciones del Osiptel aprobado con Resolución N° 123-2014-CD/OSIPTEL.	Velocidad mínima de transferencia de datos de acceso a Internet medido desde el CPE de la IAO de muestra >= 40% del plan ofrecido	Mbps

1.4 Antecedentes investigativos

Dentro de proyectos implementados anteriormente con un objetivo final similar que es reducir la brecha digital existente en la población, se tienen los siguientes:

Proyecto Nacional de Fibra Óptica (Colombia, 2013). El Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia, a través del Proyecto Nacional de Fibra Óptica, buscó promover la ampliación de la infraestructura de fibra óptica existente en el país para así llegar a un mayor número de colombianos con mejores servicios, condiciones técnicas y económicas. Para ello, desplegamos una red de transporte en fibra óptica para prestar servicios de telecomunicaciones en 788 municipios ubicados en 27 departamentos. (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2023)

Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica: Cobertura Universal Norte, Cobertura Universal Sur y Cobertura Universal Centro (2014). La RDNFO es una red de transporte de alta capacidad, disponibilidad y confiabilidad desplegada con fibra óptica, que llega a 180 capitales de provincia y que se soporta principalmente sobre infraestructura existente de redes eléctricas. Actualmente, se ha desplegado aproximadamente 13,500 kilómetros de fibra óptica conformada por 322 nodos, que permiten la interconexión con otras redes de operadores privados o de redes regionales. El Estado es el titular de esta red. Además, es pieza angular en la política de Estado para el desarrollo y masificación de la banda ancha a nivel nacional. (Programa Nacional de Telecomunicaciones – Pronatel, 2025)

Instalación de Banda Ancha para la Conectividad Integral y Desarrollo Social de la Región de Huancavelica (2015). Este proyecto consiste en brindar servicio de internet e intranet a 354 localidades de la región, instituciones públicas, establecimientos de salud, instituciones educativas y dependencias policiales. El mismo se logra a través del tendido de fibra óptica que se realiza en las torres de electricidad existentes. Así como nuevas torres y postes que se instalen para llegar a más comunidades. (Programa Nacional de Telecomunicaciones - Pronatel, 2017)

Adicionalmente, se ha llevado a cabo el siguiente análisis por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en Perú.

> **Impacto del acceso a internet en el crecimiento económico del Perú: Un enfoque ARDL (2021).** Este estudio empleó una función de producción de Cobb-Douglas y el modelo econométrico ARDL, para estimar el impacto del acceso a internet en los hogares y el crecimiento económico del Perú. Los resultados indican que existe una relación de largo plazo entre el acceso a internet y el nivel de producción de la economía. (Aguilar, 2021, p.17)

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 Protocolo

Se define protocolo en telecomunicaciones como:

Los servicios de comunicaciones proporcionados por una red de transmisión de datos siguen unos protocolos bien establecidos y estandarizados. Si a una red en particular se le desea añadir una funcionalidad concreta, se deberá comprobar si ya posee el protocolo adecuado o hay que añadírselo. Un protocolo de red define unas normas a seguir a la hora de transmitir la información. Normas como velocidad de transmisión, tipo de información, formato de los mensajes, etc. (Molina, 2010, p.33)

2.1.2 Solicitud de comentarios (RFC: Request For Comments)

Los RFC son documentos que cumplen lo descrito a continuación:

IETF (*Internet Engineering Task Force* o Grupo de Trabajo en Ingeniería de Internet) es una organización creada en Estados Unidos, en 1986, cuyo objetivo principal consiste en desarrollar los estándares que funcionan en Internet. Está formada por técnicos y especialistas que publican las recomendaciones de los protocolos de Internet, haciendo que los fabricantes tengan que adaptarse a ellas para evitar problemas de compatibilidad y funcionamiento entre sistemas. Los documentos que publica el IETF se denominan RFC (*Request For Comments* o Petición de Comentarios) y son la base para el desarrollo de todas las tecnologías que funcionan en Internet. Estos documentos, publicados desde 1969, llegan a ser más de 5000 en la actualidad. Ejemplos de estos documentos son el RFC 2616 (HTTP), RFC 959 (FTP), RFC 854 (Telnet), etc. (Molina, 2010, p.45)

2.1.3 Modelo de referencia TCP/IP

Este modelo de referencia fue establecido de la siguiente manera:

El Departamento de Defensa de EE. UU. (DoD) creó el modelo de referencia *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP), porque necesitaba una red que pudiera sobrevivir ante cualquier circunstancia. Para tener una mejor idea, imagine un mundo cruzado por numerosos tendidos de cables, alambres, microondas, fibras ópticas y enlaces satelitales. Entonces, imagine la necesidad de transmitir datos independientemente del estado de un nodo o red en particular. El DoD requería una transmisión de datos confiable hacia cualquier destino de la red en cualquier circunstancia. La creación del modelo TCP/IP ayudó a solucionar este difícil problema de diseño. Desde entonces, TCP/IP se ha convertido en el estándar en el que se basa Internet. El modelo TCP/IP tiene cuatro capas: la capa de aplicación, la capa de transporte, la capa de Internet y la capa de acceso de red. Posteriormente, en una actualización del modelo la capa de acceso a la red se ha dividido en dos subcapas. (Ariganello, 2014, p. 46)

En la tabla 4 se observa lo descrito en el párrafo anterior.

Tabla 4

Comparación modelo TCP/IP original y actualizado.

TCP/IP original	TCP/IP actualizado
Aplicación	Aplicación
Transporte	Transporte
Internet	Internet
Acceso a la Red	Enlace de Datos
	Física

Nota: tomado de Ariganello (2014, p.47)

2.1.4 Normas IEEE

Estas normas fueron definidas así:

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) es un organismo que ha procurado normalizar la comunicación entre ordenadores. Este organismo está acreditado por ANSI (*American National Standards Institute*), que es el organismo

de estandarización de los EE. UU. Para ello propuso la norma 802, que indica que una red local es un sistema de comunicaciones que permite a varios dispositivos comunicarse entre sí. Para ello definieron, entre otros, el tamaño de la red, la velocidad de transmisión, los dispositivos conectados, el reparto de recursos y la fiabilidad de la red que cubren el nivel físico y el nivel de enlace de datos (Control de Enlace Lógico y Control de Acceso al Medio). Adicionalmente, el subcomité IEEE 802.1, elabora documentos relativos a la arquitectura de red, interoperación y gestión de red. (Raya, 2011, p.70)

2.1.5 Arquitectura de red

Hay muchos tipos distintos de redes, por lo que se pueden realizar múltiples combinaciones distintas al seleccionar el tipo de cableado, la topología, el tipo de transmisión e, incluso, los protocolos utilizados. Estos factores van a determinar la arquitectura de la red. (Raya, 2011, p.71)

- *Gigabit Ethernet*. Este estándar se desarrolló bajo dos especificaciones: la primera desarrollada en 1998 llamada 1000BASE-X, que utiliza fibra óptica, y la segunda desarrollada en 1999 llamada 1000BASE-T, que utiliza cable de cobre de par trenzado UTP de categorías 5, 5e ó 6 con una longitud máxima de 100 metros, con transmisión *half-duplex o full-duplex* (en los dos sentidos simultáneamente). (Raya, 2011, p.72)
- *10-Gigabit Ethernet*. En el año 2002, se publicó un nuevo estándar llamado *10-Gigabit Ethernet*, que funciona a velocidades de 10 Gbps sobre fibra óptica. (Raya, 2011, p.72).

En los nodos de la red de acceso de Cusco, se utiliza principalmente la arquitectura de *Red Gigabit Ethernet* y el tipo de enlaces para interconectar físicamente dos nodos es mediante fibra óptica y microondas.

2.1.5.1 Enlace de Fibra óptica

Un enlace de Fibra óptica es descrito a continuación:

La fibra óptica se utiliza para la transmisión de larga distancia en las redes troncales, las redes LAN de alta velocidad (aunque hasta ahora el cobre siempre ha logrado ponerse a la par) y el acceso a internet de alta velocidad como FTTH (Fibra para el Hogar, del inglés *Fiber To The Home*). Un sistema de transmisión óptico tiene tres componentes clave: la fuente de luz, el medio de transmisión y el detector. (Tanenbaum & Wetherall, 2012, p.87)

2.1.5.2 Enlace de microondas

Un enlace de microondas es descrito a continuación:

Por encima de los 100 MHz, las ondas viajan en línea recta y en consecuencia, se pueden enfocar en un haz estrecho. Al concentrar toda la energía en un pequeño haz por medio de una antena parabólica (como el tan conocido plato de TV por satélite) se obtiene una relación señal-ruido mucho más alta, pero las antenas transmisora y receptora deben estar alineadas entre sí con precisión. Además, esta direccionalidad permite que varios transmisores alineados en fila se comuniquen con varios receptores sin interferencia, siempre y cuando se sigan ciertas reglas de espacio mínimo. (Tanenbaum & Wetherall, 2012, p.95)

2.1.6 Disponibilidad de la red

Definida en las bases del proyecto:

La disponibilidad de la red de Acceso es de noventa y ocho por ciento (98%) por año, contada desde la puesta en operación. Por tanto, los servicios no deberán quedar interrumpidos por más ciento setenta y cinco y dos décimas (175,20) de horas continuas o alternadas en total por año. FITEL verificará el cumplimiento de esta disponibilidad. (Agencia de Promoción de la Inversión Privada Proinversión, 2015, p.11)

Además, se menciona los casos de interrupciones que no afectará el cálculo de disponibilidad:

> El corte del servicio por actualización tecnológica o actividades de mantenimiento preventivo será como máximo de seis (06) horas, salvo caso fortuito, fuerza mayor o causas no imputables al operador de la red, en cuyo caso las deberá acreditar ante Fitel. Para el corte del servicio por actualización tecnológica o actividades de mantenimiento preventivo antes indicado, Fitel no contabilizará dichas horas en el cálculo de disponibilidad. Para otros casos, Fitel determinará la inclusión de dicho tiempo para el cálculo de la disponibilidad. (Agencia de Promoción de la Inversión Privada Proinversión, 2015, p.14)

Y por último se describe´que el tiempo que toma el personal de campo en llegar a revisar las fallas y que tampoco se tomarán como interrupción de servicio:

> En caso sea necesaria la presencia física del operador en la localidad beneficiaria, o lugar donde se haya instalado el nodo, para restablecer la conexión o problema que afecte la operatividad de los servicios, no serán contabilizadas como horas de interrupción “el número de horas que el operador requiere para llegar a dicha localidad” (término de la distancia) desde el centro de mantenimiento más cercano. (Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Proinversion, 2015, p.15)

2.1.6.1 Recomendaciones para medición de disponibilidad

Para medir la disponibilidad en la fase de operación de la red se establecerán circuitos de prueba o medición entre el equipo enrutador del nodo Distrital/Intermedio/Terminal (nodo POP) y el equipo enrutador de *core* de la red de acceso, de acuerdo con la topología lógica. Los circuitos para medición son establecidos de acuerdo a la recomendación UIT-T G.911 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 1997, p.17), pero con la consideración de que el elemento de red no es SDH sino un elemento IP/MPLS. Una red IP/MPLS nos otorga el mejor uso de los recursos que contiene

la red, ya que se tiene herramientas como son LDP y RSVP-TE, que nos brindan la restauración de tráfico (paquetes) en la red.

El inicio de la indisponibilidad comienza con la aparición de diez bloques de pérdida severa consecutivos. Estos diez segundos son parte del tiempo no disponible. Un período de indisponibilidad termina con la aparición de diez segundos consecutivos, ninguno de los cuales es bloques de perdida severa. Estos diez segundos son parte del tiempo disponible. Los criterios de diez segundos se admiten utilizando una ventana deslizante con granularidad de un segundo. Debido a que el radio de pérdida de paquetes generalmente aumenta al aumentar la carga ofrecida de origen a destino, la probabilidad de exceder el umbral aumenta al aumentar la carga ofrecida. Por lo tanto, es probable que los valores de porcentaje de disponibilidad del servicio sean más pequeños cuando la demanda de capacidad entre origen y destino es mayor.

La recomendación UIT-T Y.1561 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2004, p.18) nos brinda el detalle de parámetros de rendimiento y disponibilidad para redes MPLS considerados para la red de acceso.

2.1.7 Conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS: Multiprotocol Label Switching)

Definido en el estándar RFC 3031 (Rosen et al., 2001, p.9), se tiene las siguientes características:

> MPLS es un nuevo mecanismo de switching (conmutación) que usa etiquetas para enviar paquetes independientemente del protocolo de capa 3 utilizado. MPLS no es una red IP, aunque si utiliza los protocolos de enrutamiento IP tales como OSPF y IS-IS. MPLS puede ser implementado tanto en router como en switch. Reduce la sobrecarga de procesamiento en los router mejorando el rendimiento del envío de paquetes. Las etiquetas usualmente corresponden a direcciones de destino capa 3 igual que como se trabaja con DBR (Destination Based routing o enrutamiento basado en el destino). Las etiquetas también pueden corresponder a otros

parámetros tales como calidad del servicio (QoS) o dirección de origen. (López et al., 2018, p.21)

2.1.8 Capa de Internet

Se tiene la siguiente definición de la capa de Internet:

Agrupa los métodos, protocolos y especificaciones usados para transportar paquetes entre el nodo emisor y el destinatario, atraviesa otros nodos y redes intermedias si es preciso. Los nodos se identifican por su dirección en la red o dirección IP, tal como se define en el Protocolo Internet o IP.

Los protocolos fundamentales de la capa Internet son IP (*Internet Protocol*), en sus versiones IPv4 e IPv6, y el protocolo de control de Internet (ICMP, *Internet Control Message Protocol*), que proporciona funciones de control de errores y diagnósticas. (Gallego, 2003, p.57)

2.1.8.1 Internet Protocol (IP)

Definido en el estándar RFC 791 (Postel, 1981, p.7).

IP nos “proporciona un enrutamiento de paquetes no orientado a conexión de máximo esfuerzo. IP no se ve afectado por el contenido de los paquetes, sino que busca una ruta hacia el destino” (Ariganello, 2014, p.52).

Se tiene IPv4 e IPv6, donde “la versión 4 del Protocolo de Internet (IPv4) es capaz de fragmentar (y posteriormente volver a unir) paquetes basándose en aspectos como la unidad máxima de transmisión del enlace (MTU, *Maximum Transmission Unit*)” (Gallego, 2003, p.58).

2.1.8.2 Internet Control Message Protocol (ICMP)

Definido en el estándar RFC 792 (Postel, 1981, p.1).

El protocolo ICMP “suministra capacidades de control y envío de mensajes. Herramientas tales como ping y tracert utilizan ICMP para poder funcionar, envian un

paquete a la dirección destino específica y esperando una determinada respuesta" (Ariganello, 2014, p.52).

2.1.8.3 Internet

Se define al Internet como:

Una matriz global de redes de computadoras interconectadas entre sí que utiliza el protocolo de internet (IP) para comunicarse una con otra. IP es asimismo parte del protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) el cual se desarrolló para interconectar equipos de cómputo de diversas arquitecturas. Sobre la base de este estándar corren la mayoría de las aplicaciones, tales como el correo electrónico, www (*worl wide web*), transferencia de archivos, voz sobre internet, etcétera. Internet puede verse en términos sencillos como una red de millones de computadores interconectadas donde se puede intercambiar información y dónde se pueden correr múltiples aplicaciones. (Serrano & Martínez, 2003. p.33)

2.1.9 Enrutamiento dinámico

Este tipo de enrutamiento de describe como:

Permite que los *router* actualicen conocimientos ante posibles cambios sin tener que recurrir a nuevas configuraciones. Un protocolo de enrutamiento permite determinar dinámicamente las rutas y mantener actualizadas sus tablas. Existen dos grandes núcleos de protocolos de enrutamiento.

Protocolos de gateway interior (IGP - *Interior Gateway Protocol*): Se usan para intercambiar información de enrutamiento dentro de un sistema autónomo. (RIP - *Routing Information Protoco*l, IGRP - *Interior Gateway Routing Protocol*, OSPF - *Open Shortest Path First*, IS-IS - *Intermediate System to intermediate System*). **Protocolos de gateway exterior (EGP - *Exterior Gateway Protocol*):** Se usan para intercambiar información de enrutam ento entre sistemas autónomos. (BGP - *Border Gateway Protocol*) (Ariganello, 2014, p.176)

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Enrutador (Router)

Los enrutadores o más conocidos como routers son definidos como:

Funcionan en la capa de red del modelo OSI separando los segmentos en dominios de colisión y difusión únicos. Estos segmentos están identificados por una dirección de red que permitirá alcanzar las estaciones finales. Los *router* cumplen dos funciones básicas que son la de enrutar y conmutar los paquetes. Para ejecutar estas funciones registran en tablas de enrutamiento los datos necesarios para esta función. (Ariganello, 2014, p.43)

2.2.2 Cálculo teórico de disponibilidad

La red de acceso se ha construido para alcanzar los niveles de disponibilidad obligatorios. Se han considerado para esto los siguientes parámetros:

MTBF (*Mean Time Between Failure*): o tiempo medio entre fallos. MTBF es el tiempo esperado entre fallas posteriores en un sistema con reparación. El MTBF se puede calcular a partir de datos empíricos o de la función de confiabilidad como:

$$\mathrm{MTBF} = \int_0^\infty \mathrm{R(t)dt} \qquad (1)$$

Dado que R(t) está relacionado con la tasa de falla del sistema, existe una relación directa entre MTBF y la tasa de falla de un sistema. (Özsu & Valduriez, 2011, p.409)

MTTR (*Mean Time To Repair*): o tiempo medio de reparación. MTTR es el tiempo esperado para reparar un sistema fallido. Está relacionado con la tasa de reparación como MTBF está relacionado con la tasa de fallas. (Özsu & Valduriez, 2011, p.409)

Usando estas dos métricas, la disponibilidad en estado estacionario de un sistema con tasas exponenciales de falla y reparación se puede especificar como (Özsu & Valduriez, 2011, p.409)

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF (h)}}{\text{MTBF (h)} + \text{MTTR(h)}} \qquad (2)$$

Para la estimación del MTTR en horas, se ha tomado como base el tiempo de 24 horas que corresponde al tiempo máximo permitido de resolución de fallas en el cual no afecta el indicador de calidad del TIA (Tasa de Incidencia de Averías), indicado en el Apéndice N° 11 del documento de las bases del proyecto (Agencia de Promoción de la Inversión Privada Proinversión, 2015, p.110).

La tabla 5 presenta los valores de MTBF de los equipos y materiales empleados en la red de acceso, proporcionados por los fabricantes que tomaron en cuenta las mejores prácticas para establecer estos valores.

Tabla 5

Valores MTBF de los equipos y componentes de la red

Equipos y componentes de la red	Fabricante	MTBF (h)
Enrutador de *core*	Nokia	9,330,911
Enrutador distrital	Nokia	850,683
Conmutador intermedio/terminal	Alcatel-Lucent Enterprise	894,251
Sistema de energía	-	350,000
Radioenlace punto a punto (PTP)	Nokia	406,902
Enlace de fibra óptica (F.O.)	-	10,950

2.2.3 Sistema intermedio a sistema intermedio (IS-IS: Intermediate System-to-Intermediate System)

Definido en el estándar RFC 1195 (Callon, 1990, p.5) y la norma ISO/IEC 10589:1992 (*International Organization for Standardization*, 1992, p.4).

Este protocolo de enrutamiento es descrito a continuación:

IS-IS es muy diferente a otros protocolos de enrutamiento de red porque se ejecuta de forma nativa en la capa 2 del modelo de referencia OSI. Esto significa que a

diferencia de los protocolos de enrutamiento IP como RIP, OSPF y BGP, IS-IS no necesita información de direccionamiento de interfaz válida para transmitir un mensaje. Por supuesto, IS-IS necesita cierta información para transmitir correctamente los mensajes de enrutamiento, pero en comparación con otros protocolos de enrutamiento IP, el archivo de configuración IS-IS es mucho más pequeño. La ejecución nativa en la capa 2 del modelo de referencia OSI tiene otro aspecto importante, que es la idoneidad para enrutar múltiples protocolos. De hecho, IS-IS es totalmente agnóstico sobre qué tipo de prefijos transporta en su mensaje. (Gredler & Walter, 2005, p.79)

2.2.4 Protocolo de puerta de enlace de frontera (BGP: Border Gateway Protocol)

Definido en el estándar RFC 1105 (Lougheed & Rekhter, 1989, p.1).

El protocolo BGP es:

Un protocolo de *path vector* que se utiliza para transportar información de enrutamiento entre sistemas autónomos. El término path vector proviene del hecho de que la información de enrutamiento BGP lleva una secuencia de números de AS que identifica la ruta de los AS que ha atravesado un prefijo de red. La información de ruta asociada con el prefijo se utiliza para habilitar la prevención de bucles. BGP utiliza TCP como protocolo de transporte (puerto 179). Esto garantiza que TCP se encargue de toda la confiabilidad del transporte (como la retransmisión) y no sea necesario implementarla en BGP, simplificando así la complejidad asociada con el diseño de la confiabilidad en el protocolo mismo. (Halabi & McPherson, 2000, p.102)

2.2.5 Protocolo de distribución de etiquetas (LDP: Label Distribution Protocol)

Definido en el estándar RFC 5036 (Andersson et al., 2007, p.5)

El protocolo LDP es descrito a continuación:

Es un protocolo que funciona salto a salto produciendo LSP (*Label Switched Path*), que siguen el camino más corto desde la entrada hasta la salida según lo seleccionado por el IGP. Fue diseñado por el grupo de trabajo MPLS del IETF. LDP cuenta con un amplio respaldo de los proveedores de enrutadores. Si no tiene requisitos de ingeniería de tráfico, generalmente es más sencillo implementar LDP que RSVP-TE. (Davies, 2004, p.100)

2.2.6 Servicios de red privada virtual (VPN: Virtual Private Network) en enrutadores Nokia

Una Red privada virtual o más conocida como VPN se define como:

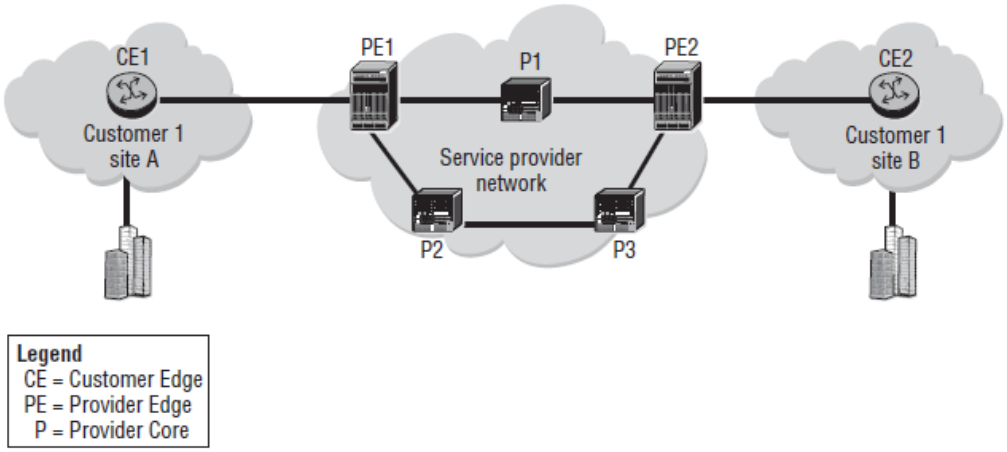
Una forma de proporcionar a los clientes conexiones que les parecen privadas a través de una infraestructura de red física compartida por varios clientes. MPLS es la tecnología clave que permite a los proveedores implementar servicios VPN para los clientes. Los enrutadores de servicios utilizan MPLS para proporcionar una variedad de servicios VPN a través de su red principal IP/MPLS. El proveedor de servicios puede ofrecer servicios VPN de capa 2 y capa 3 simples y transparentes a múltiples clientes a través de una única red. (Hundley, 2009, p.443)

2.2.6.1 Componentes de un servicio VPN

En la figura 8 se muestra una arquitectura estándar para una red de proveedores basada en servicios, que muestra los componentes principales de dicha arquitectura.

Figura 8

Componentes principales de un servicio VPN



- Los dispositivos de **borde del cliente (CE: Customer Edge)** son descritos como:

  Residen en las instalaciones del cliente. El dispositivo CE proporciona acceso a la red del proveedor de servicios a través de un enlace a uno o más enrutadores Provider Edge (PE). El usuario final normalmente posee y opera estos dispositivos. Los dispositivos CE desconocen los protocolos de túnel o los servicios VPN proporcionados por el proveedor de servicios. (Hundley, 2009, p.431)

- Los dispositivos de **borde del proveedor (PE: Provider Edge)** son descritos a continuación:

  Tienen al menos una interfaz que está conectada directamente a un dispositivo CE. El dispositivo PE es la puerta de entrada del cliente a los servicios VPN ofrecidos por el proveedor de servicios. Es el dispositivo PE el que determina qué servicios especiales, si corresponde, deben proporcionarse al tráfico que llega a la red del proveedor desde los dispositivos CE. (Hundley, 2009, p.432)

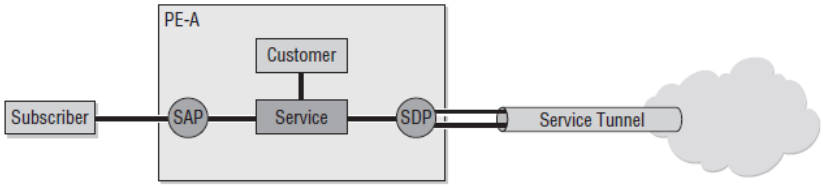
- Los enrutadores de **proveedor (P: Provider)** son equipos definidos como:

  Están ubicados en la red Core del proveedor. El enrutador P no se conecta directamente al equipo del cliente. Los enrutadores P generalmente no conocen ni se preocupan por los diferentes servicios que se brindan a los clientes individuales y, en cambio, simplemente toman decisiones de reenvío basadas en la información adjunta a los paquetes IP por los dispositivos PE. (Hundley, 2009, p.432)

Como se mencionó anteriormente, los dispositivos PE suministran prácticamente toda la configuración para los servicios. Existen diversas funciones en un enrutador PE, las cuales se presentan en la figura 9.

Figura 9

Entidades para establecer un servicio de un enrutador PE



- **Punto de acceso al servicio (SAP: *Service Access Point*)**. Un SAP proporciona la entidad lógica que sirve como acceso del cliente a cualquier servicio proporcionado por el PE. (Hundley, 2009, p.433).
- **Punto de distribución de servicios (SDP: *Service Distribution Point*).** Un SDP es el método que utiliza un servicio para conectarse a los servicios de otro enrutador. Los SDP proporcionan la encapsulación del túnel de transporte que utilizará el servicio (como MPLS/RSVP-TE, MPLS/LDP o IP/GRE). (Hundley, 2009, p.433)

2.2.6.2 Red privada virtual de Capa 2 (VPNL2: *Virtual Private Network Layer* 2)

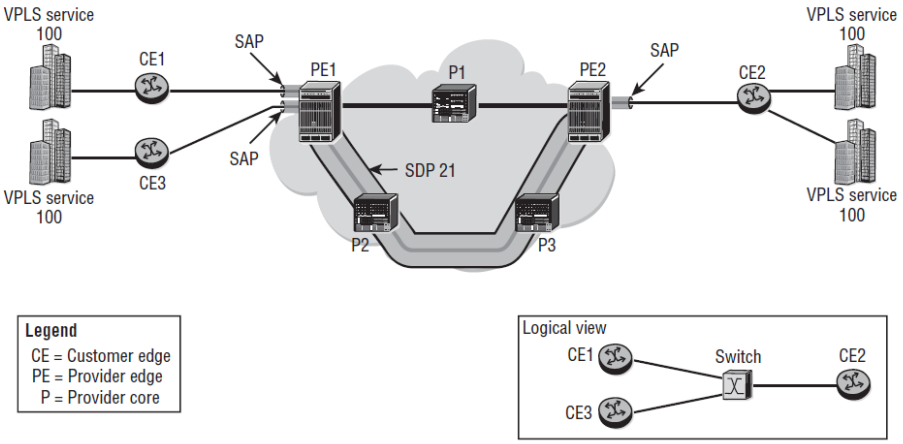
La VPNL2 que se usa en el proyecto es la Virtual Private LAN Service (VPLS), y se define como:

> Un servicio multipunto de capa 2 que se puede utilizar para interconectar más de dos ubicaciones de clientes. Desde la perspectiva del cliente, VPLS parece como si existiera un simple conmutador LAN de capa 2 entre las diferentes ubicaciones del cliente. Las tramas Ethernet de los datos del cliente se encapsulan en etiquetas MPLS y se canalizan a través de la red del proveedor de servicios. (Hundley, 2009, p.444)

La figura 10 muestra como la VPLS emula un servicio LAN privado que puede conectar múltiples sitios de clientes. “Desde la perspectiva del cliente, el servicio es un simple servicio de conmutación de capa 2. Se pueden proporcionar múltiples servicios a través de un único CE (*Customer Edge*) utilizando diferentes SAP en el ingreso del proveedor” (Hundley, 2009, p.446).

Figura 10

Servicio Virtual Private LAN Service - VPLS



2.2.6.3 Red privada virtual de Capa 3 (VPNL3: *Virtual Private Network Layer* 3)

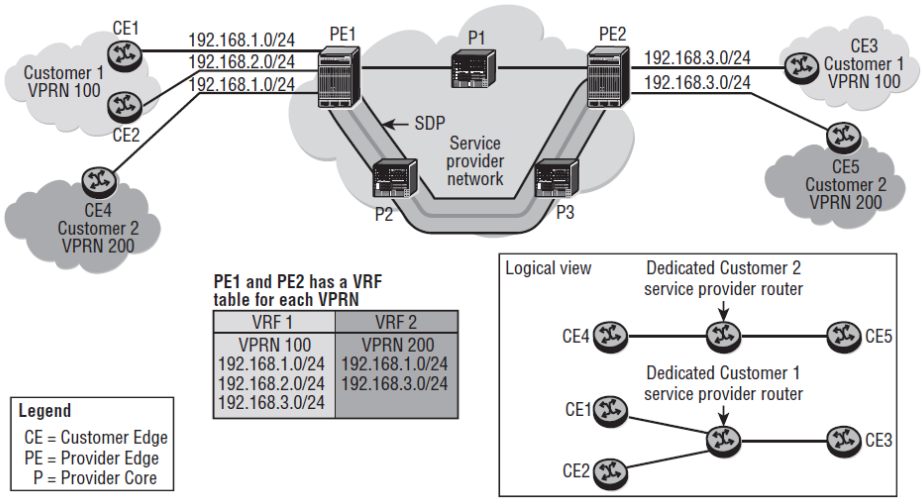
La VPNL3 que se usa en el proyecto es la Virtual Private Routed Network (VPRN) y se define como:

> Un servicio de capa 3 que hace que la red del proveedor de servicios parezca un simple enrutador IP que conecta dos o más ubicaciones de clientes. VPRN permite que los dispositivos CE intercambien información de ruta con VPRN como si fuera un enrutador IP. Los paquetes IP que contienen datos del cliente se encapsulan en etiquetas MPLS y se canalizan a través de la red del proveedor de servicios (Hundley, 2009, p.444).

La figura 11 muestra como la VPRN proporciona una conexión de red enrutada virtual para múltiples clientes. “Cada cliente puede tener su propio espacio de direcciones privado y el PE (*Provider Edge*) mantendrá una tabla de rutas separado para cada cliente para separar las direcciones IP” (Hundley, 2009, p.448).

Figura 11

Servicio Virtual Private Routed Network - VPRN



2.2.7 Puerta de enlace de red de banda ancha (BNG: Broadband Network Gateway)

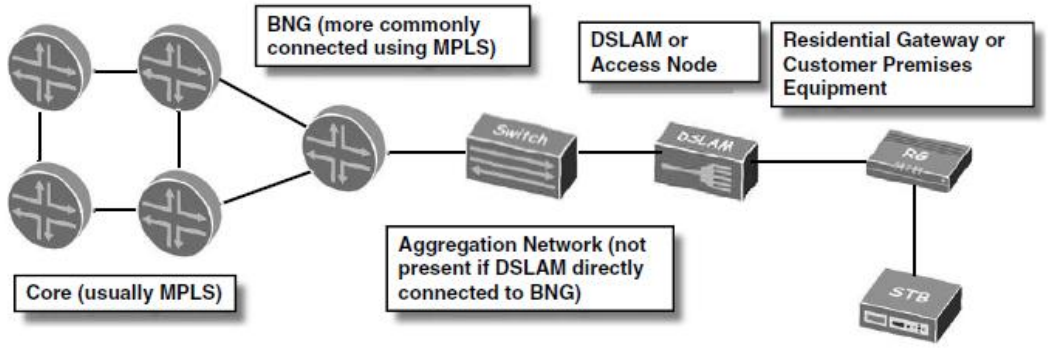
El tipo de solución BNG se define como:

Los *Broadband Network Gateways* (BNG) son puntos de agregación de IP para miles de clientes. Es importante señalar que el BNG es el punto de terminación del IP donde se produce el enrutamiento y donde comienza el servicio IP. Los otros elementos, como *residential gateways* (RG), nodos de acceso y redes de agregación *Ethernet*, proporcionan transporte (Hellberg et al., 2007, p.469).

La figura 12 muestra la topología básica de una solución con BNG, conocida también como *Broadband Remote Access Server* (BRAS). “El enrutador BNG puede reenviar paquetes entre el Core y el cliente, implementar políticas IP dinámicas por suscriptor, perfiles de calidad de servicio (QoS), limitadores de velocidad, manipulación de paquetes, asignación de direcciones, terminación de sesión y reenvío” (Hellberg et al., 2007, p.38).

Figura 12

Una vista de la red desde el Core BNG hacia el suscriptor.



2.2.7.1 Equipos en las instalaciones del cliente (CPE: *Customer Premises Equipment*)

Un CPE es “un dispositivo en las instalaciones del cliente que podría ser un dispositivo de capa 2 o de capa 3 que se conecta al equipo del proveedor. En un entorno residencial, un CPE suele denominarse *residential gateway* (RG)” (Hellberg et al., 2007, p.501).

2.2.7.2 Protocolo punto a punto sobre Ethernet (PPPoE: Point-to-Point Protocol over Ethernet)

Definido en el estándar RFC 2516 (Mamakos et al., 1999, p.1).

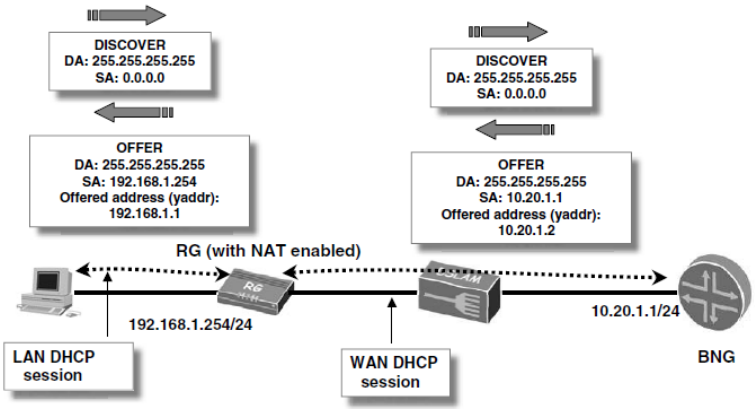
Este protocolo PPPoE es descrito como:

Un protocolo cliente-servidor que brinda a los suscriptores acceso a uno o más BNG. Se diferencia del PPP tradicional, que es estrictamente un protocolo peer-to-peer, al relajar la restricción punto a punto. Esto le permite funcionar en un modelo cliente-servidor, con muchos clientes conectándose a servidores PPPoE a través de una red Ethernet de acceso múltiple, pero aun así ejecutando un protocolo punto a punto encima. Los dos modos de ejecutar PPPoE en un hogar son *bridged* y *routed*. PPPoE se divide en dos fases: una fase de descubrimiento, que permite al cliente descubrir qué servicios están disponibles, y la etapa de sesión PPP, que es el canal de datos de un suscriptor. (Hellberg et al., 2007, p.190)

La figura 13 nos muestra que la PC en la LAN solicita una dirección IP al RG (CPE) mediante DHCP. “En una sesión separada, el RG solicita una dirección IP del servidor DHCP en el BNG. Esto se denomina modo *router,* porque el RG enruta paquetes IP desde el lado LAN hacía el lado del nodo de acceso” (Hellberg et al., 2007, p.212).

Figura 13

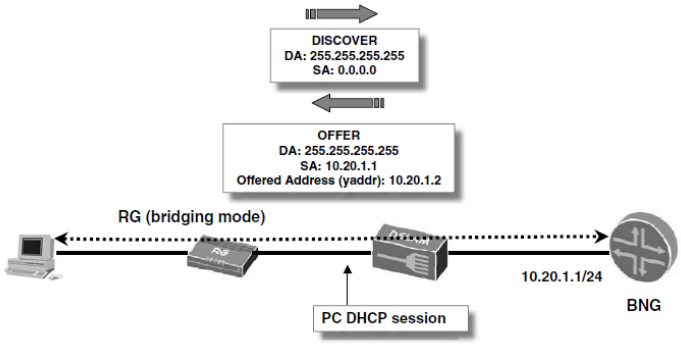
PPPoE modo Routed



La figura 14 muestra que la PC solicita una dirección IP directamente desde el BNG usando uno de los modos DHCP. “Esto se llama modo *bridged,* porque el RG actúa como un puente, reenvía tramas *Ethernet* entre la interfaz que mira al nodo de acceso y las interfaces LAN” (Hellberg et al., 2007, p.213).

Figura 14

PPPoE modo Bridged



2.2.7.3 Gestión de suscriptores mejorada (ESM: *Enhanced Subscriber Management*)

El uso del ESM en este tipo de soluciones es descrito a continuación:

En las redes de banda ancha residenciales se pueden aprovisionar numerosos abonados que pueden requerir cambios importantes a diario. Configurar manualmente los parámetros aplicables para cada suscriptor sería prohibitivo. Los Nokia 7750 SR han sido diseñados para soportar el aprovisionamiento completamente dinámico de acceso, QoS y aspectos de seguridad para suscriptores residenciales que utilizan DHCP para obtener una dirección IP. Habilitar el *Enhanced Subscriber Management* reduce drásticamente la carga de configuración. *Enhanced Subscriber Management* en 7750 SR admite nodos de acceso y modelos de agregación de red de muchos proveedores, incluida VLAN por cliente, por servicio o por nodo de acceso. (Nokia, 2016, p.1019)

2.2.7.4 Puerto de pseudocable (PW-PORT: *Pseudowire Port*)

Un PW-PORT se utiliza principalmente para proporcionar una terminación pseudowire (PW) con las siguientes características:

Proporcionar capacidades basadas en acceso (SAP) a un PW que tradicionalmente ha sido un concepto basado en puerto de red dentro de N*okia Service Router Operating System* (SR OS). Por ejemplo, la carga útil de PW se puede extraer en un SAP basado en puerto PW con capacidades de cola granular (cola por SAP). Esto contrasta con la terminación de PW tradicional en los puertos de red donde la creación de colas se crea por puerto físico en la salida o por MDA en la entrada.

Busca etiquetas *VLAN dot1q* y *qinq* debajo de las etiquetas PW y asigna el tráfico a diferentes servicios. Además, terminar el tráfico de abonado transportado dentro del PW en un BNG. En este caso, los SAP basados en PW-PORT se crean instancias en una interfaz de grupo con *Enhanced Subscriber Management* (ESM). En este caso, el SAP basado en el PW-PORT se trata como cualquier otro SAP

normal creado directamente en un puerto físico con capacidades ESM completas. (Nokia, 2016, p.1667)

2.2.7.5 Velocidad de transferencia

El término transferencia en telecomunicaciones “consiste en transmitir información (imágenes, sonidos, videos, programas, datos, etc.) de un ordenador a otro a través de un canal de transmisión, generalmente Internet o una Intranet” (Daburon, 2010, p.45).

Y “la velocidad de transferencia (o velocidad binaria) mide en bits por segundo (bit/s, b/s o bps) la cantidad de datos digitales transmitidos entre dos puntos de una red electrónica” (Daburon, 2010, p.45).

Como información de los valores umbrales de subida y baja de las velocidades de transferencias, se tiene:

> Desde el año 2014, Perú ya cuenta con el Reglamento de Calidad de los Servicios Públicos de Telecomunicaciones del Osiptel (aprobado con Resolución N° 123-2014-CD/OSIPTEL), en el cual se establece que las empresas operadoras están obligadas a prestar el servicio acorde con las velocidades contratadas por el abonado: sea prepago, control o post pago. Para tal efecto, la velocidad mínima se calculará como una proporción de la velocidad máxima contratada de subida y bajada, correspondiendo el 40% para el servicio brindado a través de redes fijas y móviles. (Osiptel, 2014, p.7)

2.2.8 Traducción de direcciones de red de nivel de operador (CG-NAT: Carrier-Grade Network Address Translation)

Definido en el estándar RFC 6888 (Perreault et al., 2013, p.3).

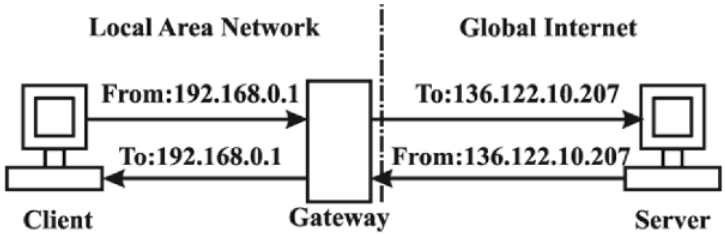
Este protocolo de describe a continuaición:

Network Address Translation (NAT) fue desarrollado en RFC 3022 (Srisuresh & Egevang, 2001, p.3) para utilizar una dirección IP enrutable globalmente para conectar máquinas que utilizan una dirección privada a Internet. Este mecanismo

realiza una traducción de las direcciones IP de la LAN privada (no enrutables) a una dirección IP de Internet enrutable. Se utiliza una puerta de enlace para implementar esta funcionalidad en el límite de la LAN, mostrado en la figura 15. (Tronco, 2010, p.27)

Figura 15

Network Address Translation

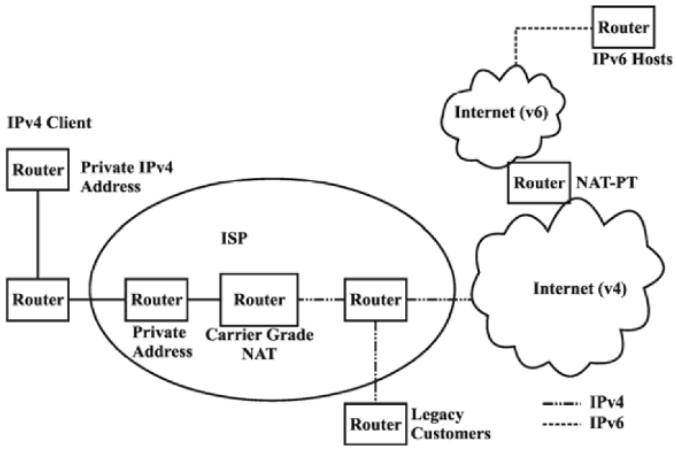


Con respecto al CG-NAT se tiene:

Recientemente, se propuso *Carrier-Grade NAT* (CGN) para compartir direcciones IPv4 entre los usuarios finales y la Internet pública. Evitando el consumo global de direcciones IPv4. CGN también puede compartir direcciones entre usuarios finales de IPv4 y usuarios finales de IPv6, como se muestra en la figura 16. Para proporcionar esta funcionalidad, era necesario un mecanismo *Network Address Translator - Protocol Translator* (NAT-PT). (Tronco, 2010, p.27)

Figura 16

Carrier-Grade NAT



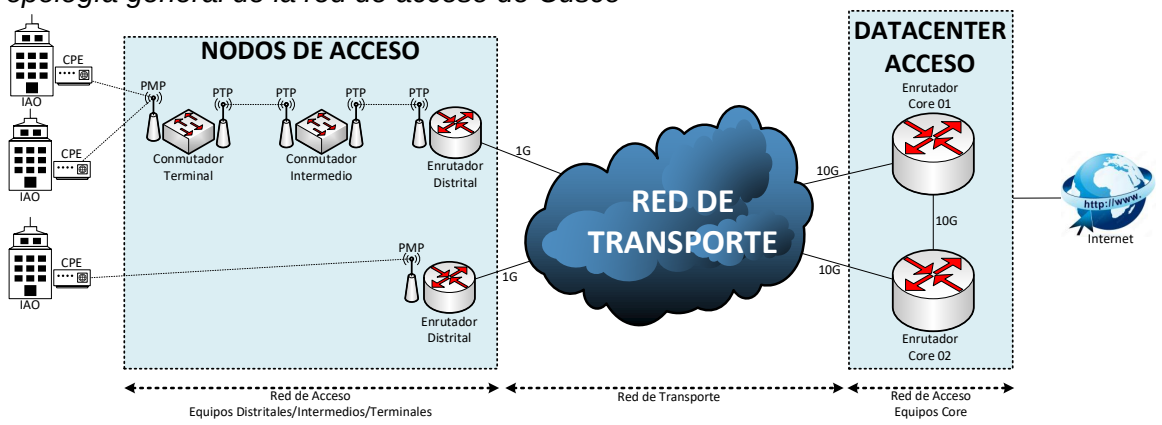
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Elección de enrutadores

La red acceso de Cusco se compone de un nodo *Core*, nodos distritales, nodos intermedios y nodos terminales. La figura 17 ilustra la manera en que la red de acceso emplea la red de transporte ya establecida para vincular los equipos distritales, intermedios y terminales con los equipos *core* situados en la capital de la región.

Figura 17

Topología general de la red de acceso de Cusco



Los equipos que componen la red de acceso de Cusco son los siguientes:

3.1.1 Enrutador del core de acceso

Los enrutadores de *core* se encuentran en el *Datacenter* de la región. Como se ilustra en la figura 17, ofrecen a las instituciones de áreas rurales el servicio de Internet. También son los encargados de la agregación de la totalidad del tráfico del internet de todas las instituciones de la región y terminarlo en un proveedor público de internet (ISP). Esta función es conocida como *Router de Peering*.

La tabla 6 indica la cantidad de instituciones consideradas en las bases del proyecto (Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Proinversión, 2015, p.1). Cada una de estas instituciones rurales tiene un Customer Premises Equipment (CPE), el cual es un subscriptor que deberá salir a Internet.

Tabla 6

Cantidad de instituciones de zonas rurales del proyecto

Institución de zonal rural	Cantidad
Colegios estatales	390
Centro de salud	147
Dependencias policiales (comisarías)	44
TOTAL	**581**

De acuerdo a las características mencionadas y la cantidad de subscriptores que necesitan salir a Internet, se eligió como enrutador *Core* al equipo 7750 SR7 de la marca Nokia. Además, se implementó con redundancia de equipos, por lo que se instalaron 02 enrutadores de *Core* de las mismas características.

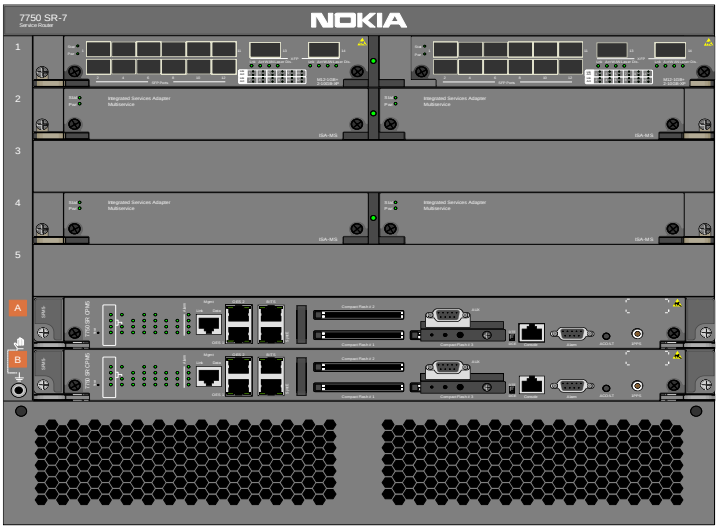
El equipo 7750 SR7 está equipado con *Switch Fabric Module* (SFM, tarjeta encargada de proporcionar funcionalidad del plano de datos) y *Control Processor Module* (CPM, tarjeta insertada dentro del SFM y encargada de proporcionar funcionalidad del plano de control). Este enrutador posee una capacidad de conmutación total de 2 Tb/s *Half Duplex* (200 Gb/s *Full Duplex* por ranura).

La figura 18 nos muestra que hay dos *slots* en la parte inferior, marcadas como A y B, las cuales están reservadas para SF/CPMs. Al menos una SF/CPM debe estar instalada para operar el equipo y se requieren dos para redundancia. En los enrutadores de *Core* se tiene un sistema redundante, donde la SF/CPM redundante opera en modo *Standby* y toma la operación del sistema en caso de que la primaria falle. Los *slots* superiores se numeran de 1 hasta 5 y están reservadas para *Input/Output Modules* (IOMs), tarjetas responsables de hacer encolamiento, procesar y reenviar datos. Los *slots* están orientados horizontalmente y se pueden instalar máximo dos *Media Dependent Adapters* (MDA) en cada IOM. Las MDA se pueden instalar en cualquier *slot* 1 (izquierda) o 2 (derecha) sobre la IOM y proporcionan las interfaces físicas. También se puede instalar como máximo dos *Multiservice Integrated Service Adapters* (MS-ISA) en cada IOM. Estas tarjetas proporcionan procesamiento y almacenamiento en búfer especializados para aplicaciones como son *Application Assurance* (AA), Túneles IPSec y la función de NAT

que se usa para esta red, referida como CG-NAT o C*arrier Grade Network Address Translation*.

Figura 18

Vista frontal del enrutador de core Nokia 7750 SR7



En la tabla 7 se muestra las principales características del enrutador Nokia 7750 SR7 que se utilizan en la red de acceso. Dicha información se obtuvo del documento *datasheet* del enrutador en mención, mostrado en el anexo 1: *Datasheet Nokia 7750 Service Router Release 15*.

Tabla 7

Características y protocolos soportados por enrutador Nokia 7750 SR7

#	Enrutador Nokia 7750 SR7
1	**Broadband Network Gateway (BNG)** Gestión de subscriptores.
2	**Provider Edge (PE) router** Enrutador para Virtual Private Network (VPN) compatible con MPLS y acceso a Internet.
3	**Protocolos Soportados** - Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS). - Multiprotocol Border Gateway Protocol (MBGP) IPv4 and IPv6 unicast routing. - Funciones MPLS: Label Edge Router (LER) y Label Switching Router (LSR). - Label Distribution Protocol (LDP) y Resource Reservation Protocol (RSVP) para señalización MPLS e ingeniería de tráfico. - Multipoint Ethernet VPLS.

3.1.2 Enrutador distrital

El nodo distrital es el que se vincula con la red de transporte con el objetivo de lograr una conexión IP con los enrutadores de *core* de la región. Como se observa en la figura 17, el Nodo distrital es la cabecera de los nodos intermedios y terminales que pertenezcan a ese distrital o clúster (como se llamará también) y de quien dependen su conectividad hasta el *core* de la región. Puede tener un punto de presencia (POP); es decir, por lo menos tiene un CPE de una institución rural que pertenece a dicho nodo.

En la tabla 8, se tiene los 83 nodos distritales que se implementaron en la región de Cusco.

Tabla 8

Lista de nodos distritales de la región Cusco

#	Provincia	Distrito	Nombre de nodo distrital
1	ACOMAYO	ACOPIA	ACOPIA
2	ACOMAYO	ACOS	ACOS
3	ACOMAYO	MOSOC LLACTA	MOSOC LLACTA
4	ACOMAYO	POMACANCHI	POMACANCHI
5	ACOMAYO	RONDOCAN	RONDOCAN
6	ACOMAYO	SANGARARA	SANGARARA
7	ANTA	MOLLEPATA	MOLLEPATA
8	ANTA	LIMATAMBO	LIMATAMBO
9	ANTA	HUAROCONDO	HUAROCONDO
10	ANTA	CHINCHAYPUJIO	CHINCHAYPUJIO
11	ANTA	ZURITE	ZURITE
12	CALCA	COYA	COYA
13	CALCA	LARES	LARES
14	CALCA	SAN SALVADOR	SAN SALVADOR
15	CALCA	TARAY	TARAY
16	CALCA	YANATILE	QUEBRADA HONDA
17	CANAS	CHECCA	CHECCA
18	CANAS	KUNTURKANKI	EL DESCANSO
19	CANAS	LANGUI	LANGUI
20	CANAS	LAYO	LAYO
21	CANAS	QUEHUE	QUEHUE
22	CANAS	TUPAC AMARU	TUNGASUCA
23	CANCHIS	MARANGANI	HUATAPAMPA
24	CANCHIS	PITUMARCA	PITUMARCA (@PITUMARCA)

25	CANCHIS	MARANGANI	MARANGANI
26	CHUMBIVILCAS	SANTO TOMAS	PULPERA
27	CHUMBIVILCAS	CAPACMARCA	CAPACMARCA
28	CHUMBIVILCAS	CHAMACA	CHAMACA
29	CHUMBIVILCAS	COLQUEMARCA	COLQUEMARCA
30	CHUMBIVILCAS	LIVITACA	LIVITACA
31	CHUMBIVILCAS	LLUSCO	LLUSCO
32	CHUMBIVILCAS	VELILLE	VELILLE
33	CUSCO	CCORCA	CCORCCA
34	ESPINAR	CONDOROMA	CONDOROMA
35	ESPINAR	OCORURO	OCORURO
36	ESPINAR	PALLPATA	HECTOR TEJADA
37	ESPINAR	PICHIGUA	PICHIGUA (@PICHIGUA)
38	ESPINAR	SUYCKUTAMBO	VIRGINIYOC
39	ESPINAR	ALTO PICHIGUA	ACCOCUNCA
40	ESPINAR	COPORAQUE	COPORAQUE
41	LA CONVENCION	ECHARATE	ECHARATE
42	LA CONVENCION	ECHARATE	KITENI
43	LA CONVENCION	ECHARATE	PALMA REAL
44	LA CONVENCION	HUAYOPATA	HUYRO
45	LA CONVENCION	MARANURA	MARANURA
46	LA CONVENCION	OCOBAMBA	KQUELCCAYBAMBA
47	LA CONVENCION	QUELLOUNO	QUELLOUNO
48	LA CONVENCION	KIMBIRI	KIMBIRI
49	LA CONVENCION	KIMBIRI	LOBO TAHUANTINSUYO
50	LA CONVENCION	SANTA TERESA	SANTA TERESA
51	LA CONVENCION	VILCABAMBA	LUCMA
52	LA CONVENCION	VILCABAMBA	VILLA VIRGEN
53	LA CONVENCION	PICHARI	PICHARI
54	LA CONVENCION	PICHARI	JATUN RUMI
55	PARURO	CCAPI	CCAPI
56	PARURO	COLCHA	COLCHA
57	PARURO	HUANOQUITE	HUANOQUITE
58	PARURO	OMACHA	OMACHA
59	PARURO	PACCARITAMBO	PACCARITAMBO
60	PARURO	PILLPINTO	PILLPINTO
61	PARURO	YAURISQUE	YAURISQUE
62	PAUCARTAMBO	CHALLABAMBA	CHALLABAMBA
63	PAUCARTAMBO	COLQUEPATA	COLQUEPATA
64	PAUCARTAMBO	HUANCARANI	HUANCARANI
65	PAUCARTAMBO	KOSÑIPATA	PILLCOPATA

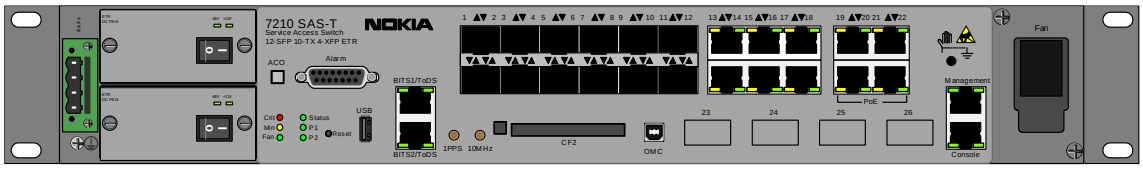
66	QUISPICANCHI	CAMANTI	QUINCEMIL
67	QUISPICANCHI	CCARHUAYO	CCARHUAYO
68	QUISPICANCHI	CCATCA	CCATCA
69	QUISPICANCHI	HUARO	HUARO
70	QUISPICANCHI	LUCRE	LUCRE
71	QUISPICANCHI	MARCAPATA	MARCAPATA
72	QUISPICANCHI	OCONGATE	OCONGATE
73	QUISPICANCHI	QUIQUIJANA	QUIQUIJANA
74	QUISPICANCHI	CUSIPATA	CUSIPATA
75	URUBAMBA	HUAYLLABAMBA	HUAYLLABAMBA (@HUAYLLABAMBA)
76	URUBAMBA	MARAS	MARAS
77	URUBAMBA	OLLANTAYTAMBO	PACHAR
78	URUBAMBA	YUCAY	YUCAY
79	PARURO	ACCHA	ACCHA
80	CHUMBIVILCAS	QUINOTA	QUIÑOTA
81	CALCA	CALCA	LAMAY
82	CANCHIS	COMBAPATA	COMBAPATA
83	CALCA	PISAC	CUYO GRANDE

Los enrutadores distritales agrupan el tráfico que proviene de sus subscriptores vinculados directamente a ellos y de los equipos de los nodos intermedios y terminales, con el objetivo de trasladar este tráfico a los enrutadores de distribución de la red de transporte regional y, finalmente, llegar a los enrutadores de *core*.

Se eligió como enrutador distrital al equipo 7210 SAS-T de la marca Nokia, capaz de manejar servicios de capa 2. Como se observa en la figura 19, este equipo soporta hasta 12 puertos ópticos 100/1000 SFP, 10 puertos de cobre 10/100/1000 SFP y 4 puertos 10 Gig XFP-Based y fuente de poder redundante.

Figura 19

Vista frontal del enrutador distrital Nokia 7210 SAS-T



En la tabla 9 se muestra las principales características del enrutador Nokia 7210 SAS-T que se utilizan en la red de acceso. Dicha información se obtuvo del documento *Datasheet* del enrutador en mención, mostrado en el anexo 2: *Datasheet Nokia 7210 Service Access Switch Release 9.0.*

Tabla 9

Características y protocolos soportados por enrutador Nokia 7210 SAS-T

#	Enrutador Nokia 7210 SAS-T
	Servicios
1	- Servicio virtual private network (VPN) de Capa 2: Virtual Leased Line (VLL) and Virtual Private LAN Service (VPLS) - IP VPN services (IPv4 and IPv6).
	Protocolos Soportados
2	- Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS) (IPv4 and IPv6), incluyendo soporte de Ingeniería de Tráfico. - IEEE 802.1Q (VLAN) y 802.1ad (QinQ) - Funciones MPLS: Label Edge Router (LER) y Label Switch Router (LSR) - Resource Reservation Protocol — TE (RSVP-TE) - Label Distribution Protocol (LDP), LDP over RSVP y Targeted LDP (T-LDP)

3.1.3 Equipos intermedios y terminales

Los nodos intermedios son los nodos cuyo propósito es retransmitir la señal que se origina directa o indirectamente desde un nodo distrital para ser retransmitida hacia un nodo final. Este nodo podría contar con un POP. Los nodos terminales son los que desempeñan el papel de POP.

Los equipos intermedios y terminales permiten hacer la agregación del tráfico de la red inalámbrica que conecta a las instituciones de las zonas rurales y, posteriormente,

enviar dicho tráfico a los enrutadores distritales del cluster o cabecera que pertenecen. En el anexo 3, se tiene el listado de los nodos intermedios y terminales implementados y a qué nodo distrital o clúster pertenecen.

En la figura 20 se muestra el conmutador OS6450-24 de la marca *Alcatel-Lucent Enterprise*, destinado como equipo para los nodos intermedios y terminales.

Figura 20

Vista frontal del equipo conmutador OS6450-24 de los nodos intermedios y terminales

Nota: tomado de Anexo 4 - *Datasheet Alcatel-Lucent OmniSwitch 6450*

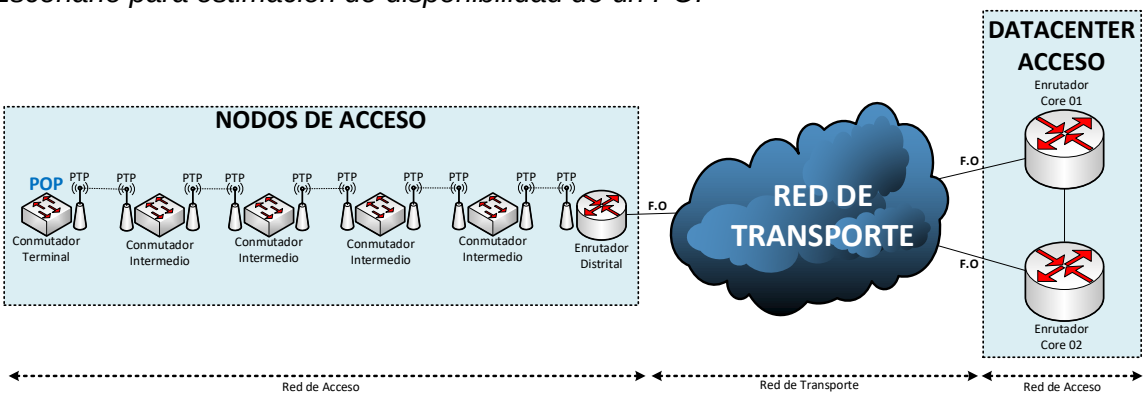
Este equipo conmutador permite diferenciar los tráficos por tipo de subscriptores (colegios, centros de salud y policíales) gracias a que soporta el uso de IEEE 802.1Q (VLAN). Dicha información se obtuvo del documento *Datasheet* del conmutador en mención, mostrado en el anexo 4: *Datasheet Alcatel-Lucent OmniSwitch 6450*.

3.2 Estimación de la disponibilidad

En la figura 21 se muestra el escenario que se utilizará para hacer el ejemplo del cálculo de la estimación de disponibilidad de un nodo POP, el cual es un nodo terminal con cinco saltos de radioenlace para llegar hasta el distrital y, posteriormente, hasta los enrutadores de *core*. Dicho escenario es el que tiene más saltos intermedios dentro de la red de acceso; por lo cual, es el escenario que presentará la menor disponibilidad en la red.

Figura 21

Escenario para estimación de disponibilidad de un POP



La fórmula 2 se aplica para calcular la disponibilidad de cada equipo, utilizando los valores de MTBF presentados en la tabla 5 y el MTTR de 24h establecido para la red, de los cuales se derivan los siguientes valores de disponibilidad.

- Estimación de la disponibilidad del sistema nodo *core* acceso:

$$Disponibilidad_{7750\ SR7} = \frac{\text{MTBF (h)}}{\text{MTBF (h)} + \text{MTTR(h)}} = \frac{9{,}330{,}911}{9{,}330{,}911 + 24} = 99.9997428\%$$

$$Disponibilidad_{ENERGIA\ S/REDUNDANCIA} = \frac{\text{MTBF (h)}}{\text{MTBF (h)} + \text{MTTR(h)}} = \frac{350{,}000}{350{,}000 + 24} = 99.9931433\%$$

$$Disponibilidad_{ENERGIA\ C/REDUNDANCIA} = 1 - (1 - Disponibilidad_{ENERGIA\ S/REDUNDANCIA}) * (1 - Disponibilidad_{ENERGIA\ S/REDUNDANCIA}) =$$
$$= 1 - (1 - 0.999931433) * (1 - 0.999931433) = 99.99999953\%$$

$$\boldsymbol{Disponibilidad_{NODO\ CORE}} = Disponibilidad_{7750\ SR7} * Disponibilidad_{ENERGIA\ C/REDUNDANCIA}$$
$$= 0.999997428 * 0.9999999953 = \mathbf{99.99974232}\%$$

- Estimación de la disponibilidad del sistema nodo distrital:

$$Disponibilidad_{7210\ SAS-T} = \frac{\text{MTBF (h)}}{\text{MTBF (h)} + \text{MTTR(h)}} = \frac{850{,}683}{850{,}683 + 24} = 99.9971788\%$$

$$\boldsymbol{Disponibilidad_{NODO\ DISTRITAL}} = Disponibilidad_{7210\ SAS-T} * Disponibilidad_{ENERGIA\ S/REDUNDANCIA}$$
$$= 0.999971788 * 0.999931433 = \mathbf{99.99032234}\%$$

- Estimación de la disponibilidad del sistema nodo intermedio/terminal:

$$Disponibilidad_{OS6450-24} = \frac{\text{MTBF (h)}}{\text{MTBF (h)} + \text{MTTR(h)}} = \frac{894{,}251}{894{,}251 + 24} = 99.99731626\%$$

$$\boldsymbol{Disponibilidad_{NODO\ INTERMEDIO/TERMINAL}} = Disponibilidad_{OS6450-24} * Disponibilidad_{ENERGIA\ S/REDUNDANCIA}$$
$$= 0.999973163 * 0.999931433 = \mathbf{99.99045977}\%$$

- Estimación de la disponibilidad del enlace PTP entre nodos de acceso:

$$\boldsymbol{Disponibilidad_{ENLACE\ PTP}} = \frac{\text{MTBF (h)}}{\text{MTBF (h)} + \text{MTTR(h)}} = \frac{406{,}902}{406{,}902 + 24} = \mathbf{99.9941021}\%$$

- Estimación de la disponibilidad del enlace de fibra óptica. Para el caso del enlace de F.O. entre distrital y distribución (nodo que pertenece a la red de transporte), se considerará sin redundancia. Para el enlace de F.O. entre *core* acceso y *core* de transporte se considerará con redundancia.

$$\boldsymbol{Disponibilidad_{F.O.\ S/REDUNDANCIA}} = \frac{\text{MTBF (h)}}{\text{MTBF (h)} + \text{MTTR(h)}} = \frac{10{,}950}{10{,}950 + 24} = \mathbf{99.78130126}\%$$

$$\boldsymbol{Disponibilidad_{F.O.\ C/REDUNDANCIA}}$$
$$= 1 - (1 - Disponibilidad_{F.O.\ S/REDUNDANCIA}) * (1 - Disponibilidad_{F.O.\ S/REDUNDANCIA}) =$$
$$= 1 - (1 - 0.997813013) * (1 - 0.997813013) = \mathbf{99.99952171}\%$$

- Para la disponibilidad de la red de transporte, consideramos el escenario de que exista un nodo de distribución sin redundancia física de rutas, por lo que su disponibilidad será 99.9%; dado que este tipo de escenario es el más frecuentemente presente en la red de transporte.

Con la información anterior, en la tabla 10 se tiene el resumen de disponibilidades por cada componente de la red.

Tabla 10

Resumen de estimación de la disponibilidad por componente de la red

Componente de la Red de Acceso	Disponibilidad
Sistema Nodo Core Acceso (NOC Acceso)	99.99974232%
Enlace Fibra Óptica Redundando NOC Acceso - NOC Transporte	99.99952171%
Red de Transporte (Distribución sin redundancia de rutas)	99.90000000%
Enlace Fibra Óptica No Redundado Nodo Distrital - Nodo Red de Transporte	99.78130126%
Sistema Nodo Distrital (Enrutador + Energía)	99.99032234%
Sistema Nodo Intermedio (Conmutador + Energía)	99.99045977%
Sistema Nodo Terminal (Conmutador + Energía)	99.99045977%
Enlace PTP Nokia (MW)	99.99410212%

Con los valores estimados de disponibilidad por componente de la red mostrado en la tabla 10 y teniendo en cuenta el escenario de la figura 21 que está compuesto por Nodo Core Acceso + Enlace de F.O con Redundancia + Red de Transporte + Enlace de F.O sin Redundancia + Red de Nodos Acceso (05 saltos, Distrital – Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Terminal). El cálculo de la disponibilidad del nodo POP Terminal de la figura 21 es el siguiente:

$$\boldsymbol{Disponibilidad_{POP}}$$

$$= (Disponibilidad_{NODO\ CORE}) * (Disponibilidad_{F.O.\ C/REDUNDANCIA})$$
$$* (Disponibilidad_{RED\ DE\ TRANSPORTE}) * (Disponibilidad_{F.O.\ S/REDUNDANCIA})$$
$$* (Disponibilidad_{NODO\ DISTRITAL}) * (Disponibilidad_{ENLACE\ PTP})$$
$$* (Disponibilidad_{NODO\ INTERMEDIO}) * (Disponibilidad_{ENLACE\ PTP})$$
$$* (Disponibilidad_{NODO\ INTERMEDIO}) * (Disponibilidad_{ENLACE\ PTP})$$
$$* (Disponibilidad_{NODO\ INTERMEDIO}) * (Disponibilidad_{ENLACE\ PTP})$$
$$* (Disponibilidad_{NODO\ INTERMEDIO}) * (Disponibilidad_{ENLACE\ PTP})$$
$$* (Disponibilidad_{NODO\ TERMINAL})$$

$$\boldsymbol{Disponibilidad_{POP}}$$

$$= (0.9999974232) * (0.9999952171) * (0.999) * (0.9978130126) * (0.9999032234)$$
$$* (0.9999410212) * (0.9999045977) * (0.9999410212) * (0.9999045977)$$
$$* (0.9999410212) * (0.9999045977) * (0.9999410212) * (0.9999045977)$$
$$* (0.9999410212) * (0.9999045977) = \mathbf{99.59422944}\%$$

Tomando en cuenta el cálculo anterior, se presenta la tabla 11 que nos muestra la estimación de disponibilidad para todos los escenarios posibles que se presentan en la red.

Tabla 11

Disponibilidad para los escenarios posibles de la red

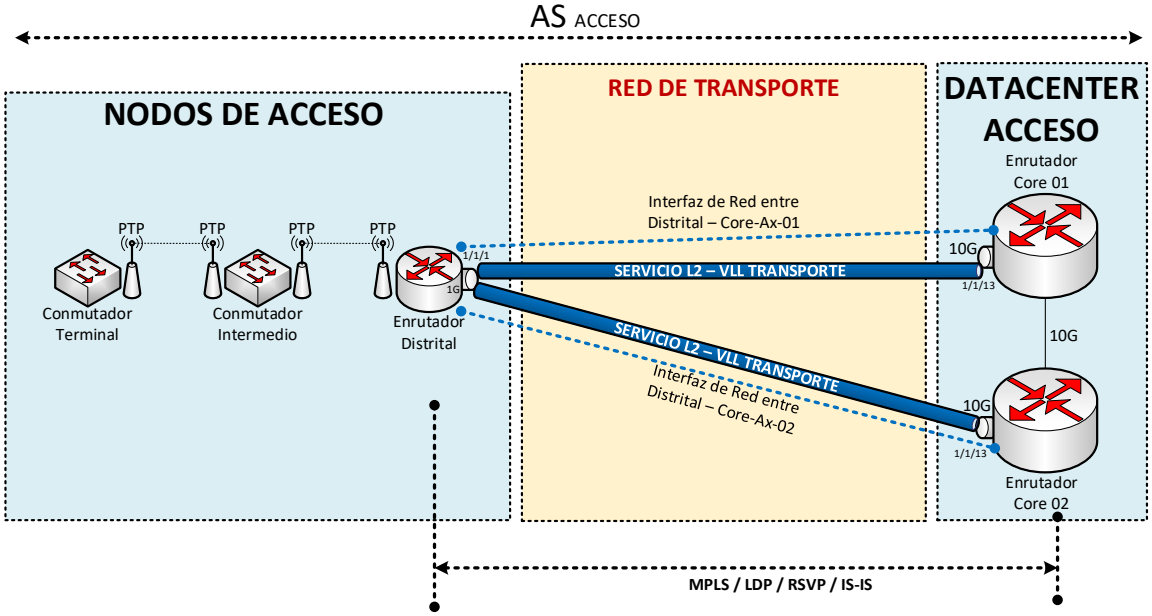
Escenarios posibles en la red de acceso	Cantidad de saltos	Disponibilidad hasta el POP
Nodo Core Acceso + Enlace de F.O con Redundancia + Red de Transporte + Enlace de F.O sin Redundancia + Red de Nodos Acceso (01 salto, Distrital – Radioenlace PTP - Terminal)	1	99.65575279%
Nodo Core Acceso + Enlace de F.O con Redundancia + Red de Transporte + Enlace de F.O sin Redundancia + Red de Nodos Acceso (02 saltos, Distrital – Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Terminal)	2	99.64036839%
Nodo Core Acceso + Enlace de F.O con Redundancia + Red de Transporte + Enlace de F.O sin Redundancia + Red de Nodos Acceso (03 saltos, Distrital – Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Terminal)	3	99.62498636%
Nodo Core Acceso + Enlace de F.O con Redundancia + Red de Transporte + Enlace de F.O sin Redundancia + Red de Nodos Acceso (04 saltos, Distrital – Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Terminal)	4	99.60960671%
Nodo Core Acceso + Enlace de F.O con Redundancia + Red de Transporte + Enlace de F.O sin Redundancia + Red de Nodos Acceso (05 saltos, Distrital – Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Intermedio - Radioenlace PTP - Terminal)	5	99.59422944%

3.3 Implementación del protocolo de enrutamiento y protocolo de etiquetas

Para brindar el servicio final de dar acceso a Internet a las instituciones de las zonas rurales, es necesario, primero, establecer una red IP/MPLS entre los enrutadores de *core* y los enrutadores distritales, y con esto lograr la conectividad IP e intercambio de etiquetas para el transporte y los servicios entre los enrutadores mencionados. En la figura 22 se observa que en la red de acceso utilizan servicios de transporte capa 2 brindados por la red de transporte ya implementada, para conectar los equipos distritales con los equipos *core*. Cada enrutador distrital usa un puerto con módulo óptico (inicialmente con capacidad de 1Gbps) hacía esa red de transporte y en los enrutadores de *core* usan un puerto con módulo óptico de 10 Gbps hacía esa red de transporte. Este servicio brindado por la red de transporte simula como si hubiese un cable conectado entre el enrutador distrital y enrutadores de *core*.

Figura 22

Diagrama lógico de la red de acceso IP/MPLS



El procedimiento para configurar y establecer una Red IP/MPLS es el siguiente:

3.3.1 Configuración puertos de 1 GBps y 10 GBps

Los puertos de interfaces de 1Gbps y 10 Gbps se configuran con un tipo de encapsulación Dot1q (IEEE 802.1Q), que permite asociar a uno o más servicios sobre ese mismo puerto. El valor de *Maximum Transmission Unit* (MTU) entre cualquier enrutador de la red de transporte y el enrutador distrital es definido en 9000 bytes; y en los enrutadores de *core* es definido en 9212 bytes, lo que nos permitirá pasar tramas *Ethernet Jumbos* (tramas mayores a 1500 bytes de carga útil). También se habilita el protocolo *Link Layer Discovery Protocol* (LLDP), que permite compartir información de identidad, capacidad y vecinos entre los equipos de la red.

Los puertos se pueden configurar como *Access, Hibrido o Network*.

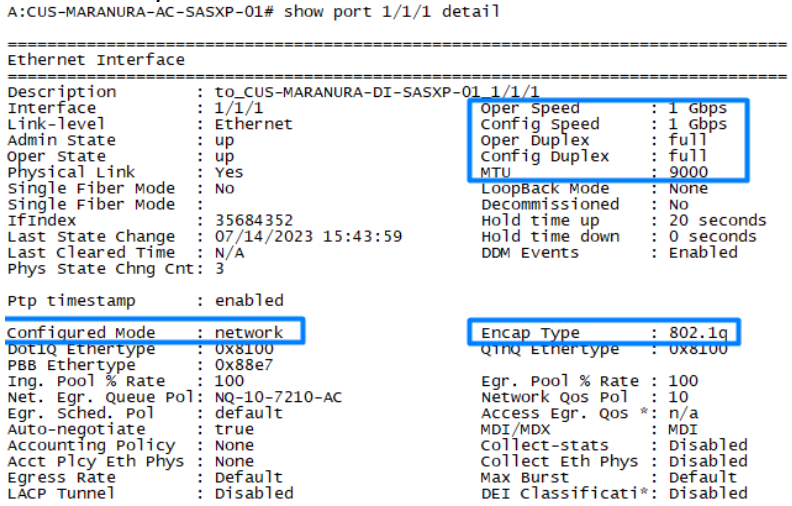
- Los puertos en modo *Access* permiten asociar el puerto a un servicio, donde se puede definir la encapsulación apropiada para diferenciar los servicios en el mismo puerto.

- En el modo *Network* solo se puede vincular el puerto a una interfaz de red y es necesario para el protocolo MPLS. La conexión de 1 Gbps del router distrital a la red de transporte se encuentra en modo *Network*. La figura 23 ilustra la configuración del puerto de 1 Gbps de un enrutador distrital (se utiliza el nodo distrital CU-0183-A01 MARANURA como referencia para las distintas capturas que se presentarán durante el desarrollo de este capítulo, aunque la configuración es la misma en todos los enrutadores distritales).

El Distrital CU-0183-A01 MARANURA es un nodo ubicado en la localidad de Maranura, provincia de La Convención.

Figura 23

Configuración Puerto de 1 Gbps de un Enrutador Distrital



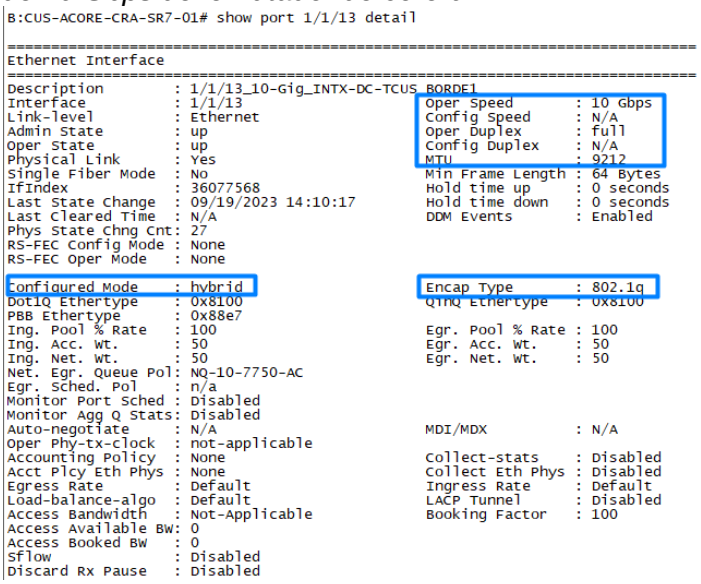
```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show port 1/1/1 detail

===============================================================================
Ethernet Interface
===============================================================================
Description        : to_CUS-MARANURA-DI-SASXP-01 1/1/1
Interface          : 1/1/1                       Oper Speed       : 1 Gbps
Link-level         : Ethernet                    Config Speed     : 1 Gbps
Admin State        : up                          Oper Duplex      : full
Oper State         : up                          Config Duplex    : full
Physical Link      : Yes                         MTU              : 9000
Single Fiber Mode  : No                          LoopBack Mode    : None
Single Fiber Mode  :                             Decommissioned   : No
IfIndex            : 35684352                    Hold time up     : 20 seconds
Last State Change  : 07/14/2023 15:43:59         Hold time down   : 0 seconds
Last Cleared Time  : N/A                         DDM Events       : Enabled
Phys State Chng Cnt: 3

Ptp timestamp      : enabled

Configured Mode    : network                     Encap Type       : 802.1q
Dot1Q Ethertype    : 0x8100                      QinQ Ethertype   : 0x8100
PBB Ethertype      : 0x88e7
Ing. Pool % Rate   : 100                         Egr. Pool % Rate : 100
Net. Egr. Queue Pol: NQ-10-7210-AC               Network Qos Pol  : 10
Egr. Sched. Pol    : default                     Access Egr. Qos *: n/a
Auto-negotiate     : true                        MDI/MDX          : MDI
Accounting Policy  : None                        Collect-stats    : Disabled
Acct Plcy Eth Phys : None                        Collect Eth Phys : Disabled
Egress Rate        : Default                     Max Burst        : Default
LACP Tunnel        : Disabled                    DEI Classificati*: Disabled
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador Distrital CU-0183-A01 MARANURA

- El modo Híbrido requiere la utilización de encapsulación y VLAN vinculadas a las interfaces de red y servicios. Los puertos de 10 GBps de los enrutadores de *core* que se vinculan a la red de transporte operan en modo Híbrido. La figura 24 y la figura 25 ilustran los parámetros configurados del puerto de 10 Gbps de los enrutadores de core 01 y 02, respectivamente.

Figura 24

Configuración puerto de 10 Gbps del enrutador de core 01

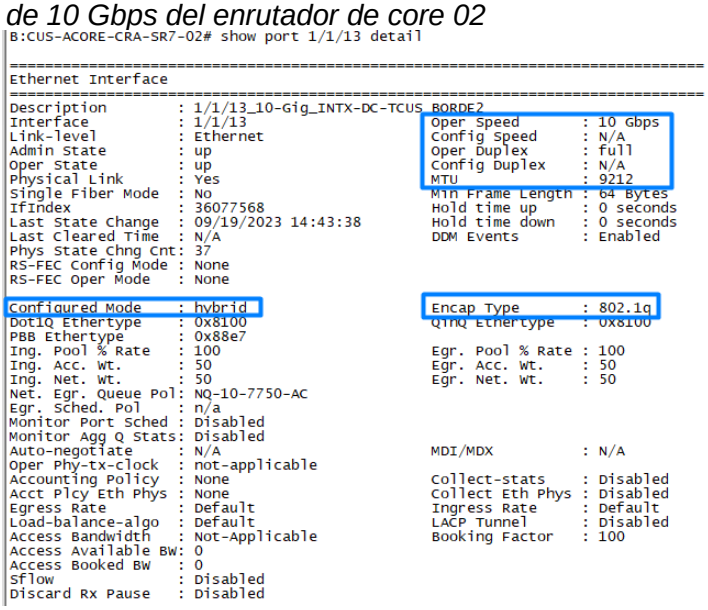


```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show port 1/1/13 detail

===============================================================================
Ethernet Interface
===============================================================================
Description        : 1/1/13_10-Gig_INTX-DC-TCUS_BORDE1
Interface          : 1/1/13                          Oper Speed       : 10 Gbps
Link-level         : Ethernet                        Config Speed     : N/A
Admin State        : up                              Oper Duplex      : full
Oper State         : up                              Config Duplex    : N/A
Physical Link      : Yes                             MTU              : 9212
Single Fiber Mode  : No                              Min Frame Length : 64 Bytes
IfIndex            : 36077568                        Hold time up     : 0 seconds
Last State Change  : 09/19/2023 14:10:17             Hold time down   : 0 seconds
Last Cleared Time  : N/A                             DDM Events       : Enabled
Phys State Chng Cnt: 27
RS-FEC Config Mode : None
RS-FEC Oper Mode   : None

Configured Mode    : hybrid                          Encap Type       : 802.1q
Dot1Q Ethertype    : 0x8100                          QinQ Ethertype   : 0x8100
PBB Ethertype      : 0x88e7
Ing. Pool % Rate   : 100                             Egr. Pool % Rate : 100
Ing. Acc. Wt.      : 50                              Egr. Acc. Wt.    : 50
Ing. Net. Wt.      : 50                              Egr. Net. Wt.    : 50
Net. Egr. Queue Pol: NQ-10-7750-AC
Egr. Sched. Pol    : n/a
Monitor Port Sched : Disabled
Monitor Agg Q Stats: Disabled
Auto-negotiate     : N/A                             MDI/MDX          : N/A
Oper Phy-tx-clock  : not-applicable
Accounting Policy  : None                            Collect-stats    : Disabled
Acct Plcy Eth Phys : None                            Collect Eth Phys : Disabled
Egress Rate        : Default                         Ingress Rate     : Default
Load-balance-algo  : Default                         LACP Tunnel      : Disabled
Access Bandwidth   : Not-Applicable                  Booking Factor   : 100
Access Available BW: 0
Access Booked BW   : 0
Sflow              : Disabled
Discard Rx Pause   : Disabled
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Figura 25

Configuración puerto de 10 Gbps del enrutador de core 02



```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show port 1/1/13 detail

===============================================================================
Ethernet Interface
===============================================================================
Description        : 1/1/13_10-Gig_INTX-DC-TCUS_BORDE2
Interface          : 1/1/13                          Oper Speed       : 10 Gbps
Link-level         : Ethernet                        Config Speed     : N/A
Admin State        : up                              Oper Duplex      : full
Oper State         : up                              Config Duplex    : N/A
Physical Link      : Yes                             MTU              : 9212
Single Fiber Mode  : No                              Min Frame Length : 64 Bytes
IfIndex            : 36077568                        Hold time up     : 0 seconds
Last State Change  : 09/19/2023 14:43:38             Hold time down   : 0 seconds
Last Cleared Time  : N/A                             DDM Events       : Enabled
Phys State Chng Cnt: 37
RS-FEC Config Mode : None
RS-FEC Oper Mode   : None

Configured Mode    : hybrid                          Encap Type       : 802.1q
Dot1Q Ethertype    : 0x8100                          QinQ Ethertype   : 0x8100
PBB Ethertype      : 0x88e7
Ing. Pool % Rate   : 100                             Egr. Pool % Rate : 100
Ing. Acc. Wt.      : 50                              Egr. Acc. Wt.    : 50
Ing. Net. Wt.      : 50                              Egr. Net. Wt.    : 50
Net. Egr. Queue Pol: NQ-10-7750-AC
Egr. Sched. Pol    : n/a
Monitor Port Sched : Disabled
Monitor Agg Q Stats: Disabled
Auto-negotiate     : N/A                             MDI/MDX          : N/A
Oper Phy-tx-clock  : not-applicable
Accounting Policy  : None                            Collect-stats    : Disabled
Acct Plcy Eth Phys : None                            Collect Eth Phys : Disabled
Egress Rate        : Default                         Ingress Rate     : Default
Load-balance-algo  : Default                         LACP Tunnel      : Disabled
Access Bandwidth   : Not-Applicable                  Booking Factor   : 100
Access Available BW: 0
Access Booked BW   : 0
Sflow              : Disabled
Discard Rx Pause   : Disabled
```

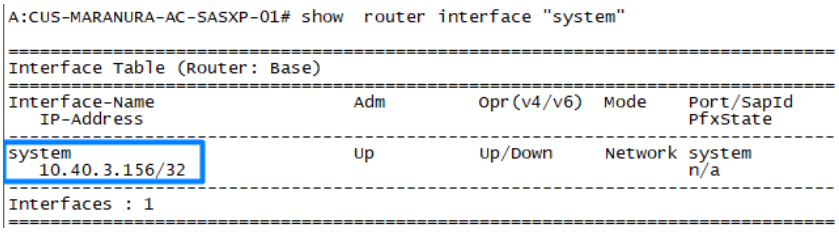
Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

3.3.2 Configuración de interfaz de sistema

La interfaz de sistema (*System Interface*) también se utiliza para referirse como una interfaz *loopback*. Cada enrutador de la red debe poseer una IP asignada con máscara 32. Las IP de sistema asignadas y configuradas para un enrutador distrital, enrutador de *core* 01 y enrutador de *core* 02, respectivamente, se presentan en las figuras 26, 27 y 28.

Figura 26

IP de Sistema del enrutador distrital Maranura

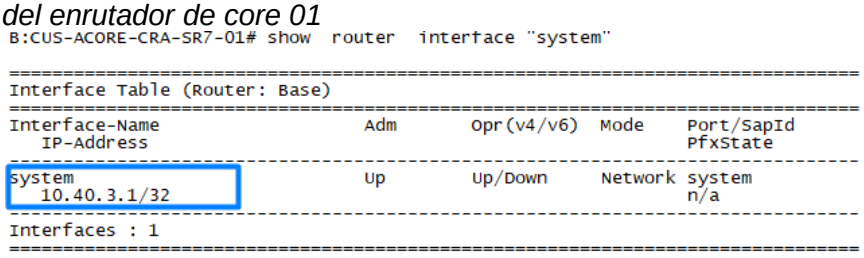


```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show  router interface "system"

===============================================================================
Interface Table (Router: Base)
===============================================================================
Interface-Name                   Adm       Opr(v4/v6)  Mode    Port/SapId
   IP-Address                                                   PfxState
-------------------------------------------------------------------------------
system                           Up        Up/Down     Network system
   10.40.3.156/32                                               n/a
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador distrital CU-0183-A01 MARANURA

Figura 27

IP de Sistema del enrutador de core 01

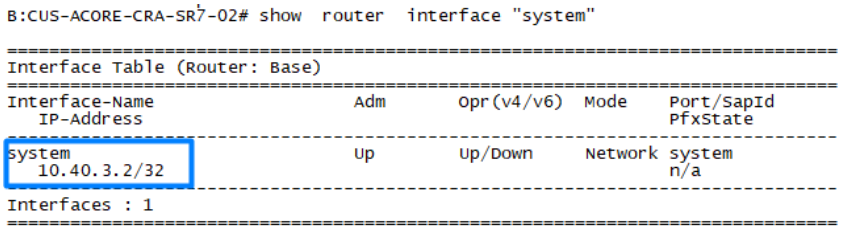


```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show  router  interface "system"

===============================================================================
Interface Table (Router: Base)
===============================================================================
Interface-Name                   Adm       Opr(v4/v6)  Mode    Port/SapId
   IP-Address                                                   PfxState
-------------------------------------------------------------------------------
system                           Up        Up/Down     Network system
   10.40.3.1/32                                                 n/a
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Figura 28

IP de Sistema del enrutador de core 02



```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show  router  interface "system"

===============================================================================
Interface Table (Router: Base)
===============================================================================
Interface-Name                   Adm       Opr(v4/v6)  Mode    Port/SapId
   IP-Address                                                   PfxState
-------------------------------------------------------------------------------
system                           Up        Up/Down     Network system
   10.40.3.2/32                                                 n/a
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

3.3.3 Configuración de Interfaz de red

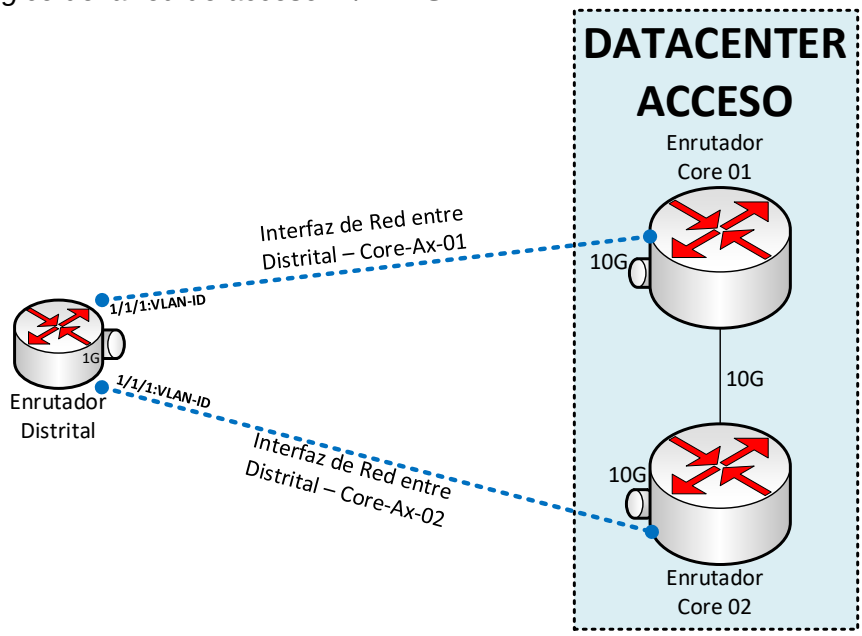
La interfaz de red es una entidad lógica que permite asociar un puerto físico o lógico. El nombre de las interfaces permite identificar el destino de una conexión física. Estas interfaces permiten conectar los equipos entre sí. Se define un puerto y una dirección IP para que la interfaz. También se habilita *Bidirectional Forwarding Detection* (BFD) como mecanismo para mejorar el tiempo de detección de fallas sobre la interfaz.

En la figura 29 se observa que cada enrutador distrital tendrá configurado 02 interfaces de red asociado al puerto de 1G diferenciado con VLAN, una con dirección al Core-01 y otra con dirección al Core-02. De igual forma, en los enrutadores de *core*, se

tendrá configurado una interfaz de red a cada enrutador distrital asociado al puerto de 10G donde se usará la misma VLAN que se tiene del lado del distrital.

Figura 29

Diagrama lógico de la red de acceso IP/MPLS



En la figura 30 se muestra las dos interfaces configuradas en el enrutador distrital hacía cada enrutador de *core*. Se puede observar que usa el mismo puerto, pero se diferencian por la VLAN (encapsulación Dot1q) asociada hacía cada enrutador de *core*.

Figura 30

Interfaces de red del enrutador distrital Maranura

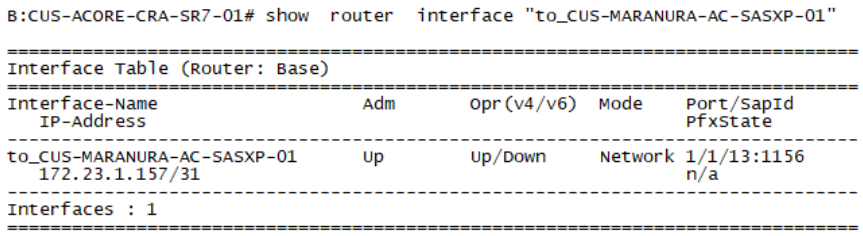
```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show router interface

===============================================================================
Interface Table (Router: Base)
===============================================================================
Interface-Name                   Adm       Opr(v4/v6)  Mode    Port/SapId
   IP-Address                                                  PfxState
-------------------------------------------------------------------------------
loopback                         Up        Up/Down     Network loopback
   10.40.7.156/32                                              n/a
system                           Up        Up/Down     Network system
   10.40.3.156/32                                              n/a
to_CUS-ACORE-CRA-SR7-01          Up        Up/Down     Network 1/1/1:1156
   172.23.1.156/31                                             n/a
to_CUS-ACORE-CRA-SR7-02          Up        Up/Down     Network 1/1/1:2156
   172.23.2.156/31                                             n/a
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador Distrital CU-0183-A01 MARANURA

En la figura 31 y figura 32 se muestra la interfaz configurada hacía el distrital Maranura en el enrutador de Core 01 y enrutador de Core 02 respectivamente.

Figura 31

Interfaz de red del enrutador de Core 01 hacía el distrital Maranura

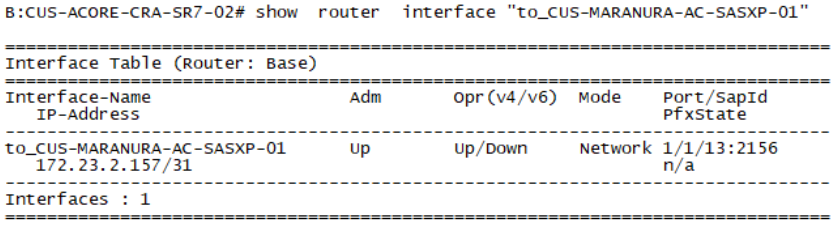


```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show  router  interface "to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01"

===============================================================================
Interface Table (Router: Base)
===============================================================================
Interface-Name                   Adm       Opr(v4/v6)  Mode    Port/SapId
   IP-Address                                                   PfxState
-------------------------------------------------------------------------------
to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01      Up        Up/Down     Network 1/1/13:1156
   172.23.1.157/31                                              n/a
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Figura 32

Interfaz de red del enrutador de Core 02 hacía el distrital Maranura



```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show  router  interface "to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01"

===============================================================================
Interface Table (Router: Base)
===============================================================================
Interface-Name                   Adm       Opr(v4/v6)  Mode    Port/SapId
   IP-Address                                                   PfxState
-------------------------------------------------------------------------------
to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01      Up        Up/Down     Network 1/1/13:2156
   172.23.2.157/31                                              n/a
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
```

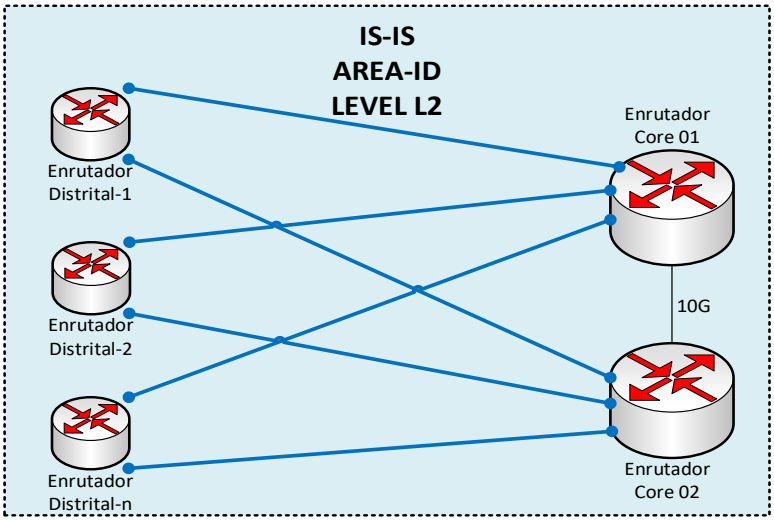
Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

3.3.4 Configuración de protocolo de enrutamiento IS-IS

Se emplea el protocolo IS-IS (*Intermediate System to Intermediate System*) como IGP (*Interior Gateway Protocol*) en el *Backbone* para asegurar la conexión IP entre los nodos distritales y los enrutadores de *core*, estableciéndose una topología de área única, en la que todos los nodos se establecerán como Level-L2 para optimizar y disminuir la base de datos del protocolo. En el protocolo IS-IS se incorpora cada interfaz de red y en cada interfaz de sistema de todos los nodos de la red. Como se puede apreciar en la figura 33, todos los enrutadores distritales establecerán una adyacencia de nivel II IS-IS contra cada enrutador de core en una misma área.

Figura 33

Topología lógica del IS-IS de la red de acceso



Se habilita la opción de *Traffic-Engineering* para permitir calcular rutas utilizando la base de datos de *constrains*. Se define el tiempo de *overload on-boot* para esperar 100 segundos después de un reinicio antes que el router sea utilizado para pasar tráfico a través de él. Se habilita la opción *graceful-restart* para que los enrutadores mantengan las adyacencias durante un tiempo hacia un nodo que falla, cuando el tiempo se cumple, el protocolo de enrutamiento converge para minimizar el tiempo de interrupción de servicio.

En la figura 34 se muestra todas las interfaces agregadas al protocolo IS-IS en el enrutador Distrital, donde se resalta las dos interfaces de red configuradas hacía cada enrutador de *Core*. Dichas interfaces en el IS-IS están activas, esto se logra porque hay conectividad a través de dichas interfaces de red configuradas en el subcapítulo 3.3.3 previamente.

Figura 34

Interfaces IS-IS del enrutador distrital Maranura

```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show router isis interface

===============================================================================
Router Base ISIS Instance 0 Interfaces
===============================================================================
Interface                       Level CircID  Oper State   L1/L2 Metric
-------------------------------------------------------------------------------
system                          L1L2  1       Up           0/0
loopback                        L1L2  2       Up           0/0
to_Segmento-EquiposPasivos      L1L2  7       Up           10/10
to_Segmento-EquiposActivos      L1L2  8       Up           10/10
to_Segmento-ExternosDISTRITAL   L1L2  9       Up           10/10
to_Segmento-RadiosNokia         L1L2  10      Up           10/10
to_Segmento-GESTION-IBB         L1L2  11      Up           10/10
to_CUS-ACORE-CRA-SR7-01         L2    12      Up           -/10
to_CUS-ACORE-CRA-SR7-02         L2    13      Up           -/10
to_Segmento-RadiosUBT           L1L2  14      Up           10/10
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 10
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador Distrital CU-0183-A01 MARANURA

En la figura 35 y figura 36 se muestra que la interfaz de red configurada en cada enrutador de Core hacía el Distrital Maranura están agregadas en el protocolo IS-IS. Cada una de las Interfaces están activas.

Figura 35

Interfaz IS-IS del enrutador de Core 01 hacía el distrital Maranura

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show router isis interface "to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01"

===============================================================================
Rtr Base ISIS Instance 0 Interfaces
===============================================================================
Interface                     Level CircID  Oper      L1/L2 Metric     Type
                                            State
-------------------------------------------------------------------------------
to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01   L2    54      Up        -/10             p2p
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Figura 36

Interfaz IS-IS del enrutador de Core 02 hacía el distrital Maranura

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show router isis interface "to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01"

===============================================================================
Rtr Base ISIS Instance 0 Interfaces
===============================================================================
Interface                     Level CircID  Oper      L1/L2 Metric     Type
                                            State
-------------------------------------------------------------------------------
to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01   L2    53      Up        -/10             p2p
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

La conectividad a los equipos conmutadores de los nodos intermedios/terrminales se logra a través del nodo distrital al que pertenecen. Esto se da mediante una interfaz de gestión dentro de un servicio Capa 3 configurado en el enrutador distrital. Por lo que para que un nodo intermedio/terminal tenga conectividad a los enrutadores de *core*, es necesario que el enrutador distrital cabecera al que pertenecen tenga conectividad primero a estos.

3.3.5 Configuración del protocolo MPLS

El *Multiprotocol Label Switching* (MPLS) se emplea como protocolo de transporte a lo largo de toda la red de acceso. El *Label Distribution Protocol* (LDP) y el *Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering* (RSVP-TE) son utilizados en el *Backbone* de la

red de acceso IP/MPLS de Cusco. El protocolo MPLS agrega a cada interfaz de red y a cada interfaz de sistema de todos los enrutadores de la red.

En la figura 37 se muestra todas las interfaces agregadas al protocolo MPLS en el enrutador distrital. En la figura 38 y figura 39 se muestra que la interfaz de red configurada en cada enrutador de *core* hacía el distrital Maranura están agregadas en el protocolo MPLS. Cada una de las Interfaces MPLS están activas.

Figura 37

Interfaces MPLS del enrutador distrital Maranura

```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show router mpls interface

===============================================================================
MPLS Interfaces
===============================================================================
Interface                          Port-id          Adm    Opr    TE-metric
-------------------------------------------------------------------------------
system                             system           Up     Up     None
  Admin Groups                     None
  SRLG Groups                      None
to_CUS-ACORE-CRA-SR7-01            1/1/1:1156       Up     Up     None
  Admin Groups                     None
  SRLG Groups                      None
to_CUS-ACORE-CRA-SR7-02            1/1/1:2156       Up     Up     None
  Admin Groups                     None
  SRLG Groups                      None
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 3
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador Distrital CU-0183-A01 MARANURA

Figura 38

Interfaz MPLS del enrutador de Core 01 hacía el distrital Maranura

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show router mpls interface "to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01"

===============================================================================
MPLS Interfaces
===============================================================================
Interface                          Port-id          Adm  Opr(V4/V6) TE-
                                                                    metric
-------------------------------------------------------------------------------
to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01        1/1/13:1156      Up   Up/Down    None
  Admin Groups                     None
  SRLG Groups                      None
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01#
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Figura 39

Interfaz MPLS del enrutador de Core 02 hacía el distrital Maranura

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show router mpls interface "to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01"

===============================================================================
MPLS Interfaces
===============================================================================
Interface                          Port-id          Adm  Opr(V4/V6) TE-
                                                                    metric
-------------------------------------------------------------------------------
to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01        1/1/13:2156      Up   Up/Down    None
  Admin Groups                     None
  SRLG Groups                      None
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
```

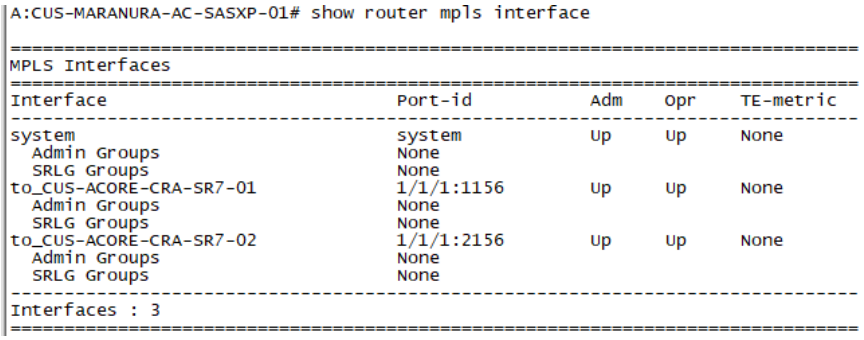
Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

3.3.5.1 Configuración de Protocolo LDP

En la red de acceso, se aplica el *Label Distribution Protocolo* (LDP) que facilita la distribución de etiquetas MPLS para los prefijos IP presentes en la tabla de enrutamiento, asignando estas etiquetas a rutas seleccionadas por los protocolos de enrutamiento IGP (para la red de acceso, este protocolo es IS-IS). Se establecen sesiones LDP entre los equipos para crear adyacencias MPLS remotas y poder señalizar etiquetas de servicios Capa 2. Se aplica el parámetro *Graceful-restart* que permite mejorar el comportamiento del plano de datos en caso de un reinicio del equipo. Cada interfaz de red se añadirá el protocolo LDP. En la figura 40 se muestra todas las interfaces agregadas al protocolo MPLS en el enrutador distrital. Cada una de las Interfaces MPLS están activas.

Figura 40

Interfaces MPLS del enrutador distrital Maranura



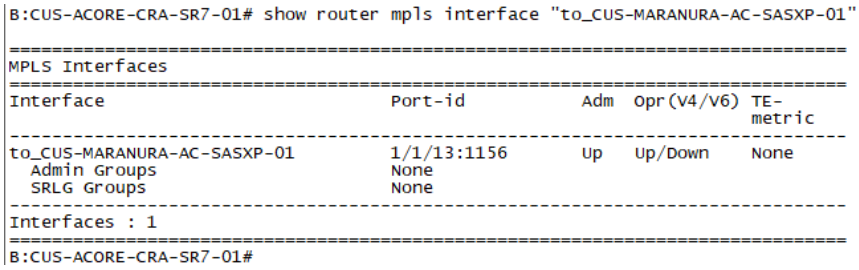
```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show router mpls interface

===============================================================================
MPLS Interfaces
===============================================================================
Interface                          Port-id          Adm    Opr    TE-metric
-------------------------------------------------------------------------------
system                             system           Up     Up     None
  Admin Groups                     None
  SRLG Groups                      None
to_CUS-ACORE-CRA-SR7-01            1/1/1:1156       Up     Up     None
  Admin Groups                     None
  SRLG Groups                      None
to_CUS-ACORE-CRA-SR7-02            1/1/1:2156       Up     Up     None
  Admin Groups                     None
  SRLG Groups                      None
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 3
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador distrital CU-0183-A01 MARANURA

En la figura 41 y figura 42 se muestra que la interfaz de red configurada en cada enrutador de *core* hacía el distrital Maranura están agregadas en el protocolo MPLS. Cada una de las Interfaces MPLS están activas.

Figura 41

Interfaz MPLS del enrutador de Core 01 hacía el distrital Maranura



```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show router mpls interface "to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01"

===============================================================================
MPLS Interfaces
===============================================================================
Interface                          Port-id          Adm  Opr(V4/V6) TE-
                                                                    metric
-------------------------------------------------------------------------------
to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01        1/1/13:1156      Up   Up/Down    None
  Admin Groups                     None
  SRLG Groups                      None
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01#
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Figura 42

Interfaz MPLS del enrutador de Core 02 hacía el distrital Maranura

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show router mpls interface "to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01"

===============================================================================
MPLS Interfaces
===============================================================================
Interface                          Port-id          Adm  Opr(V4/V6) TE-
                                                                    metric
-------------------------------------------------------------------------------
to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01        1/1/13:2156      Up   Up/Down    None
  Admin Groups                     None
  SRLG Groups                      None
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

3.3.6 Conectividad IP y establecimiento de sesiones LDP entre nodos distritales y el core de acceso

Los resultados mostrados son del nodo Distrital CU-0183-A01 MARANURA y los dos enrutadores de *core*, que se tomarán como una muestra de la red de acceso.

3.3.6.1 Establecimiento de adyacencia IS-IS en la Red

En la figura 43, el primer comando muestra que la adyacencia IS-IS en el enrutador distrital Maranura está establecida hacia cada enrutador de *core*; y los otros dos comandos muestra que las IP de sistema de cada enrutador de *core* se han aprendido mediante el protocolo IS-IS en la tabla de enrutamiento.

Figura 43

Adyacencia IS-IS establecida en el enrutador distrital Maranura

```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show  router  isis  adjacency

===============================================================================
Router Base ISIS Instance 0 Adjacency
===============================================================================
System ID               Usage State Hold Interface                    MT-ID
-------------------------------------------------------------------------------
CUS-ACORE-CRA-SR7-01     L2    Up    19   to_CUS-ACORE-CRA-SR7-01       0
CUS-ACORE-CRA-SR7-02     L2    Up    22   to_CUS-ACORE-CRA-SR7-02       0
-------------------------------------------------------------------------------
Adjacencies : 2
===============================================================================
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01#
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show  router route-table 10.40.3.1

===============================================================================
Route Table (Router: Base)
===============================================================================
Dest Prefix[Flags]                              Type    Proto     Age        Pref
      Next Hop[Interface Name]                                    Metric
-------------------------------------------------------------------------------
10.40.3.1/32                                    Remote  ISIS      09d07h12m  18
       172.23.1.157                                                 10
-------------------------------------------------------------------------------
No. of Routes: 1
Flags: n = Number of times nexthop is repeated
       B = BGP backup route available
       L = LFA nexthop available
       S = Sticky ECMP requested
===============================================================================
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01#
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show  router route-table 10.40.3.2

===============================================================================
Route Table (Router: Base)
===============================================================================
Dest Prefix[Flags]                              Type    Proto     Age        Pref
      Next Hop[Interface Name]                                    Metric
-------------------------------------------------------------------------------
10.40.3.2/32                                    Remote  ISIS      09d07h12m  18
       172.23.2.157                                                 10
-------------------------------------------------------------------------------
No. of Routes: 1
Flags: n = Number of times nexthop is repeated
       B = BGP backup route available
       L = LFA nexthop available
       S = Sticky ECMP requested
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador distrital CU-0183-A01 MARANURA

En la figura 44, el primer comando muestra que la adyacencia IS-IS en el enrutador de Core 01 está establecida hacia cada enrutador distrital de la red, resalta el nodo de muestra Maranura y el segundo comando muestra que las IP de sistema de enrutador distrital Maranura se ha aprendido mediante el protocolo IS-IS en su tabla de enrutamiento.

Figura 44

Adyacencia IS-IS establecida en el enrutador de Core 01

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show  router  isis adjacency

===============================================================================
Rtr Base ISIS Instance 0 Adjacency
===============================================================================
System ID               Usage State Hold Interface                     MT-ID
-------------------------------------------------------------------------------
CUS-ACCHA-AC-SASXP-01    L2    Up    27   to_CUS-ACCHA-AC-SASXP-01      0,2
CUS-ACCOCUNC-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-ACCOCUNC-AC-SASXP-01   0,2
CUS-ACOPIA-AC-SASXP-01   L2    Up    24   to_CUS-ACOPIA-AC-SASXP-01     0,2
CUS-ACORE-CRA-SR7-02     L2    Up    22   to_CUS-ACORE-CRA-SR7-02       0
CUS-ACORE-CRA-SR7-02     L2    Up    22   to_CUS-ACORE-CRA-SR7-02_IPT   0
CUS-ACOS-AC-SASXP-01     L2    Up    25   to_CUS-ACOS-AC-SASXP-01       0,2
CUS-CALCA-AC-SASXP-01    L2    Up    20   to_CUS-CALCA-AC-SASXP-01      0,2
CUS-CAPACMAR-AC-SASXP-01 L2    Up    24   to_CUS-CAPACMAR-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CCAPI-AC-SASXP-01    L2    Up    26   to_CUS-CCAPI-AC-SASXP-01      0,2
CUS-CCARHUAY-AC-SASXP-01 L2    Up    25   to_CUS-CCARHUAY-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CCATCA-AC-SASXP-01   L2    Up    27   to_CUS-CCATCA-AC-SASXP-01     0,2
CUS-CCORCCA-AC-SASXP-01  L2    Up    27   to_CUS-CCORCCA-AC-SASXP-01    0,2
CUS-CHALLABA-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-CHALLABA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CHAMACA-AC-SASXP-01  L2    Up    20   to_CUS-CHAMACA-AC-SASXP-01    0,2
CUS-CHECCA-AC-SASXP-01   L2    Up    21   to_CUS-CHECCA-AC-SASXP-01     0,2
CUS-CHINCHAY-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-CHINCHAY-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CHINCHAY-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-CHINCHAY-AC-SASXP-     0,2
                                          01_IPT
CUS-COLCHA-AC-SASXP-01   L2    Up    27   to_CUS-COLCHA-AC-SASXP-01     0,2
CUS-COLQUEMA-AC-SASXP-01 L2    Up    24   to_CUS-COLQUEMA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-COLQUEPA-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-COLQUEPA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-COMBAPAT-AC-SASXP-01 L2    Up    25   to_CUS-COMBAPAT-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CONDOROM-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-CONDOROM-AC-SASXP-01   0,2
CUS-COPORAQU-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-COPORAQU-AC-SASXP-01   0,2
CUS-COYA-AC-SASXP-01     L2    Up    19   to_CUS-COYA-AC-SASXP-01       0,2
CUS-CUSIPATA-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-CUSIPATA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CUYOGRAN-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-CUYOGRAN-AC-SASXP-01   0,2
CUS-ECHARATE-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-ECHARATE-AC-SASXP-01   0,2
CUS-ELDESCAN-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-ELDESCAN-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HECTORTE-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-HECTORTE-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUANCARA-AC-SASXP-01 L2    Up    25   to_CUS-HUANCARA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUANOQUI-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-HUANOQUI-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUARO-AC-SASXP-01    L2    Up    20   to_CUS-HUARO-AC-SASXP-01      0,2
CUS-HUAROCON-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-HUAROCON-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUATAPAM-AC-SASXP-01 L2    Up    24   to_CUS-HUATAPAM-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUAYLLAB-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-HUAYLLAB-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUYRO-AC-SASXP-01    L2    Up    19   to_CUS-HUYRO-AC-SASXP-01      0,2
CUS-JATUNRUM-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-JATUNRUM-AC-SASXP-01   0,2
CUS-KIMBIRI-AC-SASXP-01  L2    Up    23   to_CUS-KIMBIRI-AC-SASXP-01    0,2
CUS-KITENI-AC-SASXP-01   L2    Up    19   to_CUS-KITENI-AC-SASXP-01     0,2
CUS-KQUELCCA-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-KQUELCCA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-LANGUI-AC-SASXP-01   L2    Up    24   to_CUS-LANGUI-AC-SASXP-01     0,2
CUS-LARES-AC-SASXP-01    L2    Up    25   to_CUS-LARES-AC-SASXP-01      0,2
CUS-LAYO-AC-SASXP-01     L2    Up    19   to_CUS-LAYO-AC-SASXP-01       0,2
CUS-LIMATAMB-AC-SASXP-01 L2    Up    25   to_CUS-LIMATAMB-AC-SASXP-01   0,2
CUS-LIVITACA-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-LIVITACA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-LLUSCO-AC-SASXP-01   L2    Up    20   to_CUS-LLUSCO-AC-SASXP-01     0,2
CUS-LOBOTAHU-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-LOBOTAHU-AC-SASXP-01   0,2
CUS-LUCMA-AC-SASXP-01    L2    Up    20   to_CUS-LUCMA-AC-SASXP-01      0,2
CUS-LUCRE-AC-SASXP-01    L2    Up    21   to_CUS-LUCRE-AC-SASXP-01      0,2
CUS-MARANGAN-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-MARANGAN-AC-SASXP-01   0,2
CUS-MARANURA-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-MARAS-AC-SASXP-01    L2    Up    22   to_CUS-MARAS-AC-SASXP-01      0,2
CUS-MARCAPAT-AC-SASXP-01 L2    Up    24   to_CUS-MARCAPAT-AC-SASXP-01   0,2
CUS-MOLLEPAT-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-MOLLEPAT-AC-SASXP-01   0,2
CUS-MOSOCLLA-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-MOSOCLLA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-OCONGATE-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-OCONGATE-AC-SASXP-01   0,2
CUS-OCORURO-AC-SASXP-01  L2    Up    24   to_CUS-OCORURO-AC-SASXP-01    0,2
CUS-PACHAR-AC-SASXP-01   L2    Up    22   to_CUS-OLLANTAY-AC-SASXP-01   0,2
CUS-OMACHA-AC-SASXP-01   L2    Up    25   to_CUS-OMACHA-AC-SASXP-01     0,2
CUS-PACCARIT-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-PACCARIT-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PALMAREA-AC-SASXP-01 L2    Up    24   to_CUS-PALMAREA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PICHARI-AC-SASXP-01  L2    Up    21   to_CUS-PICHARI-AC-SASXP-01    0,2
CUS-PICHIGUA-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-PICHIGUA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PILLCOPA-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-PILLCOPA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PILLPINT-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-PILLPINT-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PITUMARC-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-PITUMARC-AC-SASXP-01   0,2
CUS-POMACANC-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-POMACANC-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PULPERA-AC-SASXP-01  L2    Up    22   to_CUS-PULPERA-AC-SASXP-01    0,2
CUS-QUEBRADA-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-QUEBRADA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-QUEHUE-AC-SASXP-01   L2    Up    21   to_CUS-QUEHUE-AC-SASXP-01     0,2
CUS-QUELLOUN-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-QUELLOUN-AC-SASXP-01   0,2
CUS-QUINCEMI-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-QUINCEMI-AC-SASXP-01   0,2
CUS-QUINOTA-AC-SASXP-01  L2    Up    23   to_CUS-QUINOTA-AC-SASXP-01    0,2
CUS-QUIQUIJA-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-QUIQUIJA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-RONDOCAN-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-RONDOCAN-AC-SASXP-01   0,2
CUS-SANGARAR-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-SANGARAR-AC-SASXP-01   0,2
CUS-SANPABLO-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-SANPABLO-AC-SASXP-01   0,2
CUS-SANSALVA-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-SANSALVA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-SANTATER-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-SANTATER-AC-SASXP-01   0,2
CUS-TARAY-AC-SASXP-01    L2    Up    27   to_CUS-TARAY-AC-SASXP-01      0,2
CUS-TUNGASUC-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-TUNGASUC-AC-SASXP-01   0,2
CUS-VELILLE-AC-SASXP-01  L2    Up    24   to_CUS-VELILLE-AC-SASXP-01    0,2
CUS-VILLAVIR-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-VILLAVIR-AC-SASXP-01   0,2
CUS-VIRGINIY-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-VIRGINIY-AC-SASXP-01   0,2
CUS-YAURISQU-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-YAURISQU-AC-SASXP-01   0,2
CUS-YUCAY-AC-SASXP-01    L2    Up    27   to_CUS-YUCAY-AC-SASXP-01      0,2
-------------------------------------------------------------------------------
Adjacencies : 86
===============================================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show  router route-table 10.40.3.156

===============================================================================
Route Table (Router: Base)
===============================================================================
Dest Prefix[Flags]                              Type    Proto     Age        Pref
      Next Hop[Interface Name]                                    Metric
-------------------------------------------------------------------------------
10.40.3.156/32                                  Remote  ISIS      09d07h34m  18
       172.23.1.156                                                 10
-------------------------------------------------------------------------------
No. of Routes: 1
Flags: n = Number of times nexthop is repeated
       B = BGP backup route available
       L = LFA nexthop available
       S = Sticky ECMP requested
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

En la figura 45, el primer comando muestra que la adyacencia IS-IS en el enrutador de Core 02 está establecida hacia cada enrutador distrital de la red, resaltando el nodo de muestra Maranura; y el segundo comando muestra que las IP de sistema de enrutador distrital Maranura se ha aprendido mediante el protocolo IS-IS en su tabla de enrutamiento.

Figura 45

Adyacencia IS-IS establecida en el enrutador de Core 02

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show  router  isis  adjacency

===============================================================================
Rtr Base ISIS Instance 0 Adjacency
===============================================================================
System ID               Usage State Hold Interface                      MT-ID
-------------------------------------------------------------------------------
CUS-ACCHA-AC-SASXP-01   L2    Up    21   to_CUS-ACCHA-AC-SASXP-01      0,2
CUS-ACCOCUNC-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-ACCOCUNC-AC-SASXP-01   0,2
CUS-ACOPIA-AC-SASXP-01  L2    Up    27   to_CUS-ACOPIA-AC-SASXP-01     0,2
CUS-ACORE-CRA-SR7-01    L2    Up    23   to_CUS-ACORE-CRA-SR7-01       0
CUS-ACORE-CRA-SR7-01    L2    Up    23   to_CUS-ACORE-CRA-SR7-01_IPT   0
CUS-ACOS-AC-SASXP-01    L2    Up    20   to_CUS-ACOS-AC-SASXP-01       0,2
CUS-CALCA-AC-SASXP-01   L2    Up    23   to_CUS-CALCA-AC-SASXP-01      0,2
CUS-CAPACMAR-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-CAPACMAR-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CCAPI-AC-SASXP-01   L2    Up    21   to_CUS-CCAPI-AC-SASXP-01      0,2
CUS-CCARHUAY-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-CCARHUAY-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CCATCA-AC-SASXP-01  L2    Up    22   to_CUS-CCATCA-AC-SASXP-01     0,2
CUS-CCORCCA-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-CCORCCA-AC-SASXP-01    0,2
CUS-CHALLABA-AC-SASXP-01 L2    Up    24   to_CUS-CHALLABA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CHAMACA-AC-SASXP-01 L2    Up    24   to_CUS-CHAMACA-AC-SASXP-01    0,2
CUS-CHECCA-AC-SASXP-01  L2    Up    24   to_CUS-CHECCA-AC-SASXP-01     0,2
CUS-CHINCHAY-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-CHINCHAY-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CHINCHAY-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-CHINCHAY-AC-           0,2
                                          SASXP_BK_IPT
CUS-COLCHA-AC-SASXP-01  L2    Up    22   to_CUS-COLCHA-AC-SASXP-01     0,2
CUS-COLQUEMA-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-COLQUEMA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-COLQUEPA-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-COLQUEPA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-COMBAPAT-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-COMBAPAT-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CONDOROM-AC-SASXP-01 L2    Up    25   to_CUS-CONDOROM-AC-SASXP-01   0,2
CUS-COPORAQU-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-COPORAQU-AC-SASXP-01   0,2
CUS-COYA-AC-SASXP-01    L2    Up    22   to_CUS-COYA-AC-SASXP-01       0,2
CUS-CUSIPATA-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-CUSIPATA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-CUYOGRAN-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-CUYOGRAN-AC-SASXP-01   0,2
CUS-ECHARATE-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-ECHARATE-AC-SASXP-01   0,2
CUS-ELDESCAN-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-ELDESCAN-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HECTORTE-AC-SASXP-01 L2    Up    24   to_CUS-HECTORTE-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUANCARA-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-HUANCARA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUANOQUI-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-HUANOQUI-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUARO-AC-SASXP-01   L2    Up    23   to_CUS-HUARO-AC-SASXP-01      0,2
CUS-HUAROCON-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-HUAROCON-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUATAPAM-AC-SASXP-01 L2    Up    18   to_CUS-HUATAPAM-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUAYLLAB-AC-SASXP-01 L2    Up    24   to_CUS-HUAYLLAB-AC-SASXP-01   0,2
CUS-HUYRO-AC-SASXP-01   L2    Up    22   to_CUS-HUYRO-AC-SASXP-01      0,2
CUS-JATUNRUM-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-JATUNRUM-AC-SASXP-01   0,2
CUS-KIMBIRI-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-KIMBIRI-AC-SASXP-01    0,2
CUS-KITENI-AC-SASXP-01  L2    Up    22   to_CUS-KITENI-AC-SASXP-01     0,2
CUS-KQUELCCA-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-KQUELCCA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-LANGUI-AC-SASXP-01  L2    Up    19   to_CUS-LANGUI-AC-SASXP-01     0,2
CUS-LARES-AC-SASXP-01   L2    Up    20   to_CUS-LARES-AC-SASXP-01      0,2
CUS-LAYO-AC-SASXP-01    L2    Up    23   to_CUS-LAYO-AC-SASXP-01       0,2
CUS-LIMATAMB-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-LIMATAMB-AC-SASXP-01   0,2
CUS-LIVITACA-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-LIVITACA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-LLUSCO-AC-SASXP-01  L2    Up    24   to_CUS-LLUSCO-AC-SASXP-01     0,2
CUS-LOBOTAHU-AC-SASXP-01 L2    Up    24   to_CUS-LOBOTAHU-AC-SASXP-01   0,2
CUS-LUCMA-AC-SASXP-01   L2    Up    24   to_CUS-LUCMA-AC-SASXP-01      0,2
CUS-LUCRE-AC-SASXP-01   L2    Up    25   to_CUS-LUCRE-AC-SASXP-01      0,2
CUS-MARANGAN-AC-SASXP-01 L2    Up    25   to_CUS-MARANGAN-AC-SASXP-01   0,2
CUS-MARANURA-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-MARANURA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-MARAS-AC-SASXP-01   L2    Up    26   to_CUS-MARAS-AC-SASXP-01      0,2
CUS-MARCAPAT-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-MARCAPAT-AC-SASXP-01   0,2
CUS-MOLLEPAT-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-MOLLEPAT-AC-SASXP-01   0,2
CUS-MOSOCLLA-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-MOSOCLLA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-OCONGATE-AC-SASXP-01 L2    Up    26   to_CUS-OCONGATE-AC-SASXP-01   0,2
CUS-OCORURO-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-OCORURO-AC-SASXP-01    0,2
CUS-PACHAR-AC-SASXP-01  L2    Up    21   to_CUS-OLLANTAY-AC-SASXP-01   0,2
CUS-OMACHA-AC-SASXP-01  L2    Up    24   to_CUS-OMACHA-AC-SASXP-01     0,2
CUS-PACCARIT-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-PACCARIT-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PALMAREA-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-PALMAREA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PICHARI-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-PICHARI-AC-SASXP-01    0,2
CUS-PICHIGUA-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-PICHIGUA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PILLCOPA-AC-SASXP-01 L2    Up    25   to_CUS-PILLCOPA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PILLPINT-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-PILLPINT-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PITUMARC-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-PITUMARC-AC-SASXP-01   0,2
CUS-POMACANC-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-POMACANC-AC-SASXP-01   0,2
CUS-PULPERA-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-PULPERA-AC-SASXP-01    0,2
CUS-QUEBRADA-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-QUEBRADA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-QUEHUE-AC-SASXP-01  L2    Up    20   to_CUS-QUEHUE-AC-SASXP-01     0,2
CUS-QUELLOUN-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-QUELLOUN-AC-SASXP-01   0,2
CUS-QUINCEMI-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-QUINCEMI-AC-SASXP-01   0,2
CUS-QUINOTA-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-QUINOTA-AC-SASXP-01    0,2
CUS-QUIQUIJA-AC-SASXP-01 L2    Up    21   to_CUS-QUIQUIJA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-RONDOCAN-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-RONDOCAN-AC-SASXP-01   0,2
CUS-SANGARAR-AC-SASXP-01 L2    Up    20   to_CUS-SANGARAR-AC-SASXP-01   0,2
CUS-SANPABLO-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-SANPABLO-AC-SASXP-01   0,2
CUS-SANSALVA-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-SANSALVA-AC-SASXP-01   0,2
CUS-SANTATER-AC-SASXP-01 L2    Up    19   to_CUS-SANTATER-AC-SASXP-01   0,2
CUS-TARAY-AC-SASXP-01   L2    Up    26   to_CUS-TARAY-AC-SASXP-01      0,2
CUS-TUNGASUC-AC-SASXP-01 L2    Up    22   to_CUS-TUNGASUC-AC-SASXP-01   0,2
CUS-VELILLE-AC-SASXP-01 L2    Up    23   to_CUS-VELILLE-AC-SASXP-01    0,2
CUS-VILLAVIR-AC-SASXP-01 L2    Up    25   to_CUS-VILLAVIR-AC-SASXP-01   0,2
CUS-VIRGINIY-AC-SASXP-01 L2    Up    25   to_CUS-VIRGINIY-AC-SASXP-01   0,2
CUS-YAURISQU-AC-SASXP-01 L2    Up    27   to_CUS-YAURISQU-AC-SASXP-01   0,2
CUS-YUCAY-AC-SASXP-01   L2    Up    26   to_CUS-YUCAY-AC-SASXP-01      0,2
-------------------------------------------------------------------------------
Adjacencies : 86
===============================================================================
```

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02#
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show  router route-table 10.40.3.156

===============================================================================
Route Table (Router: Base)
===============================================================================
Dest Prefix[Flags]                            Type    Proto     Age        Pref
      Next Hop[Interface Name]                                    Metric
-------------------------------------------------------------------------------
10.40.3.156/32                                Remote  ISIS      09d08h05m  18
       172.23.2.156                                                 10
-------------------------------------------------------------------------------
No. of Routes: 1
Flags: n = Number of times nexthop is repeated
       B = BGP backup route available
       L = LFA nexthop available
       S = Sticky ECMP requested
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

3.3.6.2 Establecimiento de sesiones LDP en la Red

En la figura 46, se muestra que se estableció la sesión LDP en el enrutador distrital hacia cada enrutador de *core*.

Figura 46

Sesión LDP establecida en el enrutador Distrital Maranura

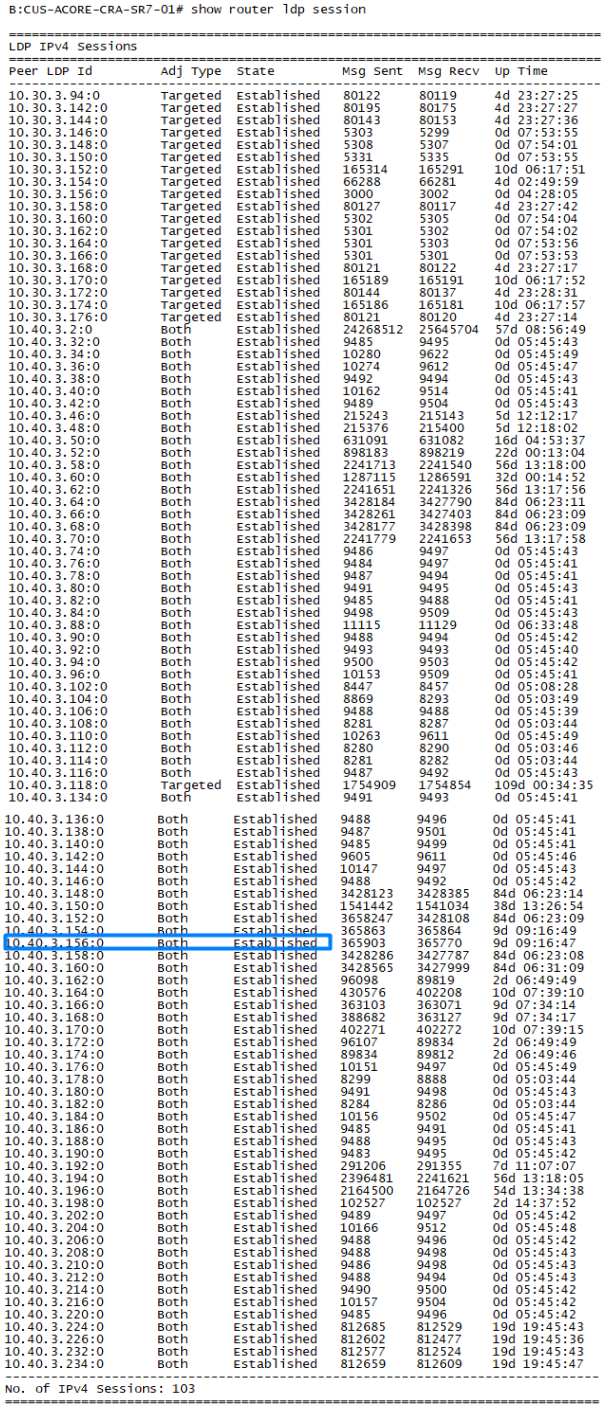
```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show router ldp session

===============================================================================
LDP IPv4 Sessions
===============================================================================
Peer LDP Id          Adj Type  State         Msg Sent  Msg Recv  Up Time
-------------------------------------------------------------------------------
10.40.3.1:0          Both      Established   365545    365682    9d 09:08:30
10.40.3.2:0          Both      Established   365631    365675    9d 09:08:30
-------------------------------------------------------------------------------
No. of IPv4 Sessions: 2
===============================================================================

===============================================================================
LDP IPv6 Sessions
===============================================================================
Peer LDP Id
 Adj Type            State          Msg Sent       Msg Recv       Up Time
-------------------------------------------------------------------------------
No Matching Entries Found
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador distrital CU-0183-A01 MARANURA

En la figura 47, se muestra las sesiones LDP establecidas en el enrutador *core* 01 hacia cada enrutador distrital de la red, resaltando el nodo de muestra Maranura.

Figura 47

Sesiones LDP establecidas en el enrutador de Core 01



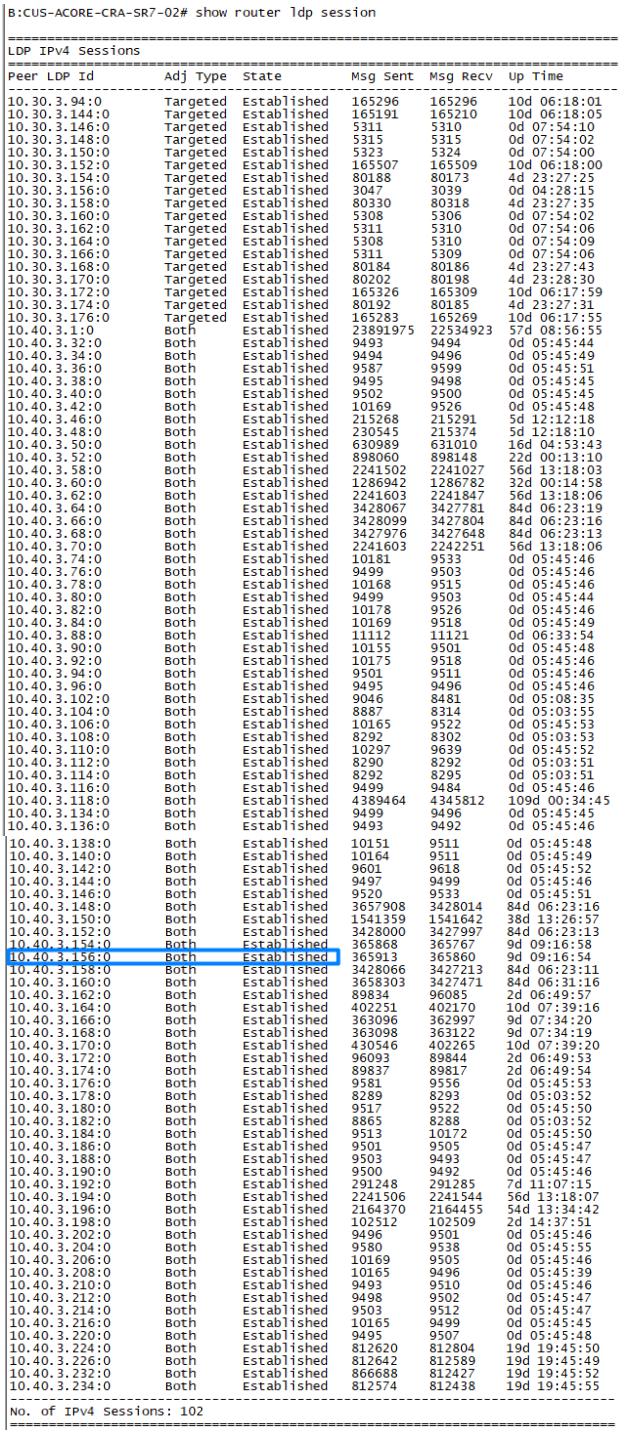
```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show router ldp session

===============================================================================
LDP IPv4 Sessions
===============================================================================
Peer LDP Id             Adj Type  State        Msg Sent  Msg Recv  Up Time
-------------------------------------------------------------------------------
10.30.3.94:0            Targeted  Established  80122     80119     4d 23:27:25
10.30.3.142:0           Targeted  Established  80195     80175     4d 23:27:27
10.30.3.144:0           Targeted  Established  80143     80153     4d 23:27:36
10.30.3.146:0           Targeted  Established  5303      5299      0d 07:53:55
10.30.3.148:0           Targeted  Established  5308      5307      0d 07:54:01
10.30.3.150:0           Targeted  Established  5331      5335      0d 07:53:55
10.30.3.152:0           Targeted  Established  165314    165291    10d 06:17:51
10.30.3.154:0           Targeted  Established  66288     66281     4d 02:49:59
10.30.3.156:0           Targeted  Established  3000      3002      0d 04:28:05
10.30.3.158:0           Targeted  Established  80127     80117     4d 23:27:42
10.30.3.160:0           Targeted  Established  5302      5305      0d 07:54:04
10.30.3.162:0           Targeted  Established  5301      5302      0d 07:54:02
10.30.3.164:0           Targeted  Established  5301      5303      0d 07:53:56
10.30.3.166:0           Targeted  Established  5301      5301      0d 07:53:53
10.30.3.168:0           Targeted  Established  80121     80122     4d 23:27:17
10.30.3.170:0           Targeted  Established  165189    165191    10d 06:17:52
10.30.3.172:0           Targeted  Established  80144     80137     4d 23:28:31
10.30.3.174:0           Targeted  Established  165186    165181    10d 06:17:57
10.30.3.176:0           Targeted  Established  80121     80120     4d 23:27:14
10.40.3.2:0             Both      Established  24268512  25645704  57d 08:56:49
10.40.3.32:0            Both      Established  9485      9495      0d 05:45:43
10.40.3.34:0            Both      Established  10280     9622      0d 05:45:49
10.40.3.36:0            Both      Established  10274     9612      0d 05:45:47
10.40.3.38:0            Both      Established  9492      9494      0d 05:45:43
10.40.3.40:0            Both      Established  10162     9514      0d 05:45:41
10.40.3.42:0            Both      Established  9489      9504      0d 05:45:43
10.40.3.46:0            Both      Established  215243    215143    5d 12:12:17
10.40.3.48:0            Both      Established  215376    215400    5d 12:18:02
10.40.3.50:0            Both      Established  631091    631082    16d 04:53:37
10.40.3.52:0            Both      Established  898183    898219    22d 00:13:04
10.40.3.58:0            Both      Established  2241713   2241540   56d 13:18:00
10.40.3.60:0            Both      Established  1287115   1286591   32d 00:14:52
10.40.3.62:0            Both      Established  2241651   2241326   56d 13:17:56
10.40.3.64:0            Both      Established  3428184   3427790   84d 06:23:11
10.40.3.66:0            Both      Established  3428261   3427403   84d 06:23:09
10.40.3.68:0            Both      Established  3428177   3428398   84d 06:23:09
10.40.3.70:0            Both      Established  2241779   2241653   56d 13:17:58
10.40.3.74:0            Both      Established  9486      9497      0d 05:45:43
10.40.3.76:0            Both      Established  9484      9497      0d 05:45:41
10.40.3.78:0            Both      Established  9487      9494      0d 05:45:41
10.40.3.80:0            Both      Established  9491      9495      0d 05:45:43
10.40.3.82:0            Both      Established  9485      9488      0d 05:45:41
10.40.3.84:0            Both      Established  9498      9509      0d 05:45:43
10.40.3.88:0            Both      Established  11115     11129     0d 06:33:48
10.40.3.90:0            Both      Established  9488      9494      0d 05:45:42
10.40.3.92:0            Both      Established  9493      9493      0d 05:45:40
10.40.3.94:0            Both      Established  9500      9503      0d 05:45:42
10.40.3.96:0            Both      Established  10153     9509      0d 05:45:41
10.40.3.102:0           Both      Established  8447      8457      0d 05:08:28
10.40.3.104:0           Both      Established  8869      8293      0d 05:03:49
10.40.3.106:0           Both      Established  9488      9488      0d 05:45:39
10.40.3.108:0           Both      Established  8281      8287      0d 05:03:44
10.40.3.110:0           Both      Established  10263     9611      0d 05:45:49
10.40.3.112:0           Both      Established  8280      8290      0d 05:03:46
10.40.3.114:0           Both      Established  8281      8282      0d 05:03:44
10.40.3.116:0           Both      Established  9487      9492      0d 05:45:43
10.40.3.118:0           Targeted  Established  1754909   1754854   109d 00:34:35
10.40.3.134:0           Both      Established  9491      9493      0d 05:45:41

10.40.3.136:0           Both      Established  9488      9496      0d 05:45:41
10.40.3.138:0           Both      Established  9487      9501      0d 05:45:41
10.40.3.140:0           Both      Established  9485      9499      0d 05:45:41
10.40.3.142:0           Both      Established  9605      9611      0d 05:45:46
10.40.3.144:0           Both      Established  10147     9497      0d 05:45:43
10.40.3.146:0           Both      Established  9488      9492      0d 05:45:42
10.40.3.148:0           Both      Established  3428123   3428385   84d 06:23:14
10.40.3.150:0           Both      Established  1541442   1541034   38d 13:26:54
10.40.3.152:0           Both      Established  3658247   3428108   84d 06:23:09
10.40.3.154:0           Both      Established  365863    365864    9d 09:16:49
10.40.3.156:0           Both      Established  365903    365770    9d 09:16:47
10.40.3.158:0           Both      Established  3428286   3427787   84d 06:23:08
10.40.3.160:0           Both      Established  3428565   3427999   84d 06:31:09
10.40.3.162:0           Both      Established  96098     89819     2d 06:49:49
10.40.3.164:0           Both      Established  430576    402208    10d 07:39:10
10.40.3.166:0           Both      Established  363103    363071    9d 07:34:14
10.40.3.168:0           Both      Established  388682    363127    9d 07:34:17
10.40.3.170:0           Both      Established  402271    402272    10d 07:39:15
10.40.3.172:0           Both      Established  96107     89834     2d 06:49:49
10.40.3.174:0           Both      Established  89834     89812     2d 06:49:46
10.40.3.176:0           Both      Established  10151     9497      0d 05:45:49
10.40.3.178:0           Both      Established  8299      8888      0d 05:03:44
10.40.3.180:0           Both      Established  9491      9498      0d 05:45:43
10.40.3.182:0           Both      Established  8284      8286      0d 05:03:44
10.40.3.184:0           Both      Established  10156     9502      0d 05:45:47
10.40.3.186:0           Both      Established  9485      9491      0d 05:45:41
10.40.3.188:0           Both      Established  9488      9495      0d 05:45:43
10.40.3.190:0           Both      Established  9483      9495      0d 05:45:42
10.40.3.192:0           Both      Established  291206    291355    7d 11:07:07
10.40.3.194:0           Both      Established  2396481   2241621   56d 13:18:05
10.40.3.196:0           Both      Established  2164500   2164726   54d 13:34:38
10.40.3.198:0           Both      Established  102527    102527    2d 14:37:52
10.40.3.202:0           Both      Established  9489      9497      0d 05:45:42
10.40.3.204:0           Both      Established  10166     9512      0d 05:45:48
10.40.3.206:0           Both      Established  9488      9496      0d 05:45:42
10.40.3.208:0           Both      Established  9488      9498      0d 05:45:43
10.40.3.210:0           Both      Established  9486      9498      0d 05:45:43
10.40.3.212:0           Both      Established  9488      9494      0d 05:45:43
10.40.3.214:0           Both      Established  9490      9500      0d 05:45:42
10.40.3.216:0           Both      Established  10157     9504      0d 05:45:42
10.40.3.220:0           Both      Established  9485      9496      0d 05:45:42
10.40.3.224:0           Both      Established  812685    812529    19d 19:45:43
10.40.3.226:0           Both      Established  812602    812477    19d 19:45:36
10.40.3.232:0           Both      Established  812577    812524    19d 19:45:43
10.40.3.234:0           Both      Established  812659    812609    19d 19:45:47
-------------------------------------------------------------------------------
No. of IPv4 Sessions: 103
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

En la figura 48, se muestra las sesiones LDP establecidas en el enrutador *core* 02 hacia cada enrutador distrital de la red, resaltando el nodo de muestra Maranura.

Figura 48

Sesiones LDP establecidas en el enrutador de Core 02



```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show router ldp session

===============================================================================
LDP IPv4 Sessions
===============================================================================
Peer LDP Id          Adj Type  State        Msg Sent  Msg Recv  Up Time
-------------------------------------------------------------------------------
10.30.3.94:0         Targeted  Established  165296    165296    10d 06:18:01
10.30.3.144:0        Targeted  Established  165191    165210    10d 06:18:05
10.30.3.146:0        Targeted  Established  5311      5310      0d 07:54:10
10.30.3.148:0        Targeted  Established  5315      5315      0d 07:54:02
10.30.3.150:0        Targeted  Established  5323      5324      0d 07:54:00
10.30.3.152:0        Targeted  Established  165507    165509    10d 06:18:00
10.30.3.154:0        Targeted  Established  80188     80173     4d 23:27:25
10.30.3.156:0        Targeted  Established  3047      3039      0d 04:28:15
10.30.3.158:0        Targeted  Established  80330     80318     4d 23:27:35
10.30.3.160:0        Targeted  Established  5308      5306      0d 07:54:02
10.30.3.162:0        Targeted  Established  5311      5310      0d 07:54:06
10.30.3.164:0        Targeted  Established  5308      5310      0d 07:54:09
10.30.3.166:0        Targeted  Established  5311      5309      0d 07:54:06
10.30.3.168:0        Targeted  Established  80184     80186     4d 23:27:43
10.30.3.170:0        Targeted  Established  80202     80198     4d 23:28:30
10.30.3.172:0        Targeted  Established  165326    165309    10d 06:17:59
10.30.3.174:0        Targeted  Established  80192     80185     4d 23:27:31
10.30.3.176:0        Targeted  Established  165283    165269    10d 06:17:55
10.40.3.1:0          Both      Established  23891975  22534923  57d 08:56:55
10.40.3.32:0         Both      Established  9493      9494      0d 05:45:44
10.40.3.34:0         Both      Established  9494      9496      0d 05:45:49
10.40.3.36:0         Both      Established  9587      9599      0d 05:45:51
10.40.3.38:0         Both      Established  9495      9498      0d 05:45:45
10.40.3.40:0         Both      Established  9502      9500      0d 05:45:45
10.40.3.42:0         Both      Established  10169     9526      0d 05:45:48
10.40.3.46:0         Both      Established  215268    215291    5d 12:12:18
10.40.3.48:0         Both      Established  230545    215374    5d 12:18:10
10.40.3.50:0         Both      Established  630989    631010    16d 04:53:43
10.40.3.52:0         Both      Established  898060    898148    22d 00:13:10
10.40.3.58:0         Both      Established  2241502   2241027   56d 13:18:03
10.40.3.60:0         Both      Established  1286942   1286782   32d 00:14:58
10.40.3.62:0         Both      Established  2241603   2241847   56d 13:18:06
10.40.3.64:0         Both      Established  3428067   3427781   84d 06:23:19
10.40.3.66:0         Both      Established  3428099   3427804   84d 06:23:16
10.40.3.68:0         Both      Established  3427976   3427648   84d 06:23:13
10.40.3.70:0         Both      Established  2241603   2242251   56d 13:18:06
10.40.3.74:0         Both      Established  10181     9533      0d 05:45:46
10.40.3.76:0         Both      Established  9499      9503      0d 05:45:46
10.40.3.78:0         Both      Established  10168     9515      0d 05:45:46
10.40.3.80:0         Both      Established  9499      9503      0d 05:45:44
10.40.3.82:0         Both      Established  10178     9526      0d 05:45:46
10.40.3.84:0         Both      Established  10169     9518      0d 05:45:49
10.40.3.88:0         Both      Established  11112     11121     0d 06:33:54
10.40.3.90:0         Both      Established  10155     9501      0d 05:45:48
10.40.3.92:0         Both      Established  10175     9518      0d 05:45:46
10.40.3.94:0         Both      Established  9501      9511      0d 05:45:46
10.40.3.96:0         Both      Established  9495      9496      0d 05:45:46
10.40.3.102:0        Both      Established  9046      8481      0d 05:08:35
10.40.3.104:0        Both      Established  8887      8314      0d 05:03:55
10.40.3.106:0        Both      Established  10165     9522      0d 05:45:53
10.40.3.108:0        Both      Established  8292      8302      0d 05:03:53
10.40.3.110:0        Both      Established  10297     9639      0d 05:45:52
10.40.3.112:0        Both      Established  8290      8292      0d 05:03:51
10.40.3.114:0        Both      Established  8292      8295      0d 05:03:51
10.40.3.116:0        Both      Established  9499      9484      0d 05:45:46
10.40.3.118:0        Both      Established  4389464   4345812   109d 00:34:45
10.40.3.134:0        Both      Established  9499      9496      0d 05:45:45
10.40.3.136:0        Both      Established  9493      9492      0d 05:45:46
10.40.3.138:0        Both      Established  10151     9511      0d 05:45:48
10.40.3.140:0        Both      Established  10164     9511      0d 05:45:49
10.40.3.142:0        Both      Established  9601      9618      0d 05:45:52
10.40.3.144:0        Both      Established  9497      9499      0d 05:45:46
10.40.3.146:0        Both      Established  9520      9533      0d 05:45:51
10.40.3.148:0        Both      Established  3657908   3428014   84d 06:23:16
10.40.3.150:0        Both      Established  1541359   1541642   38d 13:26:57
10.40.3.152:0        Both      Established  3428000   3427997   84d 06:23:13
10.40.3.154:0        Both      Established  365868    365767    9d 09:16:58
10.40.3.156:0        Both      Established  365913    365860    9d 09:16:54
10.40.3.158:0        Both      Established  3428066   3427213   84d 06:23:11
10.40.3.160:0        Both      Established  3658303   3427471   84d 06:31:16
10.40.3.162:0        Both      Established  89834     96085     2d 06:49:57
10.40.3.164:0        Both      Established  402251    402170    10d 07:39:16
10.40.3.166:0        Both      Established  363096    362997    9d 07:34:20
10.40.3.168:0        Both      Established  363098    363122    9d 07:34:19
10.40.3.170:0        Both      Established  430546    402265    10d 07:39:20
10.40.3.172:0        Both      Established  96093     89844     2d 06:49:53
10.40.3.174:0        Both      Established  89837     89817     2d 06:49:54
10.40.3.176:0        Both      Established  9581      9556      0d 05:45:53
10.40.3.178:0        Both      Established  8289      8293      0d 05:03:52
10.40.3.180:0        Both      Established  9517      9522      0d 05:45:50
10.40.3.182:0        Both      Established  8865      8288      0d 05:03:52
10.40.3.184:0        Both      Established  9513      10172     0d 05:45:50
10.40.3.186:0        Both      Established  9501      9505      0d 05:45:47
10.40.3.188:0        Both      Established  9503      9493      0d 05:45:47
10.40.3.190:0        Both      Established  9500      9492      0d 05:45:46
10.40.3.192:0        Both      Established  291248    291285    7d 11:07:15
10.40.3.194:0        Both      Established  2241506   2241544   56d 13:18:07
10.40.3.196:0        Both      Established  2164370   2164455   54d 13:34:42
10.40.3.198:0        Both      Established  102512    102509    2d 14:37:51
10.40.3.202:0        Both      Established  9496      9501      0d 05:45:46
10.40.3.204:0        Both      Established  9580      9538      0d 05:45:55
10.40.3.206:0        Both      Established  10169     9505      0d 05:45:46
10.40.3.208:0        Both      Established  10165     9496      0d 05:45:39
10.40.3.210:0        Both      Established  9493      9510      0d 05:45:46
10.40.3.212:0        Both      Established  9498      9502      0d 05:45:47
10.40.3.214:0        Both      Established  9503      9512      0d 05:45:47
10.40.3.216:0        Both      Established  10165     9499      0d 05:45:45
10.40.3.220:0        Both      Established  9495      9507      0d 05:45:48
10.40.3.224:0        Both      Established  812620    812804    19d 19:45:50
10.40.3.226:0        Both      Established  812642    812589    19d 19:45:49
10.40.3.232:0        Both      Established  866688    812427    19d 19:45:52
10.40.3.234:0        Both      Established  812574    812438    19d 19:45:55
-------------------------------------------------------------------------------
No. of IPv4 Sessions: 102
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

3.3.6.3 Conectividad IP entre nodos distritales y core

Tras confirmar que se estableció la adyacencia del protocolo de enrutamiento IS-IS, en la figura 49 se muestra el *test* de conectividad IP desde el enrutador distrital Maranura hasta las IP de sistema de los enrutadores de *core* a través de un ping de 30 paquetes. No se notan pérdidas en los paquetes.

Figura 49

Prueba de conectividad del enrutador distrital Maranura hacía los core

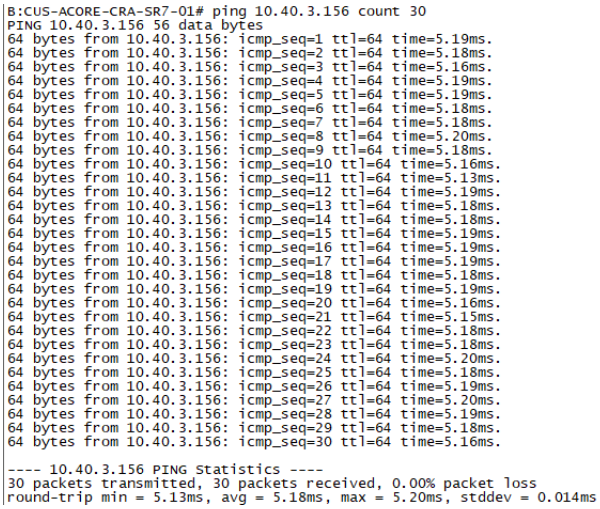
```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.1 count 30
PING 10.40.3.1 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.81ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.80ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.76ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.77ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=4.77ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=4.79ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=7 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=8 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=9 ttl=64 time=4.79ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=10 ttl=64 time=4.80ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=11 ttl=64 time=4.80ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=12 ttl=64 time=4.79ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=13 ttl=64 time=4.81ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=14 ttl=64 time=4.79ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=15 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=16 ttl=64 time=4.79ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=17 ttl=64 time=4.80ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=18 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=19 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=20 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=21 ttl=64 time=4.84ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=22 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=23 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=24 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=25 ttl=64 time=4.77ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=26 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=27 ttl=64 time=4.80ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=28 ttl=64 time=4.79ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=29 ttl=64 time=4.79ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=30 ttl=64 time=4.78ms.

---- 10.40.3.1 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 4.76ms, avg = 4.79ms, max = 4.84ms, stddev = 0.014ms
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.2 count 30
PING 10.40.3.2 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.72ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.72ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.74ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.72ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=4.75ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=4.75ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=4.74ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=4.72ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=4.72ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=4.73ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=4.72ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=4.72ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=4.75ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=4.75ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=4.75ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=4.74ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=4.77ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=4.77ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=4.75ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=4.78ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=21 ttl=64 time=4.74ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=4.72ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=4.76ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=24 ttl=64 time=4.73ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=25 ttl=64 time=4.72ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=26 ttl=64 time=4.74ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=27 ttl=64 time=4.70ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=28 ttl=64 time=4.74ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=29 ttl=64 time=4.75ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=30 ttl=64 time=4.72ms.

---- 10.40.3.2 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 4.70ms, avg = 4.74ms, max = 4.78ms, stddev = 0.017ms
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador distrital CU-0183-A01 MARANURA

En la figura 50 y figura 51 se observa la prueba de conectividad IP desde cada enrutador de *core* a la IP de sistema del enrutador distrital mediante un ping con 30 paquetes. No se observa pérdidas de paquetes en ninguno de los enrutadores de *core*.

Figura 50

Prueba de conectividad del enrutador de Core 01 hacía el distrital Maranura

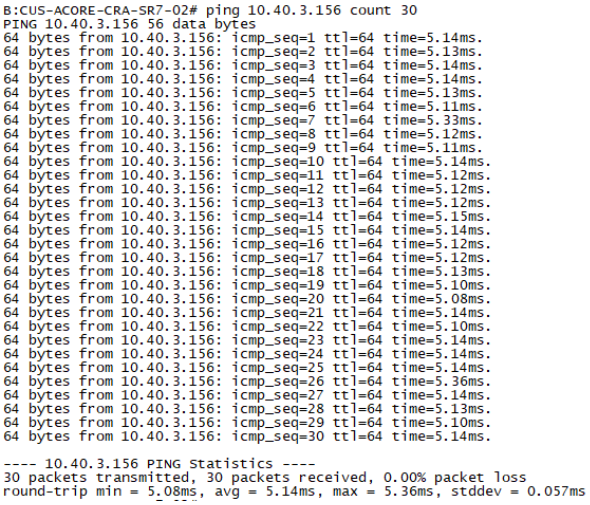


```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# ping 10.40.3.156 count 30
PING 10.40.3.156 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=1 ttl=64 time=5.19ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=2 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=3 ttl=64 time=5.16ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=4 ttl=64 time=5.19ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=5 ttl=64 time=5.19ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=6 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=7 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=8 ttl=64 time=5.20ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=9 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=10 ttl=64 time=5.16ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=11 ttl=64 time=5.13ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=12 ttl=64 time=5.19ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=13 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=14 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=15 ttl=64 time=5.19ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=16 ttl=64 time=5.19ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=17 ttl=64 time=5.19ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=18 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=19 ttl=64 time=5.19ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=20 ttl=64 time=5.16ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=21 ttl=64 time=5.15ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=22 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=23 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=24 ttl=64 time=5.20ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=25 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=26 ttl=64 time=5.19ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=27 ttl=64 time=5.20ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=28 ttl=64 time=5.19ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=29 ttl=64 time=5.18ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=30 ttl=64 time=5.16ms.

---- 10.40.3.156 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 5.13ms, avg = 5.18ms, max = 5.20ms, stddev = 0.014ms
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Figura 51

Prueba de conectividad del enrutador de Core 02 hacía el distrital Maranura



```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# ping 10.40.3.156 count 30
PING 10.40.3.156 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=1 ttl=64 time=5.14ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=2 ttl=64 time=5.13ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=3 ttl=64 time=5.14ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=4 ttl=64 time=5.14ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=5 ttl=64 time=5.13ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=6 ttl=64 time=5.11ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=7 ttl=64 time=5.33ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=8 ttl=64 time=5.12ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=9 ttl=64 time=5.11ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=10 ttl=64 time=5.14ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=11 ttl=64 time=5.12ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=12 ttl=64 time=5.12ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=13 ttl=64 time=5.12ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=14 ttl=64 time=5.15ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=15 ttl=64 time=5.14ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=16 ttl=64 time=5.12ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=17 ttl=64 time=5.12ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=18 ttl=64 time=5.13ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=19 ttl=64 time=5.10ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=20 ttl=64 time=5.08ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=21 ttl=64 time=5.14ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=22 ttl=64 time=5.10ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=23 ttl=64 time=5.14ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=24 ttl=64 time=5.14ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=25 ttl=64 time=5.14ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=26 ttl=64 time=5.36ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=27 ttl=64 time=5.14ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=28 ttl=64 time=5.13ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=29 ttl=64 time=5.10ms.
64 bytes from 10.40.3.156: icmp_seq=30 ttl=64 time=5.14ms.

---- 10.40.3.156 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 5.08ms, avg = 5.14ms, max = 5.36ms, stddev = 0.057ms
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

En el anexo 5, se muestra pruebas de conectividad IP para otros nodos distritales de la red hacía el *core* acceso 01y *core* acceso 02. El ping es hacía las IP de sistema de cada enrutador de *core*.

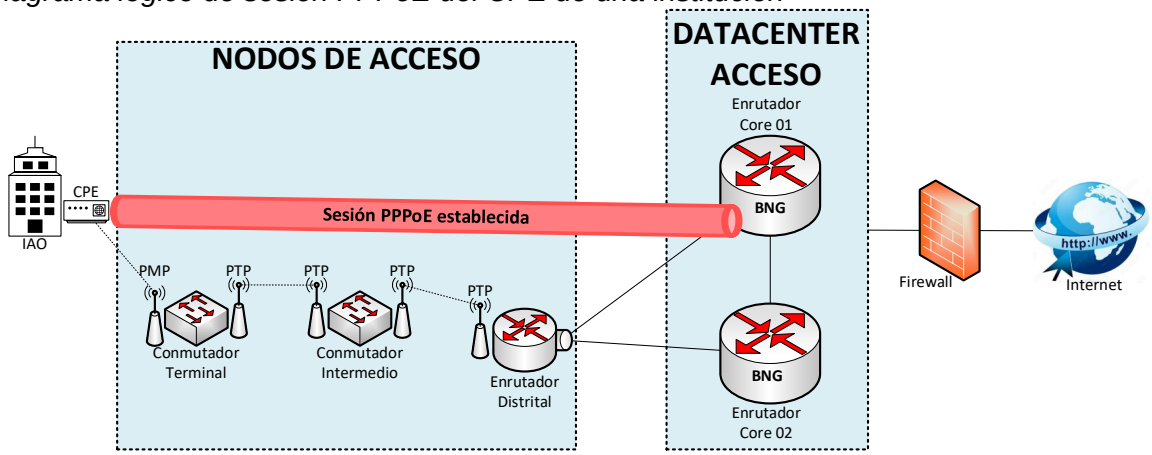
3.4 Velocidad de transferencia de datos y acceso a Internet

Tras la implementación del protocolo de enrutamiento IS-IS y el protocolo de etiquetas MPLS en la red de Acceso, la figura 52 presenta a los enrutadores de *Core* que

desempeñan el papel de Broadband Network Gateway (BNG) para proporcionar acceso a Internet a las Instituciones Abonadas Obligatorias (IAO), primero estableciendo una sesión *Point-to-Point Protocol over Ethernet* (PPPoE) desde el *Customer Premises Equipment* (CPE), también conocido como *residential gateway* (RG), instalado en cada Institución. De esta forma, asignamos una IP de DATOS a cada CPE. Luego, esta IP privada es nateada a una IP pública para acceder a Internet.

Figura 52

Diagrama lógico de sesión PPPoE del CPE de una institución



El BNG ofrece las siguientes funcionalidades:

- Control Centralizado del perfil de quality of service (QoS) para cada IAO.
- network address translation (NAT) con pool público para el acceso a Internet.
- Conectividad hacia el datacenter, donde se encuentran diversos servidores del operador.

3.4.1 Configuración del perfil de velocidad de transferencia de datos de acceso a Internet para los suscriptores

Los enrutadores BNG mapea al tráfico hacía Internet con la menor prioridad Be*st Effort* (BE). Las políticas donde se definen los comportamientos de QoS citados se denominan SAP-ingress y SAP-egress. Cada paquete es mapeado o clasificado en una de estas *Forwarding Classes* para recibir el tratamiento especificado dependiendo del origen

y destino del tráfico. Este proceso se realiza en todos los equipos de la red y es consistente para asegurar la calidad. Por lo tanto, se presupone que la configuración del QoS de red entre la red de acceso y la red de transporte (ya establecida) se aplica de un extremo a otro.

De esta forma, a nivel de *ingress* (tráfico que envía la IAO hacia el BNG o *upstream*) se crea dentro de la política sap-ingress una instancia denominada ip-critearia, donde se crean reglas basadas en la red de destino. El resto del tráfico se clasifica por defecto BE, asumiendo que corresponde a Internet.

A nivel *egress* (tráfico enviado desde el BNG hacia la IIBB o *downstream*) se crean las colas con su respectivo *rate-limit* y se asocia cada FC (*Forwarding Class*) a la cola correspondiente.

3.4.1.1 Velocidad de transferencia de datos de acceso a Internet

Conforme a las bases del proyecto "la relación entre la velocidad de bajada y de subida de Internet es de 4 a 1, y cuarenta por ciento (40%) de velocidad mínima garantizada aplicada a los planes de bajada de 2Mbps y 4Mbps" (Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Proinversión, 2015, p.2).

Para el cálculo del *Committed Information Rate* (CIR, velocidad mínima garantizada en un FC) en base a su *Peak Information Rate* (PIR, velocidad máxima que se pueden programar en una cola) de los planes y acorde a las bases del proyecto, tenemos las siguientes fórmulas:

Relación 4:1 Bajada/Subida del Plan de Internet:

$$\frac{\boldsymbol{PLAN\ INTERNET_{BAJADA}}}{\mathbf{4}} = \boldsymbol{PLAN\ INTERNET_{SUBIDA}} \qquad (3)$$

40% de velocidad garantizada (CIR) tanto en Bajada y Subida:

$$\boldsymbol{CIR} = \mathbf{40}\%(\boldsymbol{PIR}) \qquad (4)$$

Usando las fórmulas 3.1 y 3.2 se puede hacer el cálculo para los planes de Internet de 2 Mbps y 4 Mbps, como se muestra a continuación:

- Cálculo para el PLAN Internet de bajada 2 Mbps

$$PLAN\ INTERNET_{BAJADA\ 2MBps} = 2\ Mbps$$

$$PLAN\ INTERNET_{SUBIDA\ 2MBps} = \frac{2\ MBps}{4} = 0.5\ Mbps$$

$$PIR_{BAJADA\ 2MBps} = 2\ Mbps$$

$$CIR_{BAJADA\ 2MBps} = 40\%\ x\ (2\ MBps) = 0.8\ Mbps$$

$$PIR_{SUBIDA\ 2MBps} = 0.5\ Mbps$$

$$CIR_{SUBIDA\ 2MBps} = 40\%\ x\ (0.5\ MBps) = 0.2\ Mbps$$

- Cálculo para el PLAN Internet de bajada 4 Mbps

$$PLAN\ INTERNET_{BAJADA\ 4MBps} = 4\ Mbps$$

$$PLAN\ INTERNET_{SUBIDA\ 4MBps} = \frac{4\ MBps}{4} = 1\ Mbps$$

$$PIR_{BAJADA\ 4MBps} = 4\ Mbps$$

$$CIR_{BAJADA\ 4MBps} = 40\%\ x\ (4\ Mbps) = 1.6\ Mbps$$

$$PIR_{SUBIDA\ 4MBps} = 1\ Mbps$$

$$CIR_{SUBIDA\ 4MBps} = 40\%\ x\ (1\ Mbps) = 0.4\ Mbps$$

La tabla 12 muestra el resumen de los valores para los planes hacía Internet que serán asignados en los suscriptores del BNG; es decir, los planes que manejarán las IAO.

Tabla 12

Planes de velocidades de transferencia de datos de acceso a Internet para las IAO

PLAN	PIR Internet	CIR Internet
PLAN 2 Mbps	DL: 2 Mbps UL: 0.5 Mbps	DL: 0.8 Mbps UL: 0.2 Mbps
PLAN 4 Mbps	DL: 4 Mbps UL: 1 Mbps	DL: 1.6 Mbps UL: 0.4 Mbps

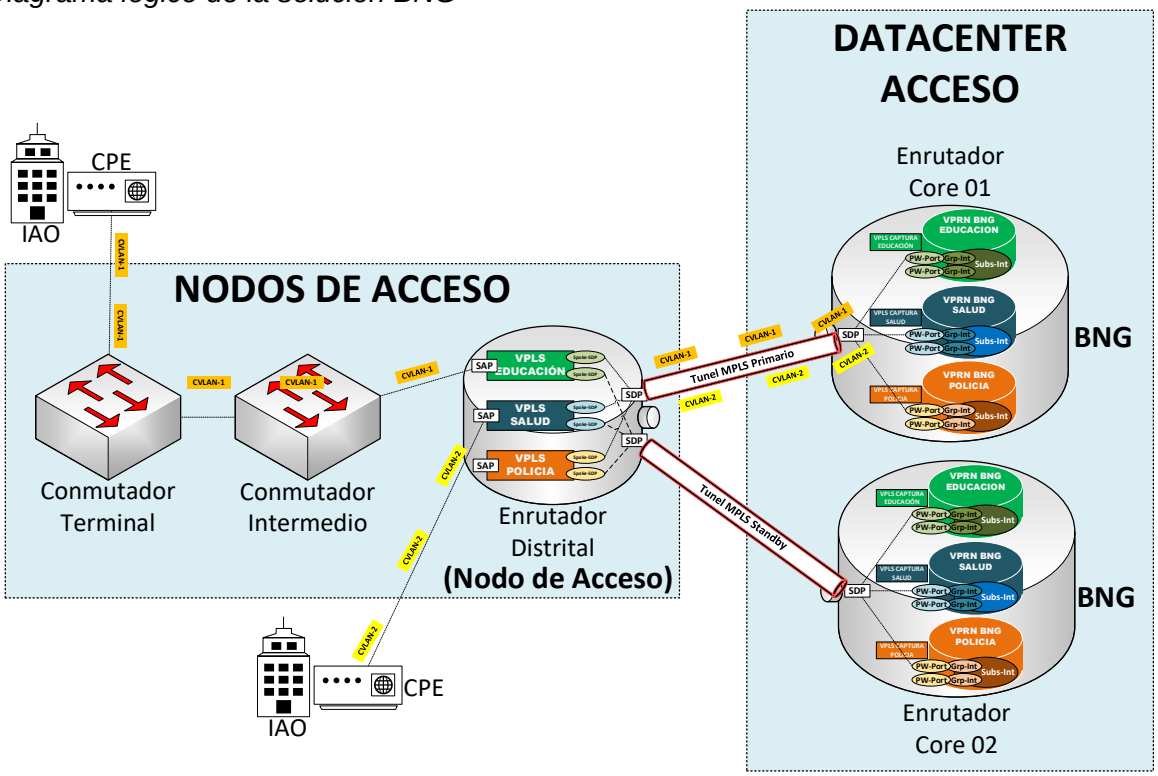
Nota: DL: Download (Bajada) – UL: Upload (Subida)

3.4.2 Configuración de Broadband Network Gateway (BNG)

Para establecer sesiones PPPoE entre el CPE de la IAO y el BNG, en la figura 53 se muestra que en el enrutador distrital (nodo de acceso) tiene un servicio VPLS por cada tipo de IAO y recibe en su SAP un paquete de solicitud PPPoE con una VLAN (que permite saber a qué VPLS pertenece). Luego, este paquete es llevado a través de los túneles MPLS (SDP) a los BNG (enrutadores de *core*) y recibido en un PW-PORT (que es una entidad lógica usada como punto de entrada de las IAO). Después se conecta con una VPLS donde se implementa el *feature capture-sap* para que se autentiquen en un servidor AAA Radius e instanciar los CPE donde terminan las sesiones PPPoE sobre un servicio VPRN (diferente para cada tipo de IAO). Una vez establecido la sesión, el BNG le asigna una IP de DATOS al CPE de las IAO.

Figura 53

Diagrama lógico de la solución BNG



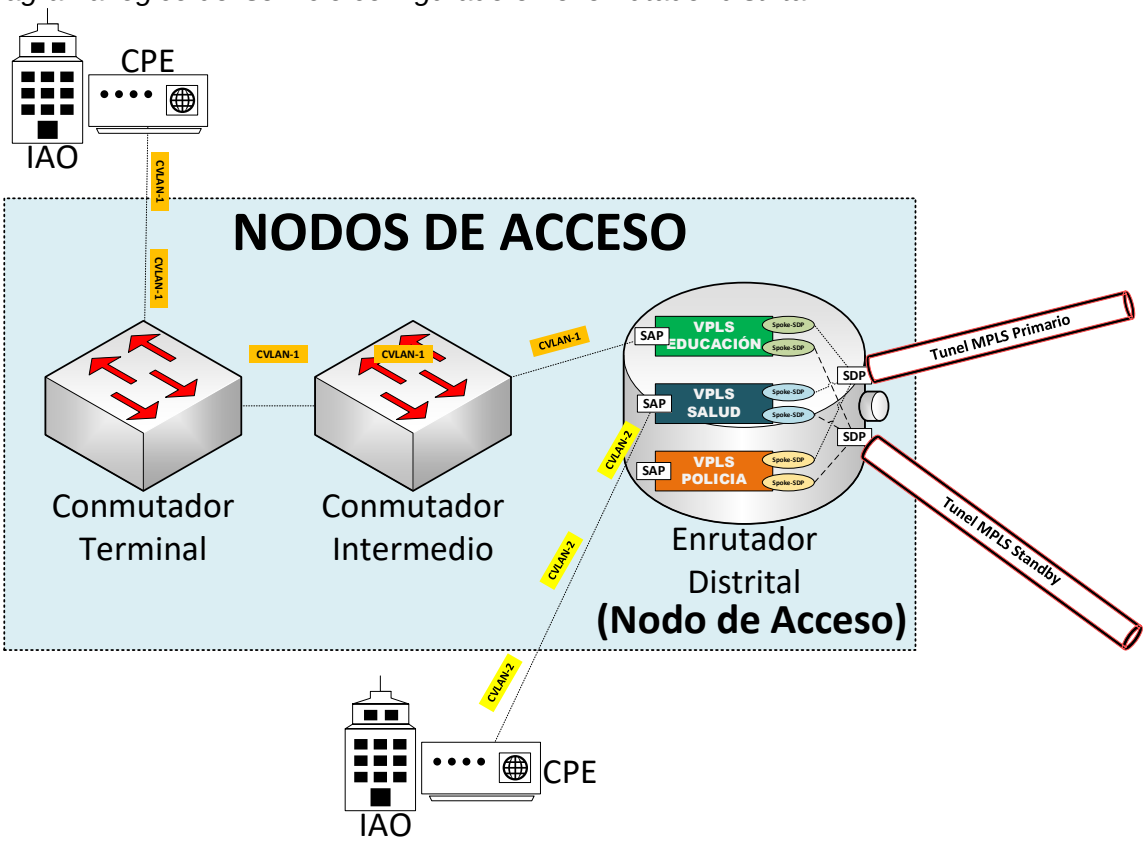
A continuación, se describe la configuración BNG.

3.4.2.1 Configuración de VPLS en Nodos Distritales

Esta configuración se realiza solo en los enrutadores distritales. En cada nodo de acceso (enrutador distrital), se crea una VPLS por cada tipo de IAO. Se configuran los SAP de todas las IAO que recibe el enrutador distrital. Además, se configuran dos Spoke-SDP hacia los BNG asociados a un *Endpoint* para determinar el túnel SDP activo y *standby*. Como se muestra en la figura 54, cuando se tienen CPE de IAO en nodos terminales o intermedios, al utilizar unos equipos conmutadores (*Switch* Capa-2). Estos permiten pasar la VLAN del suscriptor para que, finalmente, llegue al SAP del servicio VPLS que pertenece del enrutador distrital y luego continuar su camino al BNG. Cada enrutador distrital tendrá 3 servicios VPLS, uno por cada tipo de IAO.

Figura 54

Diagrama lógico del servicio configurado en el enrutador distrital.



En la figura 55, se muestra las tres VPLS creadas para cada tipo de IAO (VPLS 1700 - Educación, VPLS 1701 – Salud y VPLS 1702 - Policía) en el enrutador distrital Maranura. Estos servicios son configurados de igual manera en todos los enrutadores distritales de la red.

Figura 55

VPLS para cada tipo de IAO en el enrutador distrital Maranura

```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show service id 1700 base

===============================================================================
Service Basic Information
===============================================================================
Service Id        : 1700                Vpn Id            : 0
Service Type      : VPLS
Name              : VPLS-EDUCACION
Description       : (Not Specified)
Customer Id       : 1                   Creation Origin   : manual
Last Status Change: 07/11/2023 17:58:30
Last Mgmt Change  : 07/11/2023 17:57:57
Admin State       : Up                  Oper State        : Up
MTU               : 1514                Def. Mesh VC Id   : 1700
MTU Check         : Enabled
SAP Count         : 12                  SDP Bind Count    : 2
Snd Flush on Fail : Disabled            Host Conn Verify  : Disabled
SAP Type:         : Any
Propagate MacFlush: Disabled            Per Svc Hashing   : Disabled
Allow IP Intf Bind: Disabled            Fwd-IPv4-Mcast-To*: Disabled
VSD Domain        : <none>
SPI load-balance  : Disabled
TEID load-balance : Disabled

-------------------------------------------------------------------------------
Service Access & Destination Points
-------------------------------------------------------------------------------
Identifier                              Type         AdmMTU  OprMTU  Adm  Opr
-------------------------------------------------------------------------------
sap:1/1/5:700                           q-tag        9212    9212    Up   Up
sap:1/1/6:700                           q-tag        1700    1700    Up   Up
sap:1/1/7:700                           q-tag        8978    8978    Up   Down
sap:1/1/8:700                           q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/9:700                           q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/10:700                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/11:700                          q-tag        1700    1700    Up   Up
sap:1/1/12:700                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/13:700                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/14:700                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/15:700                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/16:700                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sdp:4001:156 S(10.40.3.1)               Spok         1514    1514    Up   Up
sdp:4002:156 S(10.40.3.2)               Spok         1514    1514    Up   Up
===============================================================================
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show service id 1701 base

===============================================================================
Service Basic Information
===============================================================================
Service Id        : 1701                Vpn Id            : 0
Service Type      : VPLS
Name              : VPLS-SALUD
Description       : (Not Specified)
Customer Id       : 1                   Creation Origin   : manual
Last Status Change: 07/11/2023 17:58:30
Last Mgmt Change  : 07/11/2023 17:57:57
Admin State       : Up                  Oper State        : Up
MTU               : 1514                Def. Mesh VC Id   : 1701
MTU Check         : Enabled
SAP Count         : 12                  SDP Bind Count    : 2
Snd Flush on Fail : Disabled            Host Conn Verify  : Disabled
SAP Type:         : Any
Propagate MacFlush: Disabled            Per Svc Hashing   : Disabled
Allow IP Intf Bind: Disabled            Fwd-IPv4-Mcast-To*: Disabled
VSD Domain        : <none>
SPI load-balance  : Disabled
TEID load-balance : Disabled

-------------------------------------------------------------------------------
Service Access & Destination Points
-------------------------------------------------------------------------------
Identifier                              Type         AdmMTU  OprMTU  Adm  Opr
-------------------------------------------------------------------------------
sap:1/1/5:701                           q-tag        9212    9212    Up   Up
sap:1/1/6:701                           q-tag        1700    1700    Up   Up
sap:1/1/7:701                           q-tag        8978    8978    Up   Down
sap:1/1/8:701                           q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/9:701                           q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/10:701                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/11:701                          q-tag        1700    1700    Up   Up
sap:1/1/12:701                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/13:701                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/14:701                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/15:701                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/16:701                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sdp:4001:2156 S(10.40.3.1)              Spok         1514    1514    Up   Up
sdp:4002:2156 S(10.40.3.2)              Spok         1514    1514    Up   Up
===============================================================================
```

```
A:CUS-MARANURA-AC-SASXP-01# show service id 1702 base

===============================================================================
Service Basic Information
===============================================================================
Service Id        : 1702                Vpn Id            : 0
Service Type      : VPLS
Name              : VPLS-SEGURIDAD
Description       : (Not Specified)
Customer Id       : 1                   Creation Origin   : manual
Last Status Change: 07/11/2023 17:58:30
Last Mgmt Change  : 07/11/2023 17:57:57
Admin State       : Up                  Oper State        : Up
MTU               : 1514                Def. Mesh VC Id   : 1702
MTU Check         : Enabled
SAP Count         : 12                  SDP Bind Count    : 2
Snd Flush on Fail : Disabled            Host Conn Verify  : Disabled
SAP Type:         : Any
Propagate MacFlush: Disabled            Per Svc Hashing   : Disabled
Allow IP Intf Bind: Disabled            Fwd-IPv4-Mcast-To*: Disabled
VSD Domain        : <none>
SPI load-balance  : Disabled
TEID load-balance : Disabled

-------------------------------------------------------------------------------
Service Access & Destination Points
-------------------------------------------------------------------------------
Identifier                              Type         AdmMTU  OprMTU  Adm  Opr
-------------------------------------------------------------------------------
sap:1/1/5:702                           q-tag        9212    9212    Up   Up
sap:1/1/6:702                           q-tag        1700    1700    Up   Up
sap:1/1/7:702                           q-tag        8978    8978    Up   Down
sap:1/1/8:702                           q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/9:702                           q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/10:702                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/11:702                          q-tag        1700    1700    Up   Up
sap:1/1/12:702                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/13:702                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/14:702                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/15:702                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sap:1/1/16:702                          q-tag        1700    1700    Up   Down
sdp:4001:4156 S(10.40.3.1)              Spok         1514    1514    Up   Up
sdp:4002:4156 S(10.40.3.2)              Spok         1514    1514    Up   Up
===============================================================================
```

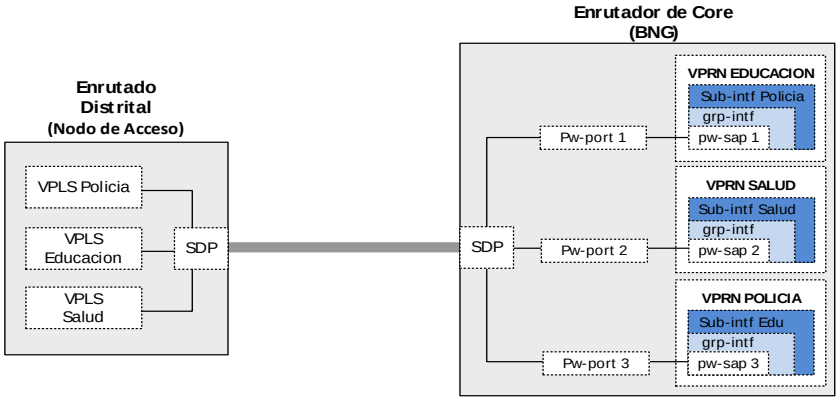
Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador distrital CU-0183-A01 MARANURA

3.4.2.2 Configuración de Enhanced Subscriber Management sobre Pseudo Wire Port MPLS (ESMoMPLS)

Esta configuración se lleva a cabo en los enrutadores de *core*. El *Pseudo Wire Port* (PW-PORT) facilita la finalización de la VPLS de cada servicio procedente del nodo de acceso (enrutador distrital), lo que lleva a la agregación MPLS de los usuarios directamente al BNG (enrutadores de *core*). Esto significa que la configuración de *Enhanced Subscriber Management* (ESM) se vincula directamente al PW y no a un SAP físico específico, tal como se ilustra en la figura 52.

Figura 56

Esquema lógica de la Solución BNG



Cada enrutador distrital tiene 3 servicios VPLS, uno por cada tipo de IAO. Cada VPLS requiere un PW-PORT en el BNG, es decir, que se requieren 3 PW-PORT por cada enrutador distrital. Cada pw-sap es asociado a la *subscriber-interface* correspondiente a su tipo de IAO.

Su configuración incluye dos partes. Primero, la definición del PW-PORT en el BNG y segundo, la asociación del PW-PORT al SDP creado en el BNG y que tiene como *far-end* o destino el enrutador distrital. El *Virtual Circuit* ID (VC-ID) configurado en el BNG es el mismo que se usa en la VPLS del enrutador distrital. En el SDP se asocia también el PW-PORT al puerto de red del enrutador de *core* que está conectado a la red de transporte, por el cual se recibe el PW-PORT. El puerto que se asocia al Pw-Port está configurado en modo hibrido. En caso de falla de este puerto o caída del SDP, el servicio conmutará al segundo BNG (enrutador de Core 02), por los que se configura de igual manera ambos BNG.

Para el ejemplo que se está tomando del nodo distrital Maranura, en la figura 57, el primer comando muestra los tres PW-PORT asociados al SDP “4156”. Dicho SDP tiene como *fard-end* al enrutador distrital de Maranura, tal como muestra el segundo comando. Los últimos tres comandos muestran cada PW-PORT configurado por cada tipo de IAO. No se muestra resultados del enrutador de Core 02 ya que son los mismos que el enrutador de Core 01 al tener la misma configuración.

Figura 57

PW-PORT en el enrutador Core asociado al SDP con destino Distrital Maranura

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show pw-port sdp 4156

===============================================================
PW Port Information
===============================================================
PW Port   Encap          SDP:VC-Id               IfIndex
---------------------------------------------------------------
156       dot1q          4156:156                1526726812
2156      dot1q          4156:2156               1526728812
4156      dot1q          4156:4156               1526730812
6156      dot1q          4156:6156               1526732812
===============================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01#
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show service sdp 4156

===============================================================================
Service Destination Point (Sdp Id : 4156)
===============================================================================
SdpId  AdmMTU  OprMTU  Far End          Adm  Opr          Del     LSP   Sig
-------------------------------------------------------------------------------
4156   1514    1514    10.40.3.156      Up   Up           MPLS    L     TLDP
===============================================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01#
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show pw-port 156 detail

===============================================================================
PW Port Information
===============================================================================

PW Port            : 156
Encap              : dot1q
SDP                : 4156
IfIndex            : 1526726812
VC-Id              : 156
Description        : 1700-CUS-MARANURA-AC-SASXP-01
Dot1Q Ethertype    : 0x8100
===============================================================================

===============================================================================
Service Destination Point (Sdp Id 4156 Pw-Port 156)
===============================================================================
SDP Binding port     : 1/1/13
VC-Id                : 156                  Admin Status       : up
Encap                : dot1q                Oper Status        : up
VC Type              : ether
Dot1Q Ethertype      : 0x8100
Control Word         : Not Preferred

Admin Ingress label  : None                 Admin Egress label : None
Oper Flags           : (Not Specified)
Monitor Oper-Group   : (Not Specified)
===============================================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show pw-port 2156 detail

===============================================================================
PW Port Information
===============================================================================

PW Port            : 2156
Encap              : dot1q
SDP                : 4156
IfIndex            : 1526728812
VC-Id              : 2156
Description        : 1701-CUS-MARANURA-AC-SASXP-01
Dot1Q Ethertype    : 0x8100
===============================================================================

===============================================================================
Service Destination Point (Sdp Id 4156 Pw-Port 2156)
===============================================================================
SDP Binding port     : 1/1/13
VC-Id                : 2156                 Admin Status       : up
Encap                : dot1q                Oper Status        : up
VC Type              : ether
Dot1Q Ethertype      : 0x8100
Control Word         : Not Preferred

Admin Ingress label  : None                 Admin Egress label : None
Oper Flags           : (Not Specified)
Monitor Oper-Group   : (Not Specified)
===============================================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show pw-port 4156 detail

===============================================================================
PW Port Information
===============================================================================

PW Port            : 4156
Encap              : dot1q
SDP                : 4156
IfIndex            : 1526730812
VC-Id              : 4156
Description        : 1702-CUS-MARANURA-AC-SASXP-01
Dot1Q Ethertype    : 0x8100
===============================================================================

===============================================================================
Service Destination Point (Sdp Id 4156 Pw-Port 4156)
===============================================================================
SDP Binding port     : 1/1/13
VC-Id                : 4156                 Admin Status       : up
Encap                : dot1q                Oper Status        : up
VC Type              : ether
Dot1Q Ethertype      : 0x8100
Control Word         : Not Preferred

Admin Ingress label  : None                 Admin Egress label : None
Oper Flags           : (Not Specified)
Monitor Oper-Group   : (Not Specified)
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Luego se crea una VPRN por cada tipo de IAO para la administración de los usuarios (suscriptores) en el contexto de *Enhanced Subscriber Management* (ESM). El *route-distinguisher* y *vrf-target* permiten identificar las rutas de la VPRN dentro de la red vía *Multiprotocol* BGP (MP-BGP). La opción *auto-bind-tunnel* permite asociar los LSP vía LDP para alcanzar una red de la misma VPRN que esté en otro PE (enrutador *core*). Dentro de cada VPRN BNG se utiliza una *Redundant-Interface* (interface redundante) que permite tener una conexión vía *spoke-sdp* entre cada VPRN de los dos BNG. El tráfico de bajada en el BNG *Stand-by* es enviado hacia el BNG activo que enviara todo el tráfico de bajada hacia el CPE.

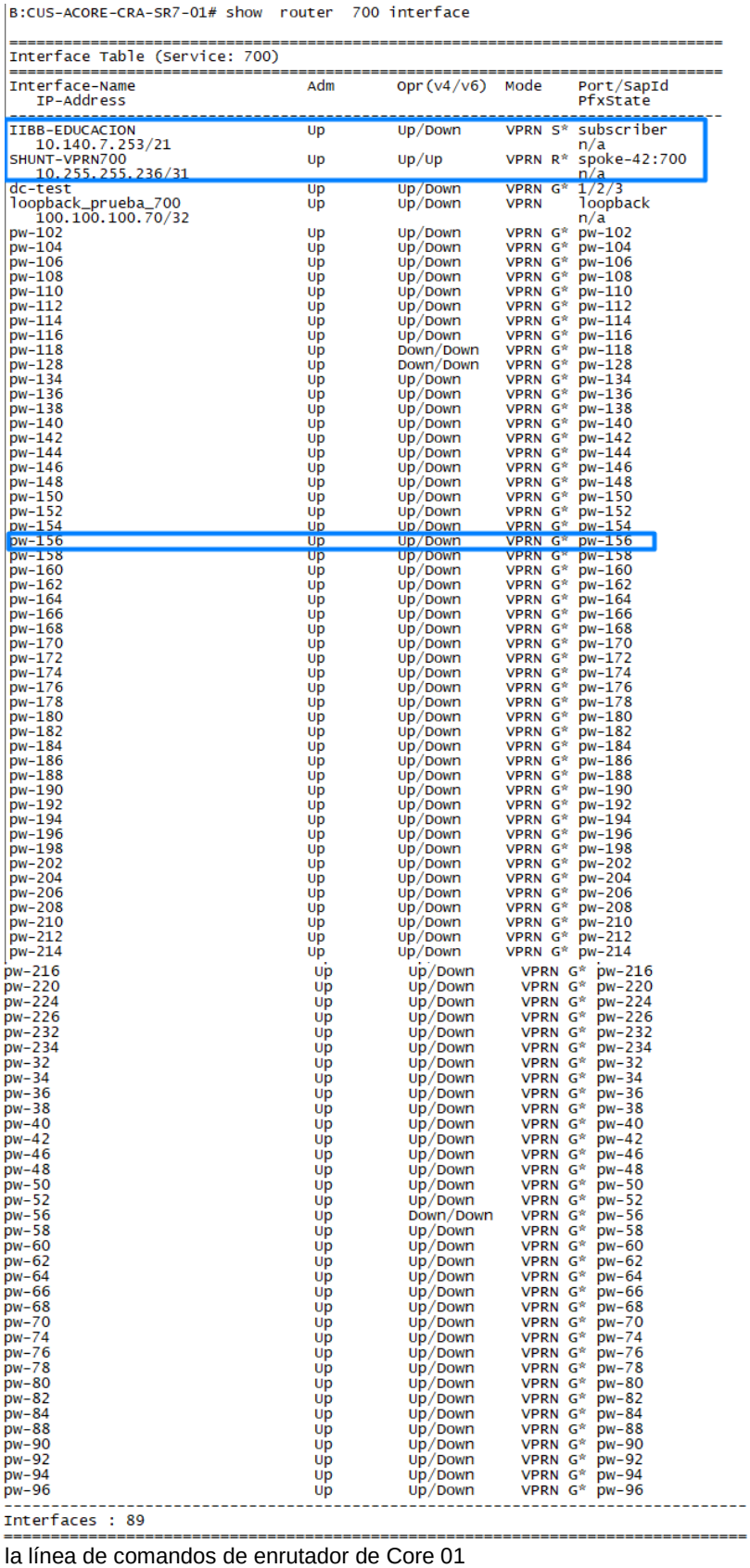
Para la configuración de la VPRN BNG se utiliza lo siguiente:

- ***Subscriber-Interface***, que define la interface L3 que es la dirección del *Gateway* para cada subred de los CPE (Existen 01 subred en cada VPRN BNG por cada tipo de IAO).
- ***Group-Interface***, permite configurar los parámetros comunes para un grupo de CPE. Se crea un *Group-Interface* por cada enrutador distrital en cada VPRN BNG.

En la figura 58, se muestran las interfaces en la VPRN-700 de Educación, donde se observa el *Subscriber-Interface* IIBB-EDUCACION, la interfaz redundante y todos los *Group-Interface* creados por cada nodo distrital, resaltando el que pertenece al distrital Maranura (pw-156). Para las VPRN de Salud y Policía, la información que se muestra es similar, solo se diferencian el *Group-Interface;* ya que están asociado a su PW-PORT por tipo de IAO. No se muestra resultados del enrutador de Core 02, ya que son los mismos que el enrutador de Core 01 al tener la misma configuración.

Figura 58

VPRN BNG de educación en el enrutador de core



```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show  router  700 interface

===============================================================================
Interface Table (Service: 700)
===============================================================================
Interface-Name                   Adm       Opr(v4/v6)  Mode    Port/SapId
   IP-Address                                                   PfxState
-------------------------------------------------------------------------------
IIBB-EDUCACION                   Up        Up/Down     VPRN S* subscriber
   10.140.7.253/21                                              n/a
SHUNT-VPRN700                    Up        Up/Up       VPRN R* spoke-42:700
   10.255.255.236/31                                            n/a
dc-test                          Up        Up/Down     VPRN G* 1/2/3
loopback_prueba_700              Up        Up/Down     VPRN    loopback
   100.100.100.70/32                                            n/a
pw-102                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-102
pw-104                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-104
pw-106                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-106
pw-108                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-108
pw-110                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-110
pw-112                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-112
pw-114                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-114
pw-116                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-116
pw-118                           Up        Down/Down   VPRN G* pw-118
pw-128                           Up        Down/Down   VPRN G* pw-128
pw-134                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-134
pw-136                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-136
pw-138                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-138
pw-140                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-140
pw-142                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-142
pw-144                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-144
pw-146                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-146
pw-148                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-148
pw-150                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-150
pw-152                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-152
pw-154                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-154
pw-156                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-156
pw-158                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-158
pw-160                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-160
pw-162                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-162
pw-164                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-164
pw-166                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-166
pw-168                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-168
pw-170                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-170
pw-172                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-172
pw-174                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-174
pw-176                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-176
pw-178                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-178
pw-180                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-180
pw-182                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-182
pw-184                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-184
pw-186                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-186
pw-188                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-188
pw-190                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-190
pw-192                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-192
pw-194                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-194
pw-196                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-196
pw-198                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-198
pw-202                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-202
pw-204                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-204
pw-206                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-206
pw-208                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-208
pw-210                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-210
pw-212                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-212
pw-214                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-214
pw-216                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-216
pw-220                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-220
pw-224                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-224
pw-226                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-226
pw-232                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-232
pw-234                           Up        Up/Down     VPRN G* pw-234
pw-32                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-32
pw-34                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-34
pw-36                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-36
pw-38                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-38
pw-40                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-40
pw-42                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-42
pw-46                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-46
pw-48                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-48
pw-50                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-50
pw-52                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-52
pw-56                            Up        Down/Down   VPRN G* pw-56
pw-58                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-58
pw-60                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-60
pw-62                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-62
pw-64                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-64
pw-66                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-66
pw-68                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-68
pw-70                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-70
pw-74                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-74
pw-76                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-76
pw-78                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-78
pw-80                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-80
pw-82                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-82
pw-84                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-84
pw-88                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-88
pw-90                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-90
pw-92                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-92
pw-94                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-94
pw-96                            Up        Up/Down     VPRN G* pw-96
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 89
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

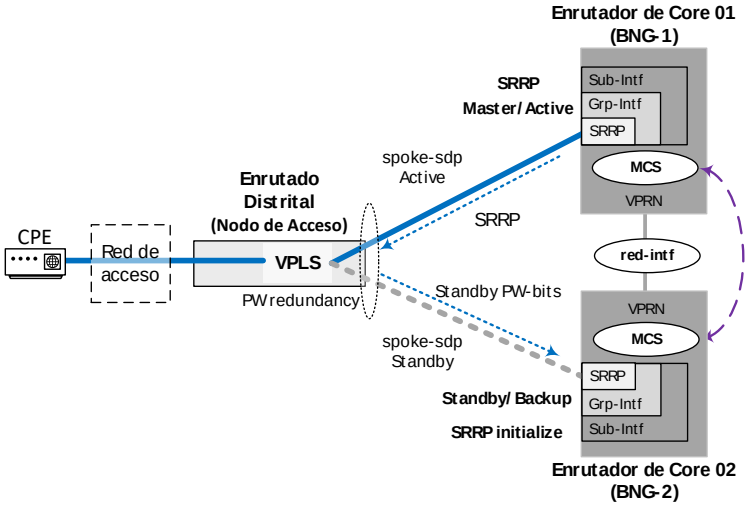
Para manejar redundancia dentro de la solución se tendrá en cuenta configurar:

- ***Subscriber Routed Redundancy Protocol* (SRRP)**, que es una modificación del protocolo *Virtual Router Redundancy Protocol* (VRRP) adaptada para un ambiente de BNG, opera en un SAP específico dentro de un *group* interface bajo el contexto de *subscriber-interface*. Para la operación del SRRP se requiere una interface que conecte los dos BNG, denominada interface redundante.
- ***Multi-Chassis Sinchronization* (MCS)**, sincroniza el estado entre los dos BNG. Mantiene una base de datos distribuida que contiene información dinámica de estado creada por cualquiera de los nodos.

Dentro de cada *subsciber-interface* se crea una *group-interface* por cada PW-PORT y finalmente para la redundancia, se asocia una instancia SRRP a cada *group interface*. Esta instancia es administrada y sincronizada por los dos BNG. La figura 59 muestra el esquema de redundancia.

Figura 59

Diagrama lógico de Redundancia en la solución BNG



En la figura 60, se muestra el estado SRRP para el nodo distrital Maranura está en modo MASTER para la VPRN de Educación en el enrutador de Core 01. En la figura 61, se muestra el estado SRRP en modo INITIALIZE para el enrutador de Core 02. Las VPRN de Salud y Policía deberán mostrar el mismo comportamiento.

Figura 60

Estado de SRRP de Maranura en el enrutador de Core 01

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show  srrp 156

===============================================================================
SRRP Instance 156
===============================================================================
Description          : (Not Specified)
Admin State          : Up                   Oper State       : master
Preempt              : yes                  One GARP per SAP : no
Monitor Oper Group   : None
System IP            : 10.40.3.1
Service ID           : VPRN 700
Group If             : pw-156               MAC Address      : 40:7c:7d:22:28:01
Grp If Description   : N/A
Grp If Admin State   : Up                   Grp If Oper State: Up
Subscriber If        : IIBB-EDUCACION
Sub If Admin State   : Up                   Sub If Oper State: Up
Address              : 10.140.7.253/21      Gateway IP       : 10.140.0.1
Redundant If         : SHUNT-VPRN700
Red If Admin State   : Up                   Red If Oper State: Up
Address              : 10.255.255.236/31
Red Spoke-sdp        : 42:700
Msg Path SAP         : pw-156:4090
Admin Gateway MAC    :                      Oper Gateway MAC : 00:00:5e:00:01:9c
Config Priority      : 200                  In-use Priority  : 200
Master Priority      : 200
Keep-alive Interval  : 10 deci-seconds      Master Since     : 03/21/2024 14:30:54
Fib Population Mode  : all
VRRP Policy 1        : None                 VRRP Policy 2    : None
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Figura 61

Estado de SRRP de Maranura en el enrutador de Core 02

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show srrp 156

===============================================================================
SRRP Instance 156
===============================================================================
Description          : (Not Specified)
Admin State          : Up                   Oper State       : initialize
Oper Dn Reason       : ifDown               One GARP per SAP : no
Preempt              : yes
Monitor Oper Group   : None
System IP            : 10.40.3.2
Service ID           : VPRN 700
Group If             : pw-156               MAC Address      : 40:7c:7d:2f:34:01
Grp If Description   : N/A
Grp If Admin State   : Up                   Grp If Oper State: Down
Subscriber If        : IIBB-EDUCACION
Sub If Admin State   : Up                   Sub If Oper State: Up
Address              : 10.140.7.254/21      Gateway IP       : 10.140.0.1
Redundant If         : SHUNT-VPRN700
Red If Admin State   : Up                   Red If Oper State: Up
Address              : 10.255.255.237/31
Red Spoke-sdp        : 42:700
Msg Path SAP         : pw-156:4090
Admin Gateway MAC    :                      Oper Gateway MAC : 00:00:5e:00:01:9c
Config Priority      : 200                  In-use Priority  : 200
Master Priority      : 200
Keep-alive Interval  : 10 deci-seconds      Master Since     : 03/20/2024 19:26:31
Master Down Interval: 0.000 sec (Expires in 0.000 sec)
Fib Population Mode  : all
VRRP Policy 1        : None                 VRRP Policy 2    : None
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

3.4.2.3 Autenticación con servidor AAA Radius

Esta configuración se realiza en los enrutadores de *core*. Para autenticar cada CPE de la IAO, se requiere previamente la integración para sesiones PPPoE de un servidor AAA Radius con los enrutadores de *Core*. Una vez aprovisionado, el servidor AAA Radius considera las siguientes entidades ESM:

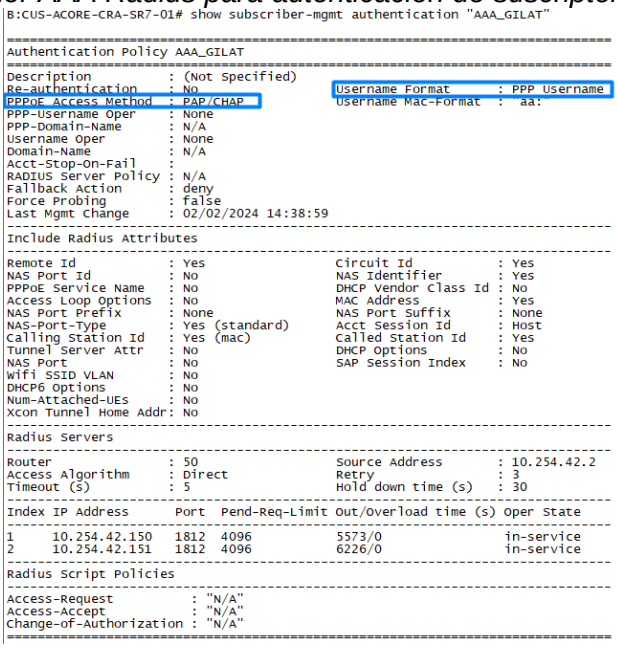
- ***Subscriber.*** El suscriptor es el punto de acceso del usuario final a la red (normalmente CPE de la IAO).

- ***Subscriber Host*.** Dispositivos asociados con un abonado (VoIP, Video & Data Services). Para esta solución 1 Subscriber = 1 Subscriber Host ya que estamos terminando 01 sesión PPPoE por abonado (IAO).
- ***Subscriber* ID** (Max 32 caracteres). Cadena de caracteres que identifica a cada suscriptor. Puede ser el nombre de usuario del suscriptor. A cada suscriptor se le debe asignar un Subscriber ID, se usa como llave para asociar la información del usuario.
- ***Subscriber Profile*** (Max 16 caracteres). Contiene información específica y los perfiles asociados de velocidades de transferencia de datos por suscriptor.
- ***SLA Profile*** (Max 16 caracteres). Determina la clasificación QoS y BW para cada *Subscriber Host*, y así asegurar que el tráfico del usuario cumpla con los *Service Level Agreement* (SLA) predefinidos.

La figura 62 ilustra la integración del enrutador de *Core* 01 (BNG-1) con el servidor AAA *Radius*, en la que los suscriptores se autentican mediante su *username* y *password* establecidos en el CPE. Una vez verificada la autenticación, el AAA asigna una dirección IP privada (conocida como IP de DATOS con la que se sale a Internet) y el perfil de velocidad de transferencia de datos.

Figura 62

Integración de un servidor AAA Radius para autenticación de suscriptores BNG



```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show subscriber-mgmt authentication "AAA_GILAT"

===============================================================================
Authentication Policy AAA_GILAT
===============================================================================
Description           : (Not Specified)
Re-authentication     : No                    Username Format      : PPP Username
PPPoE Access Method   : PAP/CHAP              Username Mac-Format  : aa:
PPP-Username Oper     : None
PPP-Domain-Name       : N/A
Username Oper         : None
Domain-Name           : N/A
Acct-Stop-On-Fail     :
RADIUS Server Policy  : N/A
Fallback Action       : deny
Force Probing         : false
Last Mgmt Change      : 02/02/2024 14:38:59
-------------------------------------------------------------------------------
Include Radius Attributes
-------------------------------------------------------------------------------
Remote Id             : Yes                   Circuit Id           : Yes
NAS Port Id           : No                    NAS Identifier       : Yes
PPPoE Service Name    : No                    DHCP Vendor Class Id : No
Access Loop Options   : No                    MAC Address          : Yes
NAS Port Prefix       : None                  NAS Port Suffix      : None
NAS-Port-Type         : Yes (standard)        Acct Session Id      : Host
Calling Station Id    : Yes (mac)             Called Station Id    : Yes
Tunnel Server Attr    : No                    DHCP Options         : No
NAS Port              : No                    SAP Session Index    : No
Wifi SSID VLAN        : No
DHCP6 Options         : No
Num-Attached-UEs      : No
Xcon Tunnel Home Addr: No
-------------------------------------------------------------------------------
Radius Servers
-------------------------------------------------------------------------------
Router                : 50                    Source Address       : 10.254.42.2
Access Algorithm      : Direct                Retry                : 3
Timeout (s)           : 5                     Hold down time (s)   : 30
-------------------------------------------------------------------------------
Index IP Address      Port  Pend-Req-Limit Out/Overload time (s) Oper State
-------------------------------------------------------------------------------
1     10.254.42.150   1812  4096           5573/0                in-service
2     10.254.42.151   1812  4096           6226/0                in-service
-------------------------------------------------------------------------------
Radius Script Policies
-------------------------------------------------------------------------------
Access-Request          : "N/A"
Access-Accept           : "N/A"
Change-of-Authorization : "N/A"
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Para el enrutador de Core 02 se tiene el mismo resultado de la figura 62.

3.4.2.4 Configuración de VPLS de captura

Esta configuración se realiza en los enrutadores de *core*. Para cada tipo de IAO por nodo distrital se requiere asociar el PW-PORT por el cual se recibe. El *capture-sap* recibe el paquete que dispara la autenticación del CPE, se le asocia una política de parámetros de sesiones PPPoE y la base de datos local (que considera al servidor AAA Radius) para autenticarse posteriormente. En la figura 63, se tiene la VPLS-1700 de Educación, donde se observa los PW-PORT asociados para cada nodo distrital, resaltando el que pertenece al distritral Maranura (sap:pw-156:*). Para Salud (VPLS-1701) y Policía (VPLS-1702), la información que se muestra es similar, solo se diferencian el PW-PORT.

Figura 63

VPLS de captura de educación en el enrutador de Core 01

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show service id 1700 base

===============================================================================
Service Basic Information
===============================================================================
Service Id        : 1700                Vpn Id            : 0
Service Type      : VPLS
MACSec enabled    : no
Name              : VPLS-EDUCACION
Description       : (Not Specified)
Customer Id       : 1                   Creation Origin   : manual
Last Status Change: 01/02/2024 12:12:45
Last Mgmt Change  : 02/02/2024 14:39:00
Etree Mode        : Disabled
Admin State       : Up                  Oper State        : Up
MTU               : 1514
SAP Count         : 85                  SDP Bind Count    : 0
Snd Flush on Fail : Disabled            Host Conn Verify  : Disabled
SHCV pol IPv4     : None
Propagate MacFlush: Disabled            Per Svc Hashing   : Disabled
Allow IP Intf Bind: Disabled
Fwd-IPv4-Mcast-To*: Disabled            Fwd-IPv6-Mcast-To*: Disabled
Mcast IPv6 scope  : mac-based
Def. Gateway IP   : None
Def. Gateway MAC  : None
Temp Flood Time   : Disabled            Temp Flood        : Inactive
Temp Flood Chg Cnt: 0
SPI load-balance  : Disabled
TEID load-balance : Disabled
Src Tep IP        : N/A
Vxlan ECMP        : Disabled
MPLS ECMP         : Disabled
VSD Domain        : <none>

-------------------------------------------------------------------------------
Service Access & Destination Points
-------------------------------------------------------------------------------
Identifier                              Type         AdmMTU  OprMTU  Adm   Opr
-------------------------------------------------------------------------------
sap:pw-32:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-34:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-36:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-38:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-40:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-42:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-46:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-48:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-50:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-52:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-56:*                             q-tag        9212    1518    Up    Down
sap:pw-58:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-60:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-62:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-64:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-66:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-68:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-70:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-74:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-76:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-78:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-80:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-82:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-84:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-88:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-90:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-92:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-94:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-96:*                             q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-102:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-104:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-106:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-108:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-110:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-112:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-114:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-116:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-118:*                            q-tag        9212    1518    Up    Down
sap:pw-128:*                            q-tag        9212    1518    Up    Down
sap:pw-134:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-136:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-138:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-140:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-142:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-144:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-146:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-148:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-150:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-152:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-154:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-156:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-158:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-160:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-162:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-164:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-166:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-168:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-170:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-172:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-174:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-176:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
sap:pw-178:*                            q-tag        9212    1518    Up    Up
```

```
sap:pw-180:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-182:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-184:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-186:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-188:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-190:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-192:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-194:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-196:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-198:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-202:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-204:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-206:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-208:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-210:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-212:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-214:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-216:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-220:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-224:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-226:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-232:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
sap:pw-234:*                                q-tag        9212    1518    Up   Up
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

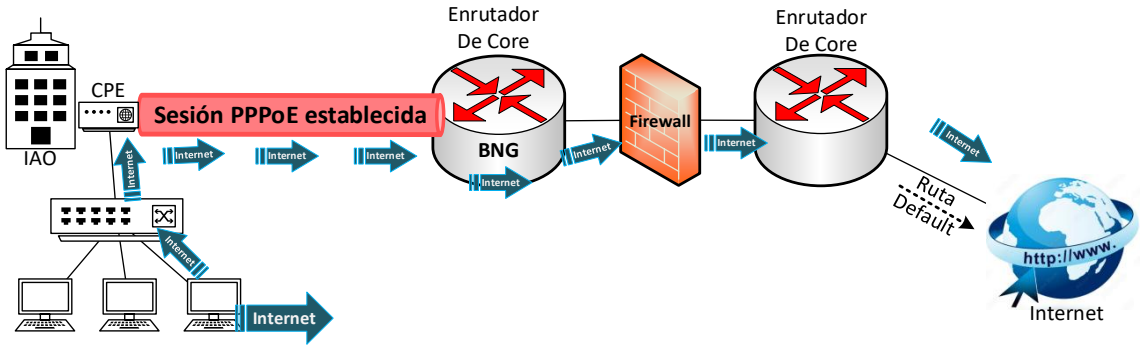
Para el enrutador de Core 02 se tiene el mismo resultado de la figura 3.47.

3.4.3 Configuración para el acceso a Internet

La figura 64 nos muestra que hay un *Firewall* en el medio antes de acceder a los servicios de Internet, conectado a los enrutadores de *core*. Una vez establecida la sesión PPPoE entre el CPE y el BNG, y sea asignado una IP de datos al suscriptor, se envía el tráfico al *Firewall,* donde se aplica reglas de seguridad sobre el tráfico de las IAO. Luego, el *Firewall* devuelve el tráfico analizado al enrutador de *core*, que tiene en su tabla de rutas la ruta default para salir a Internet. Para salir a internet, el tráfico de datos es nateado para pasar de direccionamiento privado a direccionamiento público. El procedimiento de NAT será explicado en la siguiente sección.

Figura 64

Flujo lógico de acceso a Internet de una institución.



3.4.3.1 Configuración de *Carrier-Grade NAT* (CGNAT) para acceder a Internet

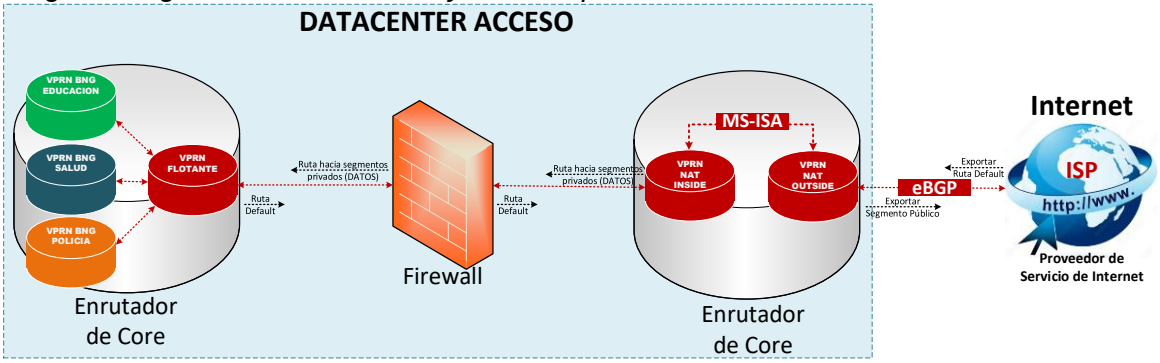
El direccionamiento (IP de Datos) de los servicios para las IAO pertenece a rangos privados, por lo que se requiere realizar un NAT hacia un *pool* público para que los usuarios dentro de las IAO puedan acceder a destinos en Internet.

Para el proyecto, se instala y configura una tarjeta *Multiservice Integrated Service Adapters* (MS-ISA) en los enrutadores de *core* para realizar el proceso CGNAT también llamado LSN (NAT a gran escala). En este caso, se utiliza NAT en modo dinámico. La redundancia es *inter-chassis*; es decir, se instalan una tarjeta MS-ISA en cada enrutador de *core*. Para permitir la configuración del NAT, se configura previamente un NAT-GROUP sobre la instancia ISA del enrutador de *core*, el cual se asocia el *hardware* MS-ISA. Para CGNAT, la terminología usada para dirigir la interfaz hacia la tarjeta MS-ISA es Nat-In-IP o Nat-Inside, que indica el lado de direccionamiento privado. La interfaz de la tarjeta MS-ISA se definirá como Nat-Out-IP o Nat-Outside donde están presentes las direcciones públicas. La configuración se aplicarse en ambos enrutadores de *core*.

Como se muestra en la figura 65, se crea una VPRN denominada Flotante, que concentra el tráfico proveniente de cada una de las VPRN BNG de las IAO (mediante una política de importación) y posee una ruta default hacía el *Firewall*, el cual se exporta a cada VPRN BNG. En el *Firewall*, se tiene configurado 02 rutas estáticas: una ruta hacía el segmento privado (IP de Datos) con siguiente salto la VPRN Flotante y otra ruta *default* con siguiente salto a la VPRN de NAT INSIDE.

Figura 65

Diagrama lógico del enrutamiento y CGNAT para salida a Internet

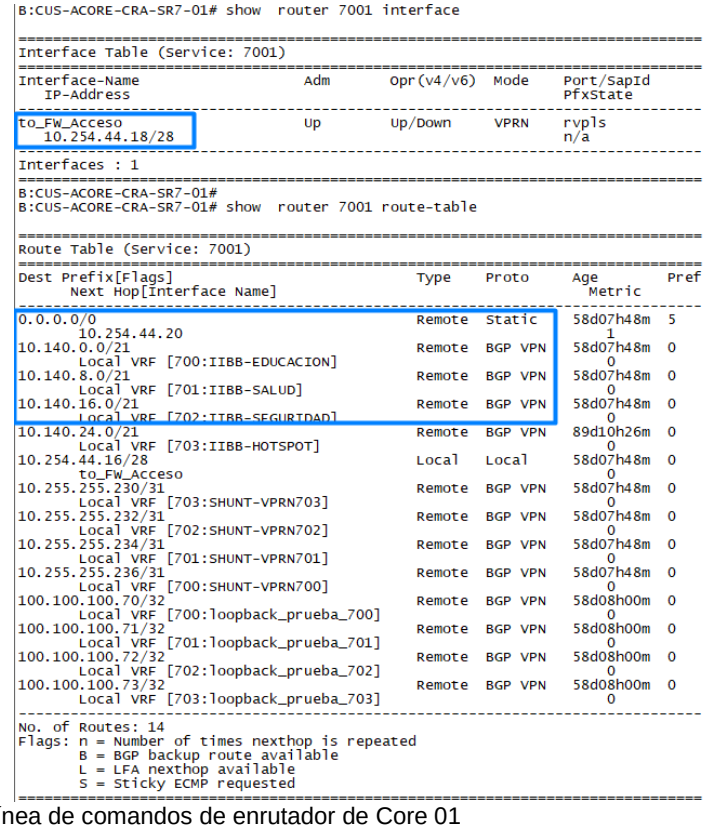


Una vez en la VPRN NAT INSIDE, como se observa en la figura 65, se tiene una ruta estática de regreso al segmento privado (IP de datos). Además, el NAT de las redes privadas (IP de datos de las IAO) se ejecuta basado en el método de *prefix-destination* usando 0.0.0.0/0 como destino. Esto quiere decir, que a cualquier paquete que no se resuelva con las entradas específicas en la tabla de rutas de la VPRN INSIDE se le hará la acción de NAT y se asocia una política de NAT, donde se indica el *pool* público con el cual se va a ejecutar la acción NAT y la VPRN NAT OUTSIDE destino. En esta VPRN, *OUTSIDE* corresponde a la instancia donde los paquetes circularán después de haberse aplicado el NAT sobre ellos. En el proyecto, la *VPRN OUTSIDE* configurada será la misma que tenga sesión eBGP para la salida a Internet por medios del ISP. Las configuraciones de redundancia se configuran en la instancia *VPRN OUTSIDE* donde se define el pool de direcciones IP públicas, la configuración incluye la definición de *Export* (router local) y Monitor (router remoto) dentro del pool público para disparar la convergencia de la operación NAT en caso de ser necesario.

En la figura 66, en el primer comando se observa la interface hacía el *Firewall* en la VPRN Flotante. En el segundo comando se muestra la tabla de rutas resaltando la ruta estática default con destino al *Firewall* y las redes de datos importadas de las VPRN BNG.

Figura 66

VPRN Flotante en el enrutador de Core 01



```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show  router 7001 interface

===============================================================================
Interface Table (Service: 7001)
===============================================================================
Interface-Name                   Adm       Opr(v4/v6)  Mode    Port/SapId
   IP-Address                                                   PfxState
-------------------------------------------------------------------------------
to_FW_Acceso                     Up        Up/Down     VPRN    rvpls
   10.254.44.18/28                                              n/a
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 1
===============================================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01#
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show  router 7001 route-table

===============================================================================
Route Table (Service: 7001)
===============================================================================
Dest Prefix[Flags]                                 Type    Proto     Age        Pref
      Next Hop[Interface Name]                                       Metric
-------------------------------------------------------------------------------
0.0.0.0/0                                          Remote  Static    58d07h48m  5
       10.254.44.20                                                   1
10.140.0.0/21                                      Remote  BGP VPN   58d07h48m  0
       Local VRF [700:IIBB-EDUCACION]                                 0
10.140.8.0/21                                      Remote  BGP VPN   58d07h48m  0
       Local VRF [701:IIBB-SALUD]                                     0
10.140.16.0/21                                     Remote  BGP VPN   58d07h48m  0
       Local VRF [702:IIBB-SEGURIDAD]                                 0
10.140.24.0/21                                     Remote  BGP VPN   89d10h26m  0
       Local VRF [703:IIBB-HOTSPOT]                                   0
10.254.44.16/28                                    Local   Local     58d07h48m  0
       to_FW_Acceso                                                   0
10.255.255.230/31                                  Remote  BGP VPN   58d07h48m  0
       Local VRF [703:SHUNT-VPRN703]                                  0
10.255.255.232/31                                  Remote  BGP VPN   58d07h48m  0
       Local VRF [702:SHUNT-VPRN702]                                  0
10.255.255.234/31                                  Remote  BGP VPN   58d07h48m  0
       Local VRF [701:SHUNT-VPRN701]                                  0
10.255.255.236/31                                  Remote  BGP VPN   58d07h48m  0
       Local VRF [700:SHUNT-VPRN700]                                  0
100.100.100.70/32                                  Remote  BGP VPN   58d08h00m  0
       Local VRF [700:loopback_prueba_700]                            0
100.100.100.71/32                                  Remote  BGP VPN   58d08h00m  0
       Local VRF [701:loopback_prueba_701]                            0
100.100.100.72/32                                  Remote  BGP VPN   58d08h00m  0
       Local VRF [702:loopback_prueba_702]                            0
100.100.100.73/32                                  Remote  BGP VPN   58d08h00m  0
       Local VRF [703:loopback_prueba_703]                            0
-------------------------------------------------------------------------------
No. of Routes: 14
Flags: n = Number of times nexthop is repeated
       B = BGP backup route available
       L = LFA nexthop available
       S = Sticky ECMP requested
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

Para el enrutador de Core 02 se tiene el mismo resultado de la figura 66.

En la figura 67, en el primer comando se observa una interface de *Nat-Inside* y la interface hacía el *Firewall* en la *VPRN INSIDE*. En el segundo comando, se muestra la tabla de rutas resaltando la ruta *default* con destino al *Nat-Inside* y otra ruta estática hacía las redes sumarizadas del segmento privado de las IAO con siguiente salto la IP del *Firewall*, esto para el retorno del tráfico. Para este caso, el CGNAT se realiza en el enrutador de Core-02 que está como activo.

Figura 67

VPRN INSIDE en el enrutador de Core 02

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show router 7002 interface

===============================================================================
Interface Table (Service: 7002)
===============================================================================
Interface-Name                   Adm       Opr(v4/v6)  Mode    Port/SapId
   IP-Address                                                  PfxState
-------------------------------------------------------------------------------
tmnx_nat-inside                  Up        Up/Down     VPRN    bbg-1.nat-in-ip*
   -                                                           -
to_FW_Acceso                     Up        Up/Down     VPRN    rvpls
   10.254.44.147/28                                            n/a
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 2
===============================================================================
* indicates that the corresponding row element may have been truncated.
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02#
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show router 7002 route-table

===============================================================================
Route Table (Service: 7002)
===============================================================================
Dest Prefix[Flags]                                Type    Proto     Age        Pref
      Next Hop[Interface Name]                                      Metric
-------------------------------------------------------------------------------
0.0.0.0/0                                         Remote  NAT       0178d14h   0
       NAT inside                                                        0
10.140.0.0/19                                     Remote  Static    0129d01h   5
       10.254.44.148                                                     1
10.254.44.144/28                                  Local   Local     0129d01h   0
       to_FW_Acceso                                                      0
10.254.46.0/28                                    Remote  BGP VPN   0417d23h   0
       Local VRF [40:to_Server_Intranet]                                 0
172.17.40.0/24                                    Remote  BGP VPN   0215d06h   170
       10.40.3.1 (tunneled)                                              10
-------------------------------------------------------------------------------
No. of Routes: 5
Flags: n = Number of times nexthop is repeated
       B = BGP backup route available
       L = LFA nexthop available
       S = Sticky ECMP requested
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

3.4.3.1.1 Asignación de recursos y Dimensionamiento

El NAT asigna una IP *Outside* y un rango de puertos (o bloque de puertos) para cada *Host/Suscriptor*. Por defecto, hay 64512 puertos disponibles por IP Outside. Sin embargo, el bloque de puertos es configurable.

Para el proyecto, se definen 256 bloques de puertos (UDP, TCP e ICMP) por cada dirección IP *Outside*. En la política de NAT se configura hasta 2 bloques para cada dirección IP *Inside* como se muestra en la figura 68. Cada bloque tendría lo siguiente:

$$\#Puertos/Bloque = \frac{64512}{256} = 252\ Puertos\ por\ Bloque$$

Figura 68

Política de Nat-Inside

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show service nat nat-policy "NAT-USERS"

===============================================================================
NAT Policy NAT-USERS
===============================================================================
Description                         : NAT_IIBB_y_Clientes_GILAT
Pool                                : PUBLICO1
Router                              : vprn7000
Filtering                           : endpointIndependent
Block limit                         : 2
Reserved ports                      : 0
Port usage High Watermark (%)       : (Not Specified)
Port usage Low Watermark (%)        : (Not Specified)
Port forwarding limit               : 0
Port forwarding range end           : 1023
Session limit                       : 65535
Reserved sessions                   : 0
Session usage High Watermark (%)    : (Not Specified)
Session usage Low Watermark (%)     : (Not Specified)
ALG enabled                         : ftp
Prioritized forwarding classes      : (Not Specified)
Timeout TCP established (s)         : 7440
Timeout TCP transitory (s)          : 240
Timeout TCP SYN (s)                 : 15
Timeout TCP TIME-WAIT (s)           : 0
Timeout TCP RST (s)                 : 0
Timeout UDP mapping (s)             : 300
Timeout UDP initial (s)             : 15
Timeout UDP DNS (s)                 : 15
Timeout ICMP Query (s)              : 60
Timeout SIP Inactive Media (s)      : 120
Subscriber retention (s)            : 0
UDP inbound refresh                 : false
TCP MSS Adjust                      : (Not Specified)
Destination NAT classifier          : (Not Specified)
Destination-NAT-only router         : (Not Specified)
Destination-NAT-only ISA NAT group  : (Not Specified)
IPFIX export policy                 : (Not Specified)
Syslog export policy                : (Not Specified)
Reset unknown TCP                   : false
L2 outside                          : false
Last Mgmt Change                    : 11/23/2023 21:32:32
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

Por lo que cada IP *Inside* tendría hasta 504 Puertos. Considerando que el total de IAO es 581, es decir, se necesita *natear* 581 IP privadas (IP de Datos de los CPE), se tiene

$$Cantidad\ de\ puertos = 581 \times 504 = 292{,}824\ de\ puertos\ necesarios$$

$$Cantidad\ de\ IP\ PÚBLICAS = \frac{292{,}824}{64{,}512} = 4.539\ \cong 5\ IP\ PÚBLICAS$$

Por lo que se necesitan como mínimo 5 IP públicas para cubrir los 581 IAO de la región de Cusco. En la figura 69, se muestra el pool de IP públicas asignadas dentro de la VPRN OUTSIDE para el nateo de las IAO. Se observa que se asignaron 30 IP públicas, el cual es un valor que ya considera un crecimiento para el futuro. También se observa que el enrutador de Core 02 está como activo para realizar la función de CGNAT.

Figura 69

Pool de IP públicas para el CGNAT de las IAO

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show  router  7000 nat pool "PUBLICO1"

===============================================================================
NAT Pool PUBLICO1
===============================================================================
Description                          : Pool_IIBBs
ISA NAT Group                        : 1
Pool type                            : largeScale
Applications                         : (None)
Admin state                          : inService
Mode                                 : napt
Port forwarding dyn blocks reserved  : 0
Port forwarding range                : 1 - 1023
Port reservation                     : 256 blocks
Block usage High Watermark (%)       : (Not Specified)
Block usage Low Watermark (%)        : (Not Specified)
Subscriber limit per IP address      : 65535
Active                               : true
Deterministic port reservation       : (Not Specified)
Last Mgmt Change                     : 11/23/2023 21:32:32
===============================================================================

===============================================================================
NAT address ranges of pool PUBLICO1
===============================================================================
Range                                                          Drain Num-blk
-------------------------------------------------------------------------------
168.0.15.33 - 168.0.15.63                                          389
-------------------------------------------------------------------------------
No. of ranges: 1
===============================================================================

===============================================================================
NAT members of pool PUBLICO1 ISA NAT group 1
===============================================================================
Member                                                      Block-Usage-% Hi
-------------------------------------------------------------------------------
1                                                           4              N
-------------------------------------------------------------------------------
No. of members: 1
===============================================================================

===============================================================================
Dual-Homing
===============================================================================
Type                                 : Leader
Export route                         : 10.40.3.2/32
Monitor route                        : 10.40.3.1/32
Admin state                          : inService
Dual-Homing State                    : Active
===============================================================================

===============================================================================
Dual-Homing fate-share-group
===============================================================================
Router          Pool                                                    Type
-------------------------------------------------------------------------------
vprn7000        FW-ACCESO                                               Follower
vprn7000        PUBLICO1                                                Leader
-------------------------------------------------------------------------------
No. of pools: 2
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

3.4.3.1.2 *Peering* de Internet

Se establece una sesión eBGP hacia el ISP en cada enrutador de *core* para compartir el segmento de red público a Internet. Se utiliza una política de exportación hacía el ISP para filtrar las rutas y solo enviar el segmento público. El ISP envía su ruta *default* desde Internet.

En la figura 70, en el primer comando se observa una interface de *Nat-Outside* y la interface hacía el Proveedor de Internet (ISP) en la VPRN OUTSIDE. En el segundo comando, se muestra que se estableció la sesión eBGP con el ISP y ya comparten rutas. En el último comando, se observa la tabla de rutas resaltando la ruta *default* que nos envía el ISP mediante el protocolo BGP.

Figura 70

VPRN OUTSIDE y eBGP hacía proveedor de Internet

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show  router 7000 interface

===============================================================================
Interface Table (Service: 7000)
===============================================================================
Interface-Name                   Adm       Opr(v4/v6)  Mode    Port/SapId
   IP-Address                                                   PfxState
-------------------------------------------------------------------------------
_tmnx_nat-outside_2/1            Up        Up/Up       VPRN    2/1/nat-out-ip:*
   fe80::427c:7dff:fe2f:3401/64                                 PREFERRED
loopback_pruebas_INET            Up        Up/Down     VPRN    loopback
   168.0.15.0/32                                                n/a
to_FW_Transporte                 Up        Up/Down     VPRN    rvpls
   168.0.15.131/28                                              n/a
to_InternetOptical               Down      Down/Down   VPRN    1/1/13:128
   172.30.28.1/29                                               n/a
to_Internet_Global-Fiber         Up        Up/Down     VPRN    1/1/14
   172.30.10.28/29                                              n/a
to_Internet_TDP                  Up        Down/Down   VPRN    1/2/4:110
   172.22.243.238/30                                            n/a
-------------------------------------------------------------------------------
Interfaces : 6
===============================================================================
* indicates that the corresponding row element may have been truncated.
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02#
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show  router 7000 bgp summary all

===============================================================================
BGP Summary
===============================================================================
Legend : D - Dynamic Neighbor
===============================================================================
Neighbor
Description
ServiceId          AS PktRcvd InQ  Up/Down   State|Rcv/Act/Sent (Addr Family)
                      PktSent OutQ
-------------------------------------------------------------------------------
10.40.3.1
ACUS-ACORE-CRA-SR7-01
Def. Instance  65500  1428996    0 58d08h36m 27/9/30 (VpnIPv4)
                      1530687    0
172.31.28.2
OPTICAL-RDNFO-L2L
Def. Instance  65200   115072    0 04d10h32m 2/2/9 (IPv4)
                       127847    0

172.22.243.237
Internet_Telefonica
Svc: 7000      6147         0    0 0129d01h  Active
                            0    0
172.30.10.25
Internet_Global-Fiber
Svc: 7000      266757    4801    0 01d11h26m 1/1/1 (IPv4)
                         4257    0
172.30.28.2
Internet_Optical
Svc: 7000      27843        0    0 0129d01h  Connect
                            0    0
-------------------------------------------------------------------------------
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show router 7000 route-table 0.0.0.0

===============================================================================
Route Table (Service: 7000)
===============================================================================
Dest Prefix[Flags]                                Type    Proto     Age        Pref
      Next Hop[Interface Name]                                       Metric
-------------------------------------------------------------------------------
0.0.0.0/0                                         Remote  BGP       01d11h36m  170
       172.30.10.25                                                     0
-------------------------------------------------------------------------------
No. of Routes: 1
Flags: n = Number of times nexthop is repeated
       B = BGP backup route available
       L = LFA nexthop available
       S = Sticky ECMP requested
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 02

3.4.4 Sesión PPPoE y conectividad a Internet de un CPE

3.4.4.1 Validación de la sesión establecida PPPoE de un suscriptor

La figura 71 muestra el resultado de todas las sesiones PPPoE establecidas en el enrutador BNG de suscriptores (CPE) de colegios que llegan al enrutador del nodo CU-0183-A01 MARANURA.

Figura 71

Sesiones PPPoE establecidas de los colegios del cluster Maranura

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show service id 700 subscriber-hosts sap pw-156:700

===============================================================================
Subscriber Host table
===============================================================================
Sap
  IP Address
    MAC Address                PPPoE-SID       Origin          Fwding State
      Subscriber
-------------------------------------------------------------------------------
[pw-156:700]
  10.140.0.26
    cc:2d:e0:0a:96:0a          1               IPCP            Fwding
      CU-0183-IE01
[pw-156:700]
  10.140.0.27
    dc:2c:6e:be:4f:6c          1               IPCP            Fwding
      CU-0183-IE02
[pw-156:700]
  10.140.0.28
    cc:2d:e0:17:c7:73          1               IPCP            Fwding
      CU-0185-IE01
[pw-156:700]
  10.140.0.29
    cc:2d:e0:07:c8:da          1               IPCP            Fwding
      CU-0467-IE01
[pw-156:700]
  10.140.0.30
    cc:2d:e0:0e:3b:63          1               IPCP            Fwding
      CU-0184-IE01
[pw-156:700]
  10.140.0.31
    cc:2d:e0:07:bb:38          1               IPCP            Fwding
      CU-0184-IE02
[pw-156:700]
  10.140.0.32
    cc:2d:e0:09:7f:76          1               IPCP            Fwding
      CU-0182-IE01
[pw-156:700]
  10.140.0.33
    cc:2d:e0:09:8e:da          1               IPCP            Fwding
      CU-0187-IE01
[pw-156:700]
  10.140.0.34
    cc:2d:e0:0e:2b:fa          1               IPCP            Fwding
      CU-0169-IE01
[pw-156:700]
  10.140.0.36
    cc:2d:e0:07:c8:b2          1               IPCP            Fwding
      CU-0166-IE01
[pw-156:700]
  10.140.0.37
    cc:2d:e0:09:8e:df          1               IPCP            Fwding
      CU-0166-IE02
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

En la figura 72 se detalla los parámetros asignados para uno de los suscriptores mostrados en la figura anterior. El CPE del colegio CU-0183-IE01, donde se observa a qué *group-interface* pertenece, que el AAA Radius es quién le asigna la IP de servicio (datos) y el plan de velocidad de transferencia de datos de Internet (MIX_2MBPS).

Figura 72

Detalle de una sesión PPPoE

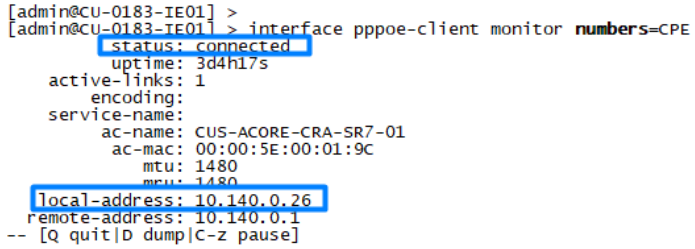
```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show service id 700 subscriber-hosts mac cc:2d:e0:0a:96:0a detail

===============================================================================
Subscriber Host table
===============================================================================
Sap
  IP Address
    MAC Address                PPPoE-SID       Origin          Fwding State
      Subscriber
-------------------------------------------------------------------------------
[pw-156:700]
  10.140.0.26
    cc:2d:e0:0a:96:0a          1               IPCP            Fwding
      CU-0183-IE01
-------------------------------------------------------------------------------
Subscriber-interface  : IIBB-EDUCACION
Group-interface       : pw-156
Sub Profile           : CPE
SLA Profile           : MIX_2MBPS
App Profile           : IIBB
Egress Q-Group        : policer-output-queues
Egress Vport          : N/A
Acct-Session-Id       : 62547C0079DF346611EC37
Acct-O-Inst-Session-Id: 62547C0079DF366611EC38
Address Origin        : AAA
OT HTTP Rdr IP-FltrId : N/A
OT HTTP Rdr Status    : N/A
OT HTTP Rdr Fltr Src  : N/A
HTTP Rdr URL Override : N/A
GTP local break-out   : No
DIAMETER session ID Gx: N/A
-------------------------------------------------------------------------------
Number of subscriber hosts : 1
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

En la figura 73 se muestra que la sesión PPPoE se ha establecido en el CPE del colegio CU-0183-IE01 y se asocia la IP de servicio (datos) que le asignó el servidor AAA Radius.

Figura 73

Sesión PPPoE establecida de una IAO



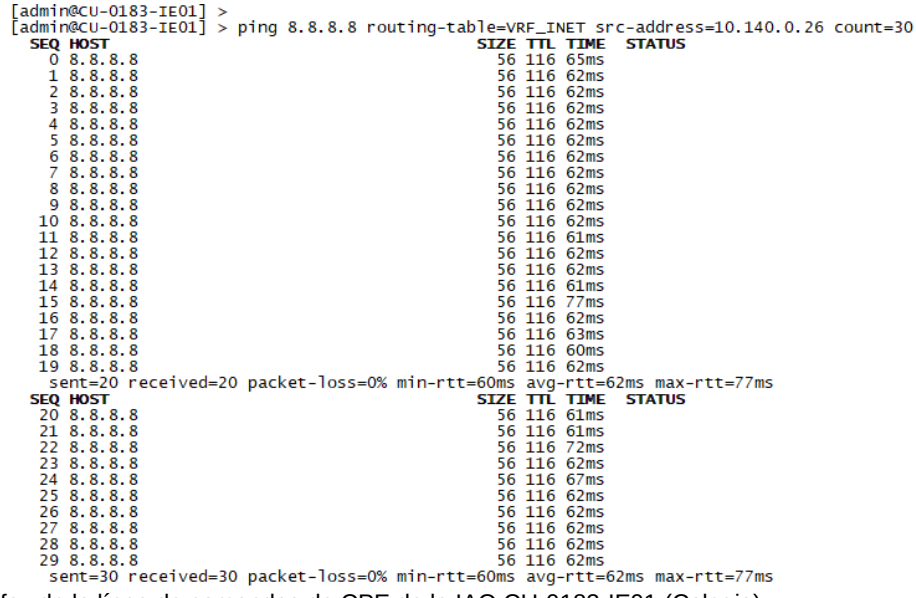
Nota: Interfaz de la línea de comandos de CPE de la IAO CU-0183-IE01 (colegio)

3.4.4.2 Conectividad a Internet y validación de CGNAT de un suscriptor

En la figura 74 se valida la conectividad del CPE del colegio CU-0183-IE01 a Internet mediante un ping de 30 paquetes al DNS de Google (8.8.8.8).

Figura 74

Conectividad a Internet de una IAO



Nota: Interfaz de la línea de comandos de CPE de la IAO CU-0183-IE01 (Colegio)

En el anexo 6, se muestra pruebas de conectividad para cada tipo de institución rural. Una de cada tipo escogidos al azar, observando los detalles de la sesión PPPoE establecida en el enrutador de Core 01 y en el CPE del suscriptor. Además, de una prueba

de conectividad IP al DNS de Google (8.8.8.8) para validar la salida a Internet de estos suscriptores.

En la figura 75, se muestra la IP *Outside* a la que fue traducida la IP *Inside* (IP de datos) asociada al suscriptor de muestra (colegio CU-0183-IE01) para que pueda salir a Internet.

Figura 75

Detalle de una sesión PPPoE

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-02# show service nat lsn-subscribers inside-ip 10.140.0.26 detail

===============================================================================
NAT LSN subscribers
===============================================================================
Subscriber                  : [LSN-Host@10.140.0.26]
NAT policy                  : NAT-USERS
Subscriber ID               : 276824566
-------------------------------------------------------------------------------
Type                        : classic-lsn-sub
Inside router               : 7002
Inside IP address prefix    : 10.140.0.26/32
ISA NAT group               : 1
ISA NAT group member        : 1
Outside router              : 7000
Outside IP address          : 168.0.15.37
ICMP Port usage (%)         : < 1
ICMP Port usage high        : false
UDP Port usage (%)          : < 1
UDP Port usage high         : false
TCP Port usage (%)          : < 1
TCP Port usage high         : false
Session usage (%)           : < 1
Session usage high          : false
Number of sessions          : 4
Number of reserved sessions : 0
Sessions Peak               : 353
Ports                       : 27736-27987


-------------------------------------------------------------------------------
No. of LSN subscriber instances: 1
===============================================================================
```

Nota: Interfaz de la línea de comandos de enrutador de Core 01

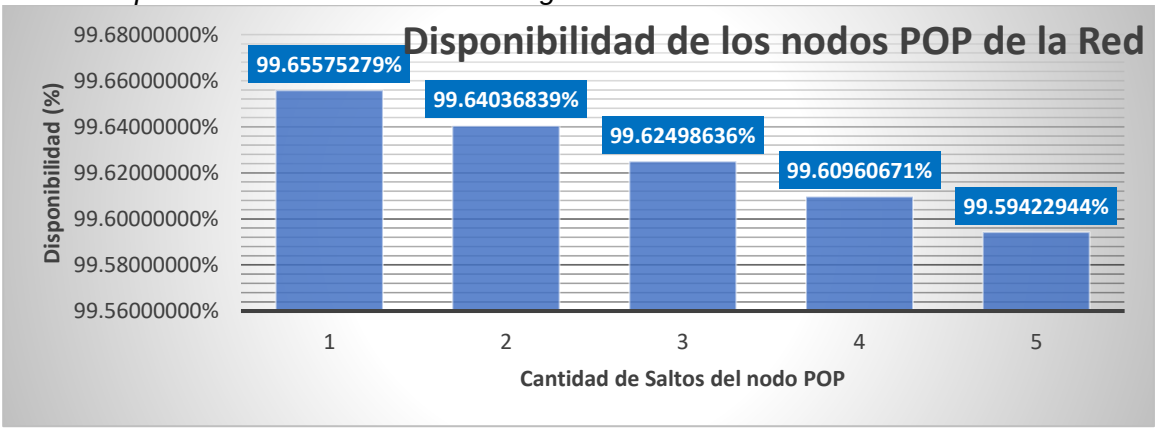
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Análisis de resultados de la estimación de disponibilidad de la red

- La figura 21 muestra el escenario con el mayor número de saltos intermedios (cinco saltos) para un POP. En este caso, fue un nodo terminal con cinco saltos de radioenlace para llegar hasta el nodo distrital y, posteriormente, hasta los enrutadores de *core*, el cual se usó para hacer el cálculo detallado de la disponibilidad ese nodo POP en el subcapítulo 3.2.
- Tomando en cuenta los valores presentados en la tabla 11 para un nodo POP dentro de todos los escenarios posibles de la red de Cusco, se presenta la gráfica de la figura 76, en la cual se evidencia que los valores obtenidos son superiores a la disponibilidad de 98% requerido en las bases del proyecto (Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Proinversión, 2015, p.11).

Figura 76

Gráfica disponibilidad de un nodo POP según la cantidad de saltos



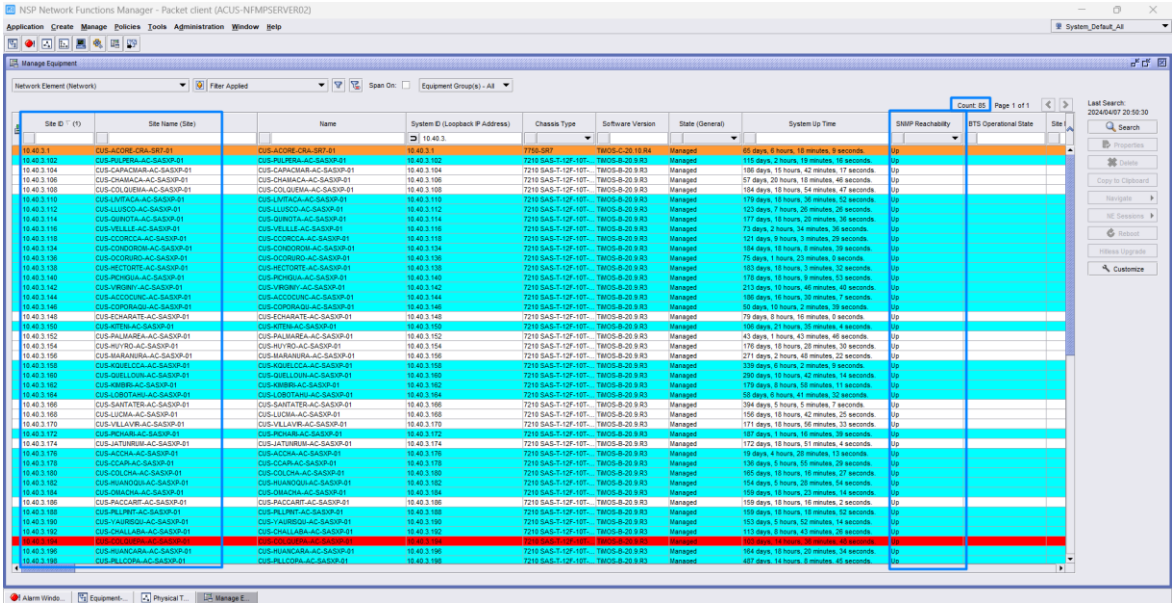
4.2 Análisis de la implementación del protocolo de enrutamiento y conectividad IP de los nodos distritales al *core*

- El *Simple Network Management Protocol* (SNMP), que se emplea para mantener la comunicación con la plataforma de gestión de equipos de redes, sigue el mismo camino que el IGP (para la red de Cusco, el protocolo IGP se denomina IS-IS según lo especificado en el subcapítulo 3.3.6.1).

- La figura 77 es una captura obtenida desde el servidor de gestión de equipos de red (*Network Management Station*, NMS). Muestra el inventario de todos los enrutadores implementados en la red (85 en total): 02 equipos de *core* y 83 equipos de nodos distritales. En las dos primeras columnas identificamos a qué nodo pertenece y la columna *SNMP Reachability* nos indica el estado de conectividad de los nodos al gestor.

Figura 77

Estado de conectividad de los nodos distritales



Nota: Servidor de gestión de equipos de red

En la figura 44 y figura 45, se observaron que se estableció la adyacencia IS-IS entre los enrutadores de *core* y cada enrutador distrital. Dichos resultados van acordes a lo mostrado por el servidor de gestión de equipos de red en la figura 77.

- El resumen del estado (*Up/Down*) de conexión al *core* de los 83 nodos distritales de la red se presenta en la tabla 13, elaborado basándose en la figura 77.

Tabla 13

Resumen de estado de conectividad de nodos distritales al core

Estado de conectividad	Cantidad de nodos	Porcentaje del total de nodos distritales
Up	83	100%
Down	0	0%

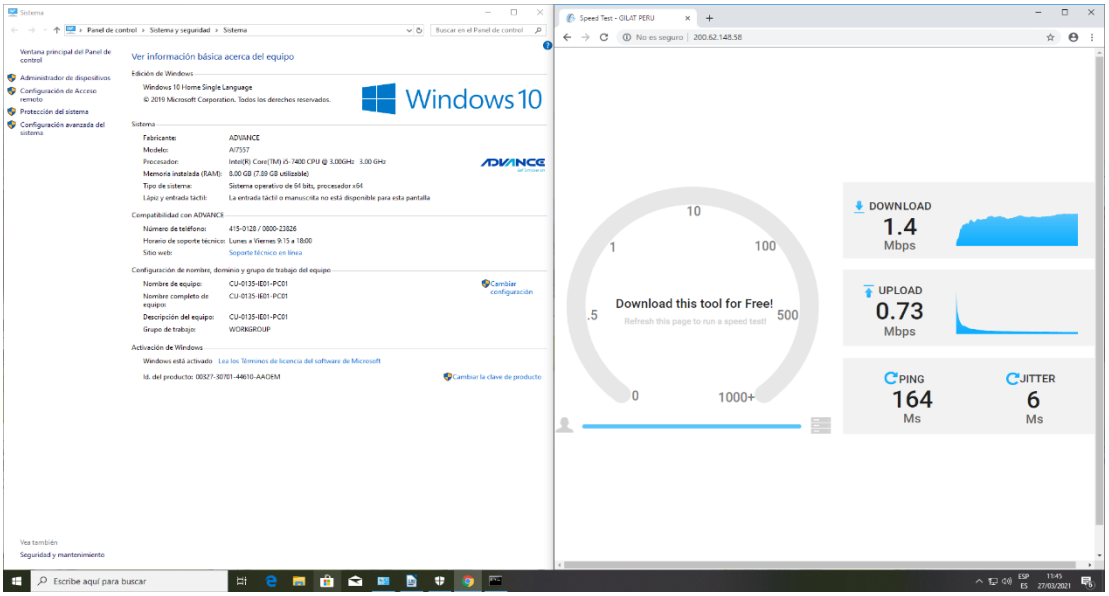
Nota: Servidor de gestión de equipos de red

4.3 Análisis de la velocidad de transferencia de datos de acceso a Internet de una Institución

- Para evaluar la velocidad de transmisión de datos de acceso a Internet, se llevaron a cabo tres mediciones, las cuales se presentan en las figuras 78, 79 y 80 que fueron los *speed tests* de conexión a Internet realizados desde un ordenador conectado al CPE del colegio CU-0135-IE01.

Figura 78

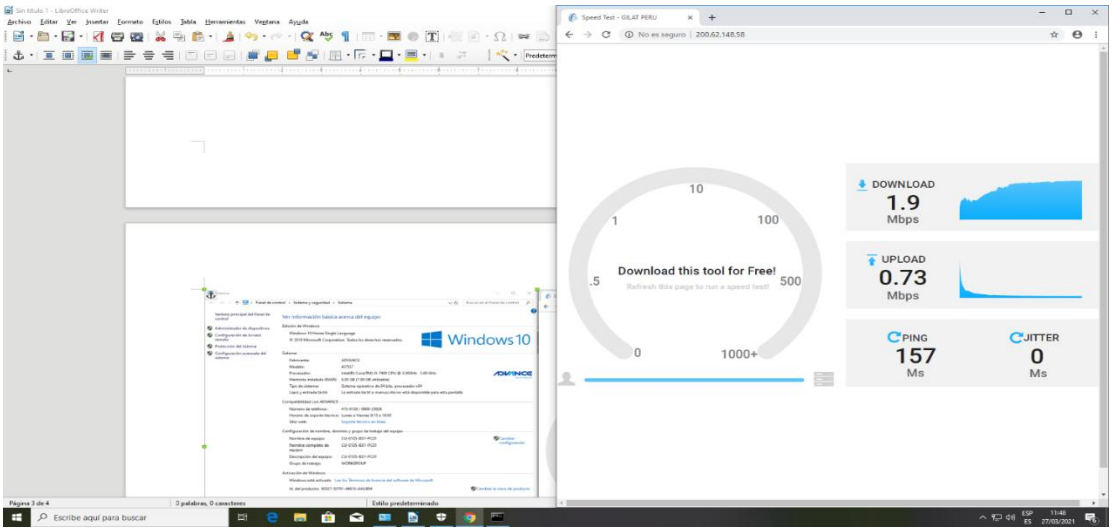
Test #01 de la velocidad de transferencia de datos de acceso a Internet



Nota: Prueba de velocidad desde una computadora conectada al CPE de la IAO CU-0135-IE01 (colegio)

Figura 79

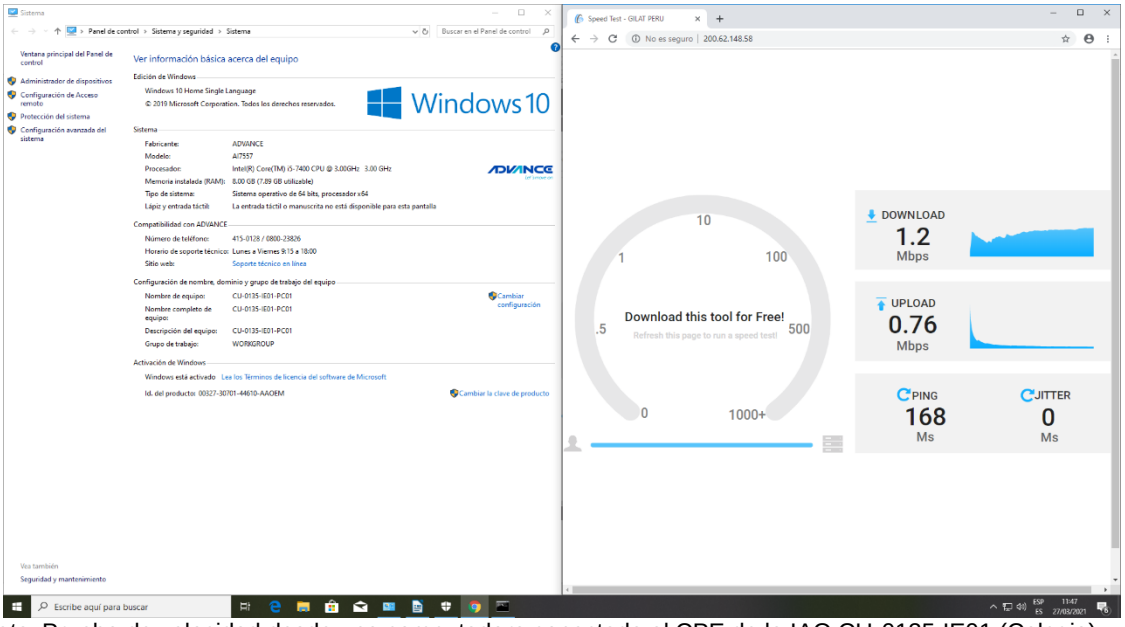
Test #02 de la velocidad de transferencia de datos de acceso a Internet



Nota: Prueba de velocidad desde una computadora conectada al CPE de la IAO CU-0135-IE01 (Colegio)

Figura 80

Test #03 de la velocidad de transferencia de datos de acceso a Internet



Nota: Prueba de velocidad desde una computadora conectada al CPE de la IAO CU-0135-IE01 (Colegio)

- Con la información obtenida de las gráficas del punto anterior, se elabora la tabla 14 que nos permite comparar los valores obtenidos con los umbrales de un Plan de 2Mbps asignado para esa IAO.

Tabla 14

Resultados de pruebas de velocidad para un plan de 2Mbps de Internet

# Test de velocidad	Bajada (Mbps)	Subida (Mbps)	Rango bajada (Mbps)	Rango subida (Mbps)	Cumple (si/no)
Test de velocidad #1	1.4	0.73	<2 – 0.8>	<0.5 – 0.2>	Si
Test de velocidad #2	1.9	0.73	<2 – 0.8>	<0.5 – 0.2>	Si
Test de velocidad #3	1.2	0.76	<2 – 0.8>	<0.5 – 0.2>	Si

Conclusiones

- Para la estimación de disponibilidad de la red en base a los componentes (enrutadores, enlace de fibra óptica, enlace de microondas, energía y una red de transporte en el medio) de la tabla 5 y diferentes escenarios de la tabla 11 que se presentan en la región Cusco, se demostró, mediante un cálculo teórico en el subcapítulo 3.2, que los valores obtenidos de disponibilidad son superiores a la disponibilidad de 98% requerido en las bases del proyecto (Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Proinversión, 2015, p.11).
- Para la conectividad de los nodos distritales al *core* y el monitoreo de todo el equipamiento de red desde su plataforma de gestión, es necesario, primero, que cada nodo distrital tenga conectividad IP a los enrutadores de *core* (mediante la adyacencia IS-IS establecida entre cada enrutador distrital y los enrutadores de *core* como se mostró en la figura 44 y figura 45 en el subcapítulo 3.3.6.1) y, como consecuencia de esto, se tiene un estado UP (arriba) en la columna *SNMP Reachability* de la plataforma de gestión para cada nodo distrital mostrado en la figura 77. Si un nodo distrital no tiene conectividad al *core*, entonces presentará el estado DOWN (caído). Se verifica que el 100% de nodos distritales (83 nodos distritales como indica la tabla 13) tienen conectividad hasta el *core*.
- La velocidad de transferencia de datos de acceso a Internet de un subscriptor es asignada por el enrutador Core (BNG) en la figura 75 del subcapítulo 3.4.4.1 y los resultados registrados en campo y resumidos en la tabla 14, validan que dichos valores de bajada están dentro del rango del plan de 2Mbps asignado para esa IAO de muestra y los valores de subida están por encima del rango. Con esto se cumple lo “mínimo requerido en las bases del proyecto” (Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Proinversión, 2015, p.2).

Recomendaciones

- Para los equipos electrónicos de la red de acceso, por ejemplo los enrutadores mostrados en el subcapítulo 3.1, se recomienda que estén con el *software* actualizado, ya que cada año aparecen nuevas características.
- Para futuros proyectos similares, se recomienda elegir de manera adecuada los equipamientos electrónicos y demás componentes de la red para que cumplan con los valores de MTBF (*Mean Time Between Failure*) de acuerdo a las buenas prácticas, similar a lo mostrado en la tabla 5 del subcapítulo 2.2.2.; ya que este valor es importante para la estimación teórica de la disponibilidad de la red calculado en el subcapítulo 3.2.
- Es importante que el operador haga un mantenimiento periódico de la red y atienda las fallas que puedan existir (caída de energía del nodo, caída de fibra óptica o caída de radioenlaces) lo más antes posibles dentro del MTTR (*Mean Time To Repair*) de 24h definida en el subcapítulo 2.2.2., para que no afecten la disponibilidad de la red calculado en el subcapítulo 3.2
- Elegir el protocolo de enrutamiento más acorde a las necesidades que se requiera para garantizar la conectividad IP entre los diferentes nodos de la red. Para el caso de esta red, el protocolo de enrutamiento configurado es el IS-IS como se muestra en el subcapítulo 3.3.4. El IS-IS brinda soporte nativo de IPv6, tiempos de convergencia mejorados y definición flexible de áreas comparando con otro protocolo de enrutamiento como es OSPF.
- El operador debe garantizar la capacidad de sus radioenlaces que hay entre nodos distritales, intermedios y terminales como se muestra en la figura 17, sean suficientes para permitir que la velocidad de transferencia de datos de acceso a Internet asignada a cada subscriptor de las instituciones rurales no se vea limitada y, de esta manera, cumplir con lo mínimo garantizado para los planes de Internet que se tienen y se mostraron en la tabla 12 del subcapítulo 3.4.1.1.

Referencias bibliográficas

Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Proinversión. (2015). *Anexo Nº 8-B de las bases - especificaciones técnicas de la red de acceso.* Proinversión. https://www.investinperu.pe/RepositorioAPS0/0/2/JER/SC_BANDAANCHA_TUMBES/8-B_Cusco_ET_RED_ACCESO.pdf

Aguilar Reátegui , J. (2021). *Impacto del acceso a internet en el crecimiento económico del Perú: Un enfoque ARDL.* Plataforma digital única del Estado Peruano. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1635730/MTC%3A%20Impacto%20del%20internet%20en%20el%20PBI.pdf?v=1612279724

Andersson, L., Minei, I., y Thomas, B. (2007). *RFC 5036 - LDP Specification.* RFC EDITOR. https://www.rfc-editor.org/rfc/pdfrfc/rfc5036.txt.pdf

Ariganello, E. (2014). *Redes Cisco. Guía de estudio para la certificación ccna routing y switching.* Ra-Ma S.A. Editorial y Publicaciones.

Callon, R. (1990). *RFC 1195 - Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments.* RFC EDITOR. https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1195.pdf

Daburon, B. (2010). *El ordenador e Internet Edición Windows 7.* Ediciones ENI.

Davies, G. (2004). *Designing and Developing Scalable IP Networks.* Wiley.

De Ghein, L. (2016). *MPLS Fundamentals.* Pearson Education.

Gallego, A. (2003). *Enrutadores Cisco.* Anaya Multimedia, S.A.

Gerencia Regional de Salud de Cusco. (2023). *Trabajo en equipo: Gerencia Regional de Salud del Cusco ocupa primer lugar en servicio de teleinterconsulta a nivel nacional*. Gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/regioncusco-geresa/noticias/885877-trabajo-en-equipo-gerencia-regional-de-salud-del-cusco-ocupa-primer-lugar-en-servicio-de-teleinterconsulta-a-nivel-nacional

Gredler, H., y Walter, G. (2005). *The Complete IS-IS Routing Protocol.* Springer London.

Groupe Speciale Mobile Association (GSMA). (2016). *Inclusión digital en América Latina y El Caribe.* GSMA Latin America. https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2016/05/report-digital_inclusion-4-ES.pdf

Halabi, S. y McPherson, D. (2000). *Internet Routing Architectures, Second Edition.* Cisco Press.

Hellberg, C., Boyes, T., y Greene, D. (2007). *Broadband Network Architectures Designing and Deploying Triple-Play Services.* Pearson Education.

Hundley, K. (2009). *Alcatel-Lucent Scalable IP Networks Self-Study Guide: Preparing for the Network Routing Specialist I (NRS 1) Certification Exam.* Wiley.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Cusco Compendio Estadístico 2021.* Gop.pe. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4268032/Compendio%20Estad%C3%ADstico%2C%20Cusco%202021.pdf?v=1678988340

International Organization for Standardization. (1992). *BS ISO/IEC 10589:1992.* British Standards Institution.

López Echeverry, A., Ramírez Giraldo, M., y Penagos Granada, E. (2018). *Protocolo Multiprotocol Label Switching (MPLS). Revisión teórica.* Universidad Tecnológica de Pereira.

Lougheed, K. y Rekhter, Y. (1989). *RFC 1105 - A Border Gateway Protocol (BGP).* RFC EDITOR. https://www.rfc-editor.org/rfc/pdfrfc/rfc1105.txt.pdf

Mamakos, L., Lidl, K., Evarts, J., Carrel, D., Simone, D., y Wheeler, R. (1999). *RFC 2516 - A Method for Transmitting PPP Over Ethernet (PPPoE).* RFC EDITOR. https://www.rfc-editor.org/rfc/pdfrfc/rfc2516.txt.pdf

Mhlungu, G. y Sánchez, E. (2022). *Por qué el acceso a Internet debe considerarse un derecho humano básico*. Global Citizen. https://www.globalcitizen.org/es/content/internet-access-basic-human-right/

Ministerio de Educación. (2016). *Cusco: ¿cómo vamos en educación?* Escale. https://escale.minedu.gob.pe/documents/10156/4228634/perfil+cusco.pdf

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2023). *Proyecto Nacional de Fibra Óptica*. Colombia Potencia de la Vida. https://mintic.gov.co/portal/inicio/Iniciativas/Sector-TIC/125120:Proyecto-Nacional-de-Fibra-Optica

Ministerio del Interior. (2020). *Estado de las Comisarias Básicas de la PNP*. Observatorio Nacional de Seguridad Ciudadana. https://observatorio.mininter.gob.pe/content/estado-de-las-comisarias-b%C3%A1sicas-de-la-pnp

Molina Robles, F. (2010). *Planificación y administración de redes (Grado superior).* RA-MA Editorial.

Nokia. (2016). *Layer 2 services and evpn guide: VLL, VPLS, PBB, and EVPN release 14.0.R4.* Nokia Documentation Center. https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/3HE10788AAABTQZZA01_V1_7450%20ESS%207750%20SR%20and%207950%20XRS%20Layer%202%20Services%20and%20EVPN%20Guide:%20VLL%20VPLS%20PBB%20and%20EVPN%20R14.0.R4.pdf#search=Pseudowire%20ports

Nokia. (2016). *Triple play service delivery architecture guide release 14.0.R4.* Nokia Documentation Center. https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/3HE10802AAABTQZZA01_V1_7450%20ESS%20and%207750%20SR%20Triple%20Play%20Service%20Delivery%20Architecture%20Guide%20R14.0.R4.pdf#search=triple%20play

Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones Osiptel. (2020). *Los servicios públicos de telecomunicaciones en los hogares peruanos.* Opsitel. Repositorio Institucional. https://repositorio.osiptel.gob.pe/xmlui/handle/20.500.12630/736

Osiptel. (2014). *Resolución de Consejo Directivo Nº 123-2014-CD/OSIPTEL.* OSIPTEL El Regulador de las Telecomunicaciones. https://www.osiptel.gob.pe/n%C2%BA-123-2014-cd-osiptel/

Özsu, M. y Valduriez, P. (2011). *Principles of Distributed Database Systems.* Springer New York.

Perreault, Ed., S., Yamagata, I., Miyakawa, S., Nakagawa, A., y Ashida, H. (2013). *RFC 6888 - Common Requirements for Carrier-Grade NATs (CGNs).* RFC EDITOR. https://www.rfc-editor.org/rfc/pdfrfc/rfc6888.txt.pdf

Postel, J. (1981). *RFC 791 - Internet Protocol.* RFC editor. https://www.rfc-editor.org/rfc/pdfrfc/rfc791.txt.pdf

Postel, J. (1981). *RFC 792 - Internet Control Message Protocol.* RFC editor. https://www.rfc-editor.org/rfc/pdfrfc/rfc792.txt.pdf

Programa Nacional de Telecomunicaciones - Pronatel (2017). *Inicio - Proyecto*. Conecta Huancavelica Programa Regional de Banda Ancha. https://fitelconectahuancavelica.pe/proyecto.php

Programa Nacional de Telecomunicaciones - Pronatel (febrero 2024). *Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica.* Plataforma Digital única del Estado Peruano. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5339829/11369-red-dorsal-nacional-de-fibra-optica_c.pdf

Radio Programas del Perú. (2022). La conectividad en las zonas rurales del país, una brecha pendiente de cerrar. Rpp.pe. https://rpp.pe/campanas/valor-compartido/la-conectividad-en-las-zonas-rurales-del-pais-una-brecha-pendiente-de-cerrar-noticia-1417301?ref=rpp

Raya Cabrera, J. (2011). *Sistemas Informáticos (Grado superior).* RA-MA Editorial.

Rosen, E., Viswanathan, A., y Callon, R. (2001). *RFC 3031 - Multiprotocol Label Switching Architecture.* RFC editor. https://www.rfc-editor.org/rfc/pdfrfc/rfc3031.txt.pdf

Serrano Santoyo, A., y Martínez Martínez, E. (2003). *La brecha digital mitos y realidades.* Universidad Autónoma de Baja California.

Srisuresh, P., y Egevang, K. (2001). *RFC 3022 - Traditional IP Network Address Translator (Traditional NAT).* RFC editor. https://www.rfc-editor.org/rfc/pdfrfc/rfc3022.txt.pdf

Tanenbaum, A., y Wetherall, D. (2012). *Redes De Computadoras - Quinta Edición.* Pearson Educación.

Tronco, T. (2010). *New Network Architectures The Path to the Future Internet.* Springer Berlin Heidelberg.

Unión Internacional de Telecomunicaciones (1997). *Parámetros y metodología de cálculo de la fiabilidad y la disponibilidad de los sistemas de fibra óptica.* Recomendaciones UIT-T. https://www.itu.int/rec/T-REC-G.911-199704-I/es

Unión Internacional de Telecomunicaciones (2004). *Parámetros de calidad de funcionamiento y disponibilidad para redes con conmutación por etiquetas multiprotocolo.* ITU-T Recommendations. https://handle.itu.int/11.1002/1000/7189

Anexos

Anexo 1

Glosario de acrónimos

AAA	Authorization, Authentication and Accounting
AS	Autonomous System
BE	Best Effort
BGP	Border Gateway Protocol
BNG	Broadband Network Gateway
BRAS	Broadband Remote Access Server
CE	Customer Edge
CGNAT	Carrier-Grade NAT
CIR	Committed Information Rate
CPE	Customer Premises Equipment
CPM	Control Processor Module
CLI	Command Line Interface
DBR	Destination Based Routing
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
EGP	Exterior Gateway Protocol
ESM	Enhanced Subscriber Management
ESMoMPLS	Enhanced Subscriber Management over Pseudo Wire Port MPLS
FC	Forwarding Class
FITEL	Fondo de Inversión de Telecomunicaciones
FO	Fibra Óptica
Gbps	Gigabit por segundo
GRE	Generic Routing Encapsulation
IAO	Instituciones Abonadas Obligatorias
ICMP	Internet Control Message Protocol

IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IGP	Interior Gateway Protocol
IGRP	Interior Gateway Routing Protocol
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IOM	Input/Output Modules
IP	Internet Protocol
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System
ISO	International Organization for Standardization
ISP	Internet Service Provider
LAN	Local area network
LDP	Label Distribution Protocol
LLDP	Link Layer Discovery Protocol
MBGP	Multiprotocol Border Gateway Protocol
MCS	Multi-Chassis Sinchronization
Mbps	Megabits por segundo
MS-ISA	Multiservice Integrated Service Adapters
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTR	Mean Time To Repair
MTU	Maximum Transmission Unit
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
MTU	Maximum Transmission Unit
NAT	Network Address Translation
NAT-PT	Network Address Translator - Protocol Translator
NMS	Network Management Station
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OSPF	Open Shortest Path First
P	Provider

PE	Provider Edge LSR
PING	Packet Internet or Inter-Network Groper
PIR	Peak Information Rate
PoP	Point of Presence
PPPoE	Point-to-Point Protocol over Ethernet
PRONATEL	Programa Nacional de Telecomunicaciones
PTP	Point to Point
PW-PORT	Pseudo Wire Port
QoS	Quality of Service
RADIUS	Remote Authentication Dial-In User Service
RDNFO	Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica
RFC	Request for Comments
RG	Residential Gateway
RIP	Routing Information Protocol
RSVP	Resource Reservation Protocol
RSVP-TE	RSVP with Traffic-Engineering
SAP	Service Access Point
SDP	Service Distribution Point
SFM	Switch Fabric Module
SFP	Small Form-factor Pluggable
SLA	Service Level Agreement
SNMP	Simple Network Management Protocol
SRRP	Subscriber Routed Redundancy Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TE	Traffic Engineering
UDP	User Datagram Protocol
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UTP	Unshielded Twister Pair

VLAN	Virtual Local Area Network
VPLS	Virtual Private LAN Service
VPN	Virtual Private Network
VPRN	Virtual Private Routed Network
VRRP	Virtual Router Redundancy Protocol
WWW	Worl Wide Web

Anexo 2

Datasheet Nokia 7750 Service Router Release 15.0

NOKIA

Feature and protocol support highlights

Feature and protocol support within the Nokia 7750 SR series includes (but is not limited to):

- Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS), Open Shortest Path First (OSPF), and Multiprotocol Border Gateway Protocol (MBGP) IPv4 and IPv6 unicast routing
- Internet Group Management Protocol (IGMP), Multicast Listener Discovery (MLD), Protocol Independent Multicast (PIM), and Multicast Source Discovery Protocol (MSDP) IPv4 and IPv6 multicast routing
- MPLS Label Edge Router (LER) and Label Switching Router (LSR) functions, with support for seamless MPLS designs
- Label Distribution Protocol (LDP) and Resource Reservation Protocol (RSVP) for MPLS Signaling and Traffic Engineering with Segment Routing support, Point-to-Point (P2P) and Point-to-Multipoint (P2MP) Label Switched Paths (LSPs) with Multicast LDP (MLDP) and P2MP RSVP, weighted Equal-Cost Multi-path (ECMP), Inter-AS Multicast VPN (MVPN) and Next Generation Multicast VPN (NG-MVPN)
- P2P Ethernet virtual leased lines (VLLs), Ethernet VPNs (EVPNs), EVPN-MLDP, EVPN-VPWS, Virtual Extensible LAN (VXLAN), and EVPN-VXLAN to VPLS/EVPN-VPLS gateway functions
- Multipoint Ethernet VPLS, IP VPN and enhanced internet services, MPLS-Transport Profile (MPLS-TP) and provider backbone bridge (PBB)
- Ethernet satellite port expansion through local or remote Nokia 7210 Service Access Switch (SAS)-S GE, 10GE, 100GE, and SONET/SDH satellite variants, offering 24/48xGE ports, 64xGE/10GE ports, or legacy SONET/SDH ports over GE, 10GE, and 100GE uplinks*
- Unicast Reverse Path Forwarding (uRPF), RADIUS/TACACS+, and comprehensive control plane protection features for security
- Extensive OAM features, including Cflowd, Ethernet Connectivity Fault Management (CFM) (IEEE 802.1ag, ITU-T Y.1731), Ethernet in the First Mile (EFM) (IEEE 802.3ah), Two-Way Active Measurement Protocol (TWAMP), Bi-Directional Fault Detection (BFD), and a full suite of MPLS OAM tools including GMPLS UNI
- ITU-T Synchronous Ethernet (Sync-E), IEEE 1588v2, Network Time Protocol (NTP), BITS ports (T1, E1, 2M), 1PPS
- Intelligent packet classification, policing, queue servicing and buffer management
- Industry-leading high availability, including nonstop routing, nonstop services, in-service software upgrades (ISSUs), fast reroute, pseudowire redundancy, ITU-T G.8031 and G.8032, weighted mixed-speed link aggregation
- Management via CLI, SNMP MIBs, NETCONF/YANG and service assurance agent (SAA) with comprehensive support through the Nokia NSP
- Multivendor SDN control integration through OpenFlow, PCEP and BGP-LS interface support

Environmental specifications

- Operating temperature: 5°C to 40°C (41°F to 104°F)
- Operating relative humidity: 5% to 85%
- Operating altitude: Up to 4000 m (13,123 ft) at 30°C (86°F)

Safety standards and compliance agency certifications

Safety

- IEC/EN/UL/CSA60950-1 Ed2 Am2
- FDA CDRH 21-CFR 1040
- IEC/EN 60825-1
- IEC/EN 60825-2

* Requires CPM5, an appropriate chassis mode and an uplink via an FP2-based IOM/IMM at a minimum

NOKIA

EMC emission

- ICES-003 Class A
- FCC Part 15 Class A
- AS/NZS CISPR 32 Class A
- VCCI Class A
- EN 55032 Class A
- IEC CISPR 32 Class A
- KN 32 Class A

EMC immunity

- EN 300 386
- EN 55024
- KN 35

Ethernet standards

- EEE 802.1AB, Station and Media Access Control Connectivity Discovery
- IEEE 802.1ad, Provider Bridges
- IEEE 802.1ag, Connectivity Fault Management
- IEEE 802.1ah, Provider Backbone Bridges
- IEEE 802.1ak, Multiple Registration Protocol
- IEEE 802.1aq, Shortest Path Bridging
- IEEE 802.1ax, Link Aggregation
- IEEE 802.1D, MAC Bridges
- IEEE 802.1p, Traffic Class Expediting
- IEEE 802.1Q, Virtual LANs
- IEEE 802.1s, Multiple Spanning Trees
- IEEE 802.1w, Rapid Reconfiguration of Spanning Tree
- IEEE 802.1X, Port Based Network Access Control
- IEEE 802.3ab, 1000BASE-T
- IEEE 802.3ac, VLAN Tag
- IEEE 802.3ad, Link Aggregation
- IEEE 802.3ae, 10 Gb/s Ethernet
- IEEE 802.3ah, Ethernet in the First Mile
- IEEE 802.3ba, 40 Gb/s and 100 Gb/s Ethernet
- IEEE 802.3i, Ethernet
- IEEE 802.3u, Fast Ethernet
- IEEE 802.3x, Ethernet Flow Control
- IEEE 802.3z, Gigabit Ethernet
- ITU-T G.8031, Ethernet Linear Protection Switching
- ITU-T G.8032, Ethernet Ring Protection Switching
- ITU-T Y.1731, OAM functions and mechanisms for Ethernet based networks

Telecom standards*

- ANSI T1.105.03
- ANSI T1.105.06
- ANSI T1.105.09
- ANSI T1.403 (DS1)
- ANSI T1.404 (DS3)
- ITU-T G.703
- ITU-T G.707
- ITU-T G.813
- ITU-T G.823
- ITU-T G.824
- ITU-T G.825
- ITU-T G.957
- Telcordia GR-253-CORE

* For ATM, frame relay, PPP and SONET/SDH standards, refer to the installation guide for the full set of compliance standards.

NOKIA

Environmental

- ETS 300 019-2-1 Storage Tests, Class 1.2
- ETS 300 019-2-2 Transportation Tests, Class 2.3
- ETS 300 019-2-3 Operational Tests, Class 3.2
- ETS 300 019-2-4, pr A 1 Seismic
- ETSI EN 300 132-2 Power Supply Interface
- WEEE
- RoHS
- China RoHS

Network Equipment Building System (NEBS)

- NEBS Level 3
- RBOC requirements:
  - ATIS-0600020
  - ATIS-0600019
  - ATIS-0600010.03
  - ATIS-0600015
  - ATIS-0600015.03
  - ATT-TP-76200
  - VZ.TPR.9205 TEEER
  - VZ.TPR.9305
  - VZ-TPR-9307

MEF Certifications

- CE 2.0
  - Certified (on E-LAN, E-Line, E-Tree and E-Access MEF service types)
  - 100G certified (on E-Line and E-Access MEF service types)
- CE 1.0 (MEF 9 and MEF 14)
  - Certified

Nokia Oyj
Karaportti 3
FI-02610 Espoo
Finland
Tel. +358 (0) 10 44 88 000

Product code: SR1702006937EN (February)

Anexo 3

Datasheet Nokia 7210 Service Access Switch Release 9.0

performance and availability requirements of their customers. Enterprise and mission-critical network operators can provide customized QoS and traffic profiles to assure the delivery of individual applications and essential business communications.

Customer satisfaction and application delivery assurance

The plug-and-play capabilities of the 7210 SAS along with the 5620 SAM deliver rapid service turn-up without truck rolls, expediting in-service deadlines and time-to-revenue while minimizing the chance of operator error. The ability to continuously monitor and measure traffic from end to end and troubleshoot proactively enables network problems to be found and resolved before they affect end users.

Monitoring, performance measurement of service metrics, prediction of threshold violations, reporting of test results and accurate billing provide a superior level of service to end users. These features also increase the reliability of mission-critical applications.

For service providers, self-service customer portals with customized on-demand management capabilities improve the overall quality of experience for their customers.

Cost reduction through operational simplicity

Cost savings can be realized by transitioning from separate legacy networks onto a single platform where multiple services are converged onto one uplink and each application can be supported by a full range of Carrier Ethernet and IP/MPLS services. With a variety of compact form factors and features, the 7210 SAS cost effectively scales to support current and future customer and application requirements. It provides savings through advanced QoS, end-to-end OAM, optical integration, streamlined network upgrades, reduced training, testing cycles and operations support system (OSS) integration costs.

Software features

Each product model supports, but is not limited to, a variation of the following features:

Services

- Layer-2 virtual private network (VPN) services – virtual leased line (VLL) and virtual private LAN service (VPLS)
- IP VPN services (IPv4 and IPv6)
- Internet Enhanced Service (IES)
- Virtual Private Routed Network (VPRN)
- IPv4 multicast
- IPv4 VPN multicast (next-generation multicast VPN)

Networking protocols

- IEEE 802.1Q (VLAN) and 802.1ad (QinQ)
- MPLS Label Edge Router (LER) and Label Switch Router (LSR) functions
- Border Gateway Protocol (BGP)
- BGP-AD for VPLS auto-discovery
- BGP pseudowire routing for multi-segment pseudowires
- BGP RFC 3107-labeled routes
- Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS) (IPv4 and IPv6), including traffic engineering (TE) support
- Open Shortest Path First (OSPFv2 and OSPFv3)
- Protocol Independent Multicast (PIM)
- Routing Information Protocol (RIP)
- Resource Reservation Protocol — TE (RSVP-TE)
- Label Distribution Protocol (LDP), LDP over RSVP, and Targeted LDP (T-LDP)
- Provider Backbone Bridging (PBB), Backbone Edge Bridge (BEB) and Backbone Core Bridge (BCB) as defined in IEEE 802.1ah
- MPLS-TP (based on IETF standards)

NOKIA

Timing and synchronization

- ITU-T Sync-E with Ethernet Synchronization Messaging Channel (ESMC)
- Precision time protocol (PTP)
  - Boundary Clock (BC), Ordinary Clock (OC) - slave
  - User Datagram Protocol (UDP)/IP and Ethernet encapsulation
  - Default IEEE1588v2, ITU-T G.8265.1 and G.8275.1 profiles
- BITS, 1PPS and 10 MHz interfaces

QoS

- Service ingress packet classification based on MAC and IP criteria (IPv4 and IPv6)
- Hierarchical per-service ingress and egress policing, queuing, and shaping
- Deep buffering
- RED slope

OAM

- ITU-T Y.1731 and IEEE 802.1ag Ethernet OAM for fault and performance management
- IEEE 802.3ah Ethernet in the first mile with Dying Gasp support
- MPLS OAM for in-service performance management (delay, jitter, and packet loss) and fault management
- Link Layer Discovery Protocol (LLDP)
- Service mirroring (local/remote)
- Two-Way Active Measurement Protocol (TWAMP)
- ITU-T Y.1564 test head
- MPLS-TP OAM
- SNMPv1, v2c, v3
- IPv6 for management
- Performance monitoring
- Per-port loopback with MAC-swap
- Per-service loopback with MAC-swap
- Remote SR OS upgrade
- Auto-configuration (plug-and-play)

Resiliency

- Multi-chassis ITU-T G.8032v2
- IEEE 802.3.ad and multi-chassis LAG
- IEEE Spanning Tree Protocol (STP)/Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)/Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP)
- Active-standby pseudowires
- RSVP and LDP Fast ReRoute (FRR) with loop-free alternate (LFA) policies
- BGP PIC
- Bidirectional fault detection (BFD) with 10ms timer
- Shared Risk Link Group (SRLG) recovery
- Primary and Secondary LSPs
- Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP)
- IPv4 equal-cost multi-path (ECMP) and LDP LSR ECMP
- Entropy (pseudowire hash) label
- Nonstop routing
- Nonstop services
- In-service software upgrade (ISSU)

Security

- IEEE 802.1x on access ports
- Control plane security
- Management access filters
- Secure Shell (SSH) v4 and v6 for management
- Remote Authentication Dial-In User Service (RADIUS) client
- Terminal Access Concentrator Access Control Server Plus (TACACS+)
- User profile management
- VPLS security
- Access control lists

Anexo 4

Listado de nodos intermedios y nodos terminales de la región de Cusco

CODIGO NODO	REGION	DISTRITAL AL QUE PERTENECEN	LOCALIDAD	TIPO DE NODO
CU-0237	Cusco	Accha	CCOYABAMBA	Intermedio
CU-0419	Cusco	Accha	REP-201	Intermedio
CU-0433	Cusco	Accha	REP-108	Intermedio
CU-0233	Cusco	Accha	ACCHUPAMPA	Terminal
CU-0006	Cusco	Accha	PITUMARCA (@ACOMAYO)	Terminal
CU-0234	Cusco	Accha	PARCCO (@ACCHA)	Terminal
CU-0235	Cusco	Accha	MISANAPATA	Terminal
CU-0008	Cusco	Acopia	SANTO DOMINGO	Terminal
CU-0054	Cusco	Calca	YANAHUAYLLA	Intermedio
CU-0443	Cusco	Calca	LLANCHU	Intermedio
CU-0053	Cusco	Calca	ACCHA ALTA	Terminal
CU-0299	Cusco	Ccatca	UMUTO	Intermedio
CU-0302	Cusco	Ccatca	CCATACAMARA	Intermedio
CU-0296	Cusco	Ccatca	PUMAURCCO SECTOR BAJO	Terminal
CU-0301	Cusco	Ccatca	SONCCOMARCA	Terminal
CU-0303	Cusco	Ccatca	MACHACCA	Terminal
CU-0298	Cusco	Ccatca	PAMPA CAMARA	Terminal
CU-0314	Cusco	Ccatca	LAHUA LAHUA (CHINCHAYHUASI)	Terminal
CU-0294	Cusco	Ccatca	ILLAPATA	Terminal
CU-0429	Cusco	Challabamba	REP-204	Intermedio
CU-0449	Cusco	Challabamba	CCOLPANI	Intermedio
CU-0261	Cusco	Challabamba	INQUI PATA	Intermedio
CU-0061	Cusco	Challabamba	SAYLLAFAYA	Terminal
CU-0259	Cusco	Challabamba	MECLLAYPATA	Terminal
CU-0262	Cusco	Challabamba	SUNCHUBAMBA	Terminal
CU-0361	Cusco	Challabamba	KURPO	Terminal
CU-0127	Cusco	Chamaca	QUELLOMARCA	Intermedio
CU-0129	Cusco	Chamaca	INGATA	Intermedio
CU-0131	Cusco	Chamaca	UCHUCCARCCO ALTO	Intermedio
CU-0128	Cusco	Chamaca	URAY INGATA	Terminal
CU-0130	Cusco	Chamaca	AÑAHUICHI	Terminal
CU-0153	Cusco	Chamaca	MERQUES	Terminal
CU-0352	Cusco	Chamaca	LIMAMAYO	Terminal
CU-0343	Cusco	Checca	PAYAMAYO	Intermedio
CU-0087	Cusco	Checca	CCOLLPAMAYO	Terminal
CU-0478	Cusco	Checca	MAYUN	Terminal
CU-0162	Cusco	Checca	CHAÑI CENTRAL	Terminal
CU-0478	Cusco	Checca	ANANSAYA	Terminal
CU-0041	Cusco	Chinchaypujio	HUANCANCALLA	Intermedio
CU-0040	Cusco	Chinchaypujio	SUMARO	Terminal
CU-0417	Cusco	Colquemarca	REP-121	Intermedio

CU-0431	Cusco	Colquemarca	REP-101	Intermedio
CU-0124	Cusco	Colquemarca	CANCAHUANI	Terminal
CU-0133	Cusco	Colquemarca	YANQUE	Terminal
CU-0134	Cusco	Colquemarca	CHARAMURAY	Terminal
CU-0135	Cusco	Colquemarca	TOTORANI	Terminal
CU-0137	Cusco	Colquemarca	AHUICHANTA	Terminal
CU-0151	Cusco	Colquemarca	PALLPA PALLPA (MATARA)	Terminal
CU-0448	Cusco	Colquemarca	ARMIRI	Terminal
CU-0268	Cusco	Colquepata	COTATOCLLA	Intermedio
CU-0281	Cusco	Colquepata	PISCO HUATTA	Intermedio
CU-0282	Cusco	Colquepata	QUISICANCHA	Intermedio
CU-0362	Cusco	Colquepata	SONCCO	Intermedio
CU-0428	Cusco	Colquepata	REP-122	Intermedio
CU-0267	Cusco	Colquepata	NINAMARCA	Terminal
CU-0265	Cusco	Colquepata	TOCRA	Terminal
CU-0283	Cusco	Colquepata	QUEUÑA GRANDE	Terminal
CU-0270	Cusco	Colquepata	VIZCOCHONI	Terminal
CU-0272	Cusco	Colquepata	CCOTAÑE	Terminal
CU-0274	Cusco	Colquepata	PICHIGUA (@COLQUEPATA)	Terminal
CU-0339	Cusco	Colquepata	QUELLOCOCHA	Terminal
CU-0363	Cusco	Colquepata	CHOCCOPIA	Terminal
CU-0484	Cusco	Colquepata	SIPASCANCAHA ALTA	Terminal
CU-0435	Cusco	Combapata	REP-113	Intermedio
CU-0109	Cusco	Combapata	CHIARA CHICHIRANCA	Terminal
CU-0113	Cusco	Combapata	QQUEA	Terminal
CU-0161	Cusco	Coporaque	SAN MIGUEL	Intermedio
CU-0430	Cusco	Coporaque	REP-126	Intermedio
CU-0156	Cusco	Coporaque	TINTAYA MARQUIRI	Intermedio
CU-0446	Cusco	Coporaque	PHINAYA	Terminal
CU-0090	Cusco	Coporaque	THUSA	Terminal
CU-0164	Cusco	Coporaque	CONCAJA	Terminal
CU-0468	Cusco	Coporaque	URINSAYA	Terminal
CU-0458	Cusco	Coporaque	MACHU PUENTE	Terminal
CU-0304	Cusco	Cusipata	MOCCORAISE	Terminal
CU-0065	Cusco	Cuyo Grande	PARU PARU	Terminal
CU-0066	Cusco	Cuyo Grande	AMARU	Terminal
CU-0355	Cusco	Echarate	PISPITA	Terminal
CU-0180	Cusco	Echarate	CONCEPCION (PAMPA CONCEPCION)	Terminal
CU-0481	Cusco	El Descanso	SAUSAYA CENTRAL	Terminal
CU-0342	Cusco	El Descanso	ALTO SAUSAYA	Terminal
CU-0279	Cusco	Huancarani	HUAY	Intermedio
CU-0276	Cusco	Huancarani	HUACCAYCANCHA	Intermedio
CU-0284	Cusco	Huancarani	HUAYLLABAMBA (@HUANCARANI)	Intermedio
CU-0273	Cusco	Huancarani	ACCHA (@COLQUEPATA)	Intermedio
CU-0280	Cusco	Huancarani	CHACABAMBA	Intermedio

CU-0277	Cusco	Huancarani	HUAYLLAPATA	Terminal
CU-0257	Cusco	Huancarani	PITUCANCHA	Terminal
CU-0073	Cusco	Huancarani	TIRACANCHI	Terminal
CU-0256	Cusco	Huancarani	HUASAC	Terminal
CU-0255	Cusco	Huancarani	TAUCAMARCA	Terminal
CU-0364	Cusco	Huancarani	CHINCHAYHUASI	Terminal
CU-0422	Cusco	Huanoquite	REP-104	Intermedio
CU-0241	Cusco	Huanoquite	MOLLE MOLLE	Intermedio
CU-0003	Cusco	Huanoquite	CUSIBAMBA	Terminal
CU-0243	Cusco	Huanoquite	CHIFIA	Terminal
CU-0242	Cusco	Huanoquite	LLASPAY	Terminal
CU-0425	Cusco	Huaro	REP-116	Intermedio
CU-0290	Cusco	Huaro	SECSENCALLA	Terminal
CU-0326	Cusco	Huaro	CANCHACANCHA	Terminal
CU-0479	Cusco	Huaro	PIÑIPAMPA	Terminal
CU-0033	Cusco	Huarocondo	ANCAHUASI	Intermedio
CU-0043	Cusco	Huarocondo	CHAQUEPAY	Intermedio
CU-0032	Cusco	Huarocondo	MANTOCLLA	Terminal
CU-0036	Cusco	Huarocondo	CCOLCCABAMBA	Terminal
CU-0037	Cusco	Huarocondo	KCACCAHUARA	Terminal
CU-0038	Cusco	Huarocondo	AYLLACA ACCORACAY	Terminal
CU-0044	Cusco	Huarocondo	HUAYLLACOCHA	Terminal
CU-0338	Cusco	Huarocondo	CURABAMBA CENTRO	Terminal
CU-0444	Cusco	Huarocondo	COMPONE	Terminal
CU-0457	Cusco	Huarocondo	CCORCHACALLA	Terminal
CU-0455	Cusco	Huarocondo	SANTA ANA	Terminal
CU-0450	Cusco	Huatapampa	MARAMPAMPA	Terminal
CU-0334	Cusco	Huayllabamba	HUYCHO	Intermedio
CU-0333	Cusco	Huayllabamba	HUAYOCCARI BAJO	Intermedio
CU-0057	Cusco	Huayllabamba	HUARAN	Intermedio
CU-0056	Cusco	Huayllabamba	ARIN	Terminal
CU-0474	Cusco	Huayllabamba	RACCHI BAJO	Terminal
CU-0482	Cusco	Huayllabamba	SILLACANCHA	Terminal
CU-0462	Cusco	Huyro	AMAYBAMBA	Terminal
CU-0222	Cusco	Jatum Rumi	QUISTO CENTRAL	Intermedio
CU-0223	Cusco	Jatum Rumi	PUERTO MAYO	Intermedio
CU-0219	Cusco	Jatum Rumi	MANTARO	Intermedio
CU-0218	Cusco	Jatum Rumi	MIMIRINI NATIVOS	Intermedio
CU-0224	Cusco	Jatum Rumi	OTARI NATIVOS	Terminal
CU-0225	Cusco	Jatum Rumi	OTARI SAN MARTIN	Terminal
CU-0360	Cusco	Jatum Rumi	SHANKIRWATO	Terminal
CU-0220	Cusco	Jatum Rumi	TERESA	Terminal
CU-0221	Cusco	Jatum Rumi	QUISTO VALLE	Terminal
CU-0358	Cusco	Jatum Rumi	SANTA INES	Terminal
CU-0359	Cusco	Jatum Rumi	GRAN SHINUNGARI	Terminal
CU-0199	Cusco	Kimbiri	KIMBIRI ALTA (ROCA)	Terminal

CU-0228	Cusco	Kimbiri	OMAYA	Terminal
CU-0477	Cusco	Kimbiri	CARMEN PAMPA	Terminal
CU-0198	Cusco	Kimbiri	SAMPANTUARI ANARO	Terminal
CU-0413	Cusco	Kiteni	REP-107	Intermedio
CU-0174	Cusco	Kiteni	KUVIRIARI	Terminal
CU-0175	Cusco	Kiteni	YOMENTONI MARGEN DERECHA	Terminal
CU-0176	Cusco	Kiteni	MATERIATO	Terminal
CU-0091	Cusco	Layo	QUELLABAMBA	Intermedio
CU-0345	Cusco	Layo	HIRHUAYPUJIO	Intermedio
CU-0096	Cusco	Layo	CHACHACUMANI	Intermedio
CU-0344	Cusco	Layo	PARCCO (@LAYO)	Intermedio
CU-0089	Cusco	Layo	KJANA HANANSAYA	Terminal
CU-0094	Cusco	Layo	GRINGO RACCAY	Terminal
CU-0454	Cusco	Layo	SOCYAPAMPA	Terminal
CU-0141	Cusco	Livitaca	JALCCO	Intermedio
CU-0142	Cusco	Livitaca	PATAQUEÑA	Terminal
CU-0143	Cusco	Livitaca	CERRO PAMPA	Terminal
CU-0247	Cusco	Livitaca	CHECCAPUCARA	Terminal
CU-0248	Cusco	Livitaca	HATUNCANCHA	Terminal
CU-0249	Cusco	Livitaca	SAHUA SAHUA	Terminal
CU-0115	Cusco	Llusco	MELLOTOTORA	Intermedio
CU-0147	Cusco	Llusco	LUTTO	Intermedio
CU-0438	Cusco	Llusco	REP-203	Intermedio
CU-0439	Cusco	Llusco	REP-301	Intermedio
CU-0114	Cusco	Llusco	COLCA	Terminal
CU-0116	Cusco	Llusco	CCOYO	Terminal
CU-0117	Cusco	Llusco	LLIQUE	Terminal
CU-0122	Cusco	Llusco	ORCCOMA	Terminal
CU-0138	Cusco	Llusco	HUAYLLANI	Terminal
CU-0149	Cusco	Llusco	PFUISA	Terminal
CU-0350	Cusco	Llusco	ALLHUACCHUYO	Terminal
CU-0349	Cusco	Llusco	VISTA ALEGRE	Terminal
CU-0353	Cusco	Llusco	LLAULLINCO	Terminal
CU-0487	Cusco	Llusco	PFULLPURI	Terminal
CU-0486	Cusco	Llusco	USCAMARCA	Terminal
CU-0200	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	LOS ANGELES	Intermedio
CU-0207	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	CHIRUMPIARI	Intermedio
CU-0209	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	PALESTINA ALTA	Intermedio
CU-0210	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	MANITINKIARI	Intermedio
CU-0466	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	NUEVA BETANIA – PALESTINA	Intermedio
CU-0202	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	UNION ROSALES	Terminal
CU-0203	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	PROGRESO	Terminal
CU-0204	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	MANITEA ALTA	Terminal
CU-0205	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	SIRENACHAYOCC	Terminal
CU-0212	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	PUEBLO LIBRE BAJA	Terminal
CU-0357	Cusco	Lobo Tahuantinsuyo	UNION VISTA ALEGRE	Terminal

CU-0416	Cusco	Lucma	REP-118	Intermedio
CU-0470	Cusco	Lucma	HABASPATA	Terminal
CU-0216	Cusco	Lucma	YUPANCCA	Terminal
CU-0472	Cusco	Lucma	HUANCACALLE	Terminal
CU-0424	Cusco	Lucre	REP-125	Intermedio
CU-0287	Cusco	Lucre	HUARA HUARA (PACCHIRI)	Intermedio
CU-0451	Cusco	Lucre	RANUPATA	Terminal
CU-0365	Cusco	Lucre	LLOQUETA	Terminal
CU-0441	Cusco	Marangani	REP-110	Intermedio
CU-0110	Cusco	Marangani	SULLCA	Terminal
CU-0168	Cusco	Maranura	POTRERO	Intermedio
CU-0170	Cusco	Maranura	IPAL	Intermedio
CU-0184	Cusco	Maranura	MANDOR BAJO	Intermedio
CU-0421	Cusco	Maranura	REP-302	Intermedio
CU-0467	Cusco	Maranura	COCHAPAMPA	Intermedio
CU-0166	Cusco	Maranura	HUAYANAI BAJO	Terminal
CU-0167	Cusco	Maranura	PAVAYOC ALTO	Terminal
CU-0169	Cusco	Maranura	ESMERALDA	Terminal
CU-0182	Cusco	Maranura	HUAYOPATA CHONTA	Terminal
CU-0187	Cusco	Maranura	SANTA MARIA LA NUEVA	Terminal
CU-0186	Cusco	Maranura	UCHUMAYO	Terminal
CU-0330	Cusco	Maras	SAN JOSE	Intermedio
CU-0370	Cusco	Maras	UMASBAMBA	Intermedio
CU-0336	Cusco	Maras	ANCCOTO	Intermedio
CU-0328	Cusco	Maras	SAN ISIDRO DE CHICON	Terminal
CU-0460	Cusco	Maras	CRUZ PATA	Terminal
CU-0047	Cusco	Mollepata	AYAVIRI	Intermedio
CU-0046	Cusco	Mollepata	HUERTA HUAYJO	Intermedio
CU-0049	Cusco	Mollepata	URATARI	Terminal
CU-0485	Cusco	Mollepata	TOMACAYA	Terminal
CU-0312	Cusco	Ocongate	PATAPALLPA BAJO	Intermedio
CU-0316	Cusco	Ocongate	UPIS	Intermedio
CU-0318	Cusco	Ocongate	PUCARUMI	Intermedio
CU-0319	Cusco	Ocongate	LLULLUCHA	Intermedio
CU-0320	Cusco	Ocongate	LAURAMARCA	Intermedio
CU-0321	Cusco	Ocongate	SALLICANCHA	Intermedio
CU-0310	Cusco	Ocongate	CHECASPAMPA	Terminal
CU-0315	Cusco	Ocongate	PINCHIMURO	Terminal
CU-0317	Cusco	Ocongate	ANDAMAYO	Terminal
CU-0322	Cusco	Ocongate	CUCHUCANCHA	Terminal
CU-0323	Cusco	Ocongate	ALIANZA	Terminal
CU-0367	Cusco	Ocongate	PAMPACANCHA (@OCONGATE)	Terminal
CU-0368	Cusco	Ocongate	PALCCA	Terminal
CU-0369	Cusco	Ocongate	MARANPAQUI ALTO	Terminal
CU-0019	Cusco	Omacha	SANTA LUCIA	Intermedio
CU-0020	Cusco	Omacha	TOCCORANI	Intermedio

CU-0245	Cusco	Omacha	ANTAYAJE	Terminal
CU-0463	Cusco	Omacha	SAN JUAN	Terminal
CU-0246	Cusco	Omacha	ANTAPALLPA	Terminal
CU-0286	Cusco	Pillcopata	PATRIAS	Terminal
CU-0011	Cusco	Pillpinto	CAMPI	Intermedio
CU-0252	Cusco	Pillpinto	TAUCABAMBA	Terminal
CU-0018	Cusco	Pomacanchi	CANCHANURA	Intermedio
CU-0016	Cusco	Pomacanchi	CHOSECANI	Terminal
CU-0432	Cusco	Pulpera	REP-106	Intermedio
CU-0118	Cusco	Pulpera	LA ESQUINA	Terminal
CU-0119	Cusco	Pulpera	ANCHAYAQUE	Terminal
CU-0351	Cusco	Pulpera	PARCCO (@SANTO TOMAS)	Terminal
CU-0196	Cusco	Quebrada Honda	SANTIAGO (@QUELLOUNO)	Intermedio
CU-0411	Cusco	Quebrada Honda	REP-102	Intermedio
CU-0414	Cusco	Quebrada Honda	REP-111	Intermedio
CU-0356	Cusco	Quebrada Honda	BAJO QUESQUENTO	Intermedio
CU-0195	Cusco	Quebrada Honda	CHANCAMAYO	Intermedio
CU-0192	Cusco	Quebrada Honda	CANELON	Terminal
CU-0453	Cusco	Quebrada Honda	PALTAYBAMBA	Terminal
CU-0447	Cusco	Quebrada Honda	SAN LORENZO	Terminal
CU-0483	Cusco	Quebrada Honda	SANTA ROSA MEDIA	Terminal
CU-0104	Cusco	Quehue	CCOCHAPATA (@TUPAC AMARU)	Intermedio
CU-0102	Cusco	Quehue	HUINCHIRI	Intermedio
CU-0085	Cusco	Quehue	HAMPATURA	Intermedio
CU-0082	Cusco	Quehue	PONGOÑA	Terminal
CU-0098	Cusco	Quehue	CHOCAYHUA	Terminal
CU-0099	Cusco	Quehue	CHAUPIBANDA	Terminal
CU-0101	Cusco	Quehue	PERCCARO	Terminal
CU-0341	Cusco	Quehue	TANDABAMBA	Terminal
CU-0100	Cusco	Quehue	CHIRUPAMPA	Terminal
CU-0418	Cusco	Quellouno	REP-123	Intermedio
CU-0194	Cusco	Quellouno	PUTUCUSI	Terminal
CU-0136	Cusco	Quiñota	HUASCJA	Terminal
CU-0146	Cusco	Quiñota	MARCJAHUI	Terminal
CU-0026	Cusco	Rondocan	PAPRES	Intermedio
CU-0023	Cusco	Rondocan	KUÑUTAMBO	Intermedio
CU-0010	Cusco	Rondocan	CORMA	Intermedio
CU-0230	Cusco	Rondocan	MISCA	Intermedio
CU-0239	Cusco	Rondocan	ARAY PALLPA	Intermedio
CU-0022	Cusco	Rondocan	SAN JUAN DE QUIHUARES	Terminal
CU-0025	Cusco	Rondocan	PIRQUE	Terminal
CU-0027	Cusco	Rondocan	SANKA	Terminal
CU-0024	Cusco	Rondocan	PARARA	Terminal
CU-0229	Cusco	Rondocan	MAYUMBAMBA	Terminal
CU-0231	Cusco	Rondocan	YARCCACUNCA (YARJUCUNCA)	Terminal
CU-0254	Cusco	Rondocan	RANRACCASA	Terminal

CU-0347	Cusco	San Pablo	PAMPILLA PUCHURI	Intermedio
CU-0427	Cusco	San Salvador	REP-120	Intermedio
CU-0004	Cusco	San Salvador	CONCHACALLA	Terminal
CU-0074	Cusco	San Salvador	SICLLABAMBA	Terminal
CU-0076	Cusco	Taray	HUANCALLE	Intermedio
CU-0060	Cusco	Taray	PATABAMBA	Intermedio
CU-0445	Cusco	Taray	POQUES	Intermedio
CU-0059	Cusco	Taray	SIHUA	Terminal
CU-0071	Cusco	Taray	AMPAY PRIMERA BANDA	Terminal
CU-0340	Cusco	Taray	RAYANNIYOC	Terminal
CU-0014	Cusco	Tungasuca	THUMI	Terminal
CU-0083	Cusco	Tungasuca	CHUCCHUCALLA	Terminal
CU-0084	Cusco	Tungasuca	LLALLAPARA	Terminal
CU-0154	Cusco	Velille	TACLLAPAMPA	Intermedio
CU-0437	Cusco	Velille	REP-124	Intermedio
CU-0354	Cusco	Velille	AYACCASI	Terminal
CU-0329	Cusco	Yucay	VILLA MARCELO	Terminal

Anexo 5

Datasheet Alcatel-Lucent OmniSwitch 6450

Alcatel·Lucent
Enterprise

Alcatel-Lucent OmniSwitch 6450

Stackable Gigabit Ethernet LAN switch family

The Alcatel-Lucent OmniSwitch® 6450 Stackable Fast Ethernet and Gigabit Ethernet LAN value switch family offers versatile, 24/48-port fixed configuration switches with 10 GigE uplinks and provides upgrade paths for 10 Gigabit Ethernet (GigE) stacking, 10 GigE uplinks and metro Ethernet services.

OmniSwitch 6450-24/P24/24X/P24X/24XM

OmniSwitch 6450-48/P48/48X/P48X

OmniSwitch 6450-U24/U24S/U24X/U24SXM

Promoting a design optimized for flexibility, scalability, and low power consumption, the OmniSwitch 6450 is an outstanding edge solution. It uses the field-proven Alcatel-Lucent Operating System (AOS) to deliver highly available, secure, self-protective, easily managed and eco-friendly networks.

The OmniSwitch 6450 family is embedded with the latest technology innovations and offers maximum investment protection.

The following types of deployments benefit from the OmniSwitch 6450 family:

- Edge of small-to-mid-sized networks
- Branch office enterprise and campus workgroups
- Residential and commercially managed service applications
- Service provider network deployments

Datasheet
Alcatel-Lucent OmniSwitch 6450

Benefits

- Meets all customer configuration needs and offers excellent investment protection and flexibility with easy deployment, operation, and maintenance
- Provides outstanding performance when supporting real-time voice, data, and video applications for converged scalable networks
- Ensures efficient power management, reduces operating expenses (OPEX) and lowers total cost of ownership (TCO) through low power consumption and dynamic PoE allocation, which delivers only the power needed by the attached device
- Field-upgradeable solution makes the network highly available and reduces OPEX
- Fully secures the network at the edge at no additional cost
- Enterprise-wide cost reduction through hardware consolidation to achieve network segmentation and security without additional hardware installation
- Supports cost-effective installation and deployment with automated switch setup and configuration and end-to-end virtual LAN (VLAN) provisioning
- Simplifies metro Ethernet network OA&M for service providers

Features

- 24-port and 48-port, Power over Ethernet (PoE), non-PoE, and 24-port fiber models with two fixed small form factor pluggable (SFP+) 10-G-ready interfaces ("X" models) and 10G-ready interfaces ("non-X" models)
- Scalability from 24 to 384 Fast Ethernet and gigabit ports with 16 10 GigE ports
- Optional SFP+ stacking or uplink module
- Optional 10 GigE uplink license option for "non-X" models
- Optional metro services feature license on "non-M" models for service provider deployments
- Support for IEEE 802.3af as well as IEEE 802.3at-compliant PoE
- Support for Precision Timing Protocol (PTP) through IEEE 1588v2 ("S" models only)
- Internal AC or DC -redundant power supplies

Management

- AOS field-proven software managed through a web interface (WebView), command line interface (CLI), and Simple Network Management Protocol (SNMP)
- Support for programmable AOS OpenFlow for the creation of specialized services.
- Ethernet operations, administration and management (OA&M) support for service configuration and monitoring
- Supported by Alcatel-Lucent OmniVista® 2500 Network Management System (NMS)
- Alcatel-Lucent 5620 Service Aware Manager (SAM) applications for service providers

Security

- Flexible device and user authentication with Alcatel-Lucent Access Guardian (IEEE 802.1x/MAC/ captive portal) with Host Integrity Check (HIC) enforcement
- Enables deployment of comprehensive and secure bring your own device (BYoD) services in enterprise networks, such as guest management, device on-boarding, device posturing, application management, and dynamic change of authentication (CoA).
- Advanced Quality of Service (QoS) and Access Control Lists (ACLs) for traffic control, including an embedded denial of service (DoS) engine to filter out unwanted traffic attacks
- Extensive support for user-oriented features, such as learned port security (LPS), port mapping, Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) binding tables, and User Network Profile (UNP)

Anexo 6

Pruebas de conectividad IP de nodos distritales hacía cada enrutador de Core

A continuación, se muestra las pruebas ejecutadas de conectividad IP desde algunos (05) nodos Distritales hacía cada enrutador de Core, apuntando a la IP de sistema y usando 30 paquetes en cada ping que se ejecuta.

- Distrital CU-0007 ACOPIA, ubicado en la localidad Acopia, distrito Acopia, provincia Acomayo. Captura desde Interfaz de la línea de comandos de enrutador del nodo.

```
A:CUS-ACOPIA-AC-SASXP-01#
A:CUS-ACOPIA-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.1 count 30
PING 10.40.3.1 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=3.05ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=3.04ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=3.07ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=3.04ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=3.08ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=3.10ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=7 ttl=64 time=3.08ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=8 ttl=64 time=3.07ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=9 ttl=64 time=3.04ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=10 ttl=64 time=3.03ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=11 ttl=64 time=3.05ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=12 ttl=64 time=3.03ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=13 ttl=64 time=3.04ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=14 ttl=64 time=3.05ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=15 ttl=64 time=3.04ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=16 ttl=64 time=3.05ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=17 ttl=64 time=3.04ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=18 ttl=64 time=3.05ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=19 ttl=64 time=3.04ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=20 ttl=64 time=3.01ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=21 ttl=64 time=3.07ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=22 ttl=64 time=3.07ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=23 ttl=64 time=3.06ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=24 ttl=64 time=3.05ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=25 ttl=64 time=3.04ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=26 ttl=64 time=3.05ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=27 ttl=64 time=3.06ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=28 ttl=64 time=3.06ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=29 ttl=64 time=3.02ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=30 ttl=64 time=3.05ms.

---- 10.40.3.1 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 3.01ms, avg = 3.05ms, max = 3.10ms, stddev = 0.019ms
A:CUS-ACOPIA-AC-SASXP-01#
```

```
A:CUS-ACOPIA-AC-SASXP-01#
A:CUS-ACOPIA-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.2 count 30
PING 10.40.3.2 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=3.11ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=3.10ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=3.10ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=3.10ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=3.13ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=3.10ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=3.11ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=3.14ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=3.14ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=3.11ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=3.13ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=3.11ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=3.13ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=3.11ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=3.12ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=3.12ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=3.11ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=3.12ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=3.14ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=3.15ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=21 ttl=64 time=3.12ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=3.13ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=3.10ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=24 ttl=64 time=3.10ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=25 ttl=64 time=3.13ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=26 ttl=64 time=3.29ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=27 ttl=64 time=3.13ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=28 ttl=64 time=3.12ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=29 ttl=64 time=3.12ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=30 ttl=64 time=3.10ms.

---- 10.40.3.2 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 3.10ms, avg = 3.12ms, max = 3.29ms, stddev = 0.033ms
A:CUS-ACOPIA-AC-SASXP-01#
```

- Distrital CU-0086 CHECCA, ubicado en la localidad Checca, distrito Checca, provincia Canas. Captura desde Interfaz de la línea de comandos de enrutador del nodo.

```
A:CUS-CHECCA-AC-SASXP-01#
A:CUS-CHECCA-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.1 count 30
PING 10.40.3.1 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=3.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=3.37ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=3.35ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=3.36ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=7 ttl=64 time=3.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=8 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=9 ttl=64 time=3.35ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=10 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=11 ttl=64 time=3.32ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=12 ttl=64 time=3.35ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=13 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=14 ttl=64 time=3.36ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=15 ttl=64 time=3.35ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=16 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=17 ttl=64 time=3.35ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=18 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=19 ttl=64 time=3.32ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=20 ttl=64 time=3.32ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=21 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=22 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=23 ttl=64 time=3.36ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=24 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=25 ttl=64 time=3.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=26 ttl=64 time=3.31ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=27 ttl=64 time=3.35ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=28 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=29 ttl=64 time=3.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=30 ttl=64 time=3.35ms.

---- 10.40.3.1 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 3.31ms, avg = 3.34ms, max = 3.38ms, stddev = 0.016ms
A:CUS-CHECCA-AC-SASXP-01#
```

```
A:CUS-CHECCA-AC-SASXP-01#
A:CUS-CHECCA-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.2 count 30
PING 10.40.3.2 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=3.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=3.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=3.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=3.35ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=3.41ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=3.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=3.37ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=3.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=3.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=3.37ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=3.36ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=3.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=3.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=21 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=3.36ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=3.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=24 ttl=64 time=3.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=25 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=26 ttl=64 time=3.36ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=27 ttl=64 time=3.41ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=28 ttl=64 time=3.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=29 ttl=64 time=3.43ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=30 ttl=64 time=3.39ms.

---- 10.40.3.2 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 3.35ms, avg = 3.38ms, max = 3.43ms, stddev = 0.015ms
A:CUS-CHECCA-AC-SASXP-01#
```

- Distrital CU-0163 VIRGINIYOC, ubicado en la localidad Virginiyoc, distrito Suyckutambo, provincia Espinar. Captura desde Interfaz de la línea de comandos de enrutador del nodo.

```
A:CUS-VIRGINIY-AC-SASXP-01#
A:CUS-VIRGINIY-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.1 count 30
PING 10.40.3.1 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.32ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.36ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.37ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=4.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=4.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=7 ttl=64 time=4.31ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=8 ttl=64 time=4.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=9 ttl=64 time=4.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=10 ttl=64 time=4.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=11 ttl=64 time=4.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=12 ttl=64 time=4.31ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=13 ttl=64 time=4.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=14 ttl=64 time=4.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=15 ttl=64 time=4.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=16 ttl=64 time=4.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=17 ttl=64 time=4.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=18 ttl=64 time=4.32ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=19 ttl=64 time=4.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=20 ttl=64 time=4.31ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=21 ttl=64 time=4.32ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=22 ttl=64 time=4.36ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=23 ttl=64 time=4.36ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=24 ttl=64 time=4.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=25 ttl=64 time=4.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=26 ttl=64 time=4.34ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=27 ttl=64 time=4.31ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=28 ttl=64 time=4.32ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=29 ttl=64 time=4.33ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=30 ttl=64 time=4.34ms.

---- 10.40.3.1 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 4.31ms, avg = 4.33ms, max = 4.37ms, stddev = 0.014ms
A:CUS-VIRGINIY-AC-SASXP-01#
```

```
A:CUS-VIRGINIY-AC-SASXP-01#
A:CUS-VIRGINIY-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.2 count 30
PING 10.40.3.2 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.41ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=4.45ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=4.43ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=4.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=4.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=4.43ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=4.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=4.43ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=4.41ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=4.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=21 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=24 ttl=64 time=4.43ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=25 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=26 ttl=64 time=4.38ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=27 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=28 ttl=64 time=4.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=29 ttl=64 time=4.39ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=30 ttl=64 time=4.40ms.

---- 10.40.3.2 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 4.38ms, avg = 4.41ms, max = 4.45ms, stddev = 0.015ms
A:CUS-VIRGINIY-AC-SASXP-01#
```

- Distrital CU-0291 QUINCEMIL, ubicado en la localidad Quincemil, distrito Camanti, provincia Quispicanchi. Captura desde Interfaz de la línea de comandos de enrutador del nodo.

```
A:CUS-QUINCEMI-AC-SASXP-01#
A:CUS-QUINCEMI-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.1 count 30
PING 10.40.3.1 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=3.82ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=3.85ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=3.85ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=3.82ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=3.85ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=3.83ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=7 ttl=64 time=3.84ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=8 ttl=64 time=3.83ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=9 ttl=64 time=3.82ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=10 ttl=64 time=3.81ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=11 ttl=64 time=3.85ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=12 ttl=64 time=3.83ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=13 ttl=64 time=3.83ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=14 ttl=64 time=3.83ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=15 ttl=64 time=3.84ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=16 ttl=64 time=3.85ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=17 ttl=64 time=3.84ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=18 ttl=64 time=3.81ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=19 ttl=64 time=3.84ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=20 ttl=64 time=3.83ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=21 ttl=64 time=3.85ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=22 ttl=64 time=3.81ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=23 ttl=64 time=3.82ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=24 ttl=64 time=3.82ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=25 ttl=64 time=3.86ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=26 ttl=64 time=3.82ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=27 ttl=64 time=3.86ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=28 ttl=64 time=3.82ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=29 ttl=64 time=3.84ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=30 ttl=64 time=3.81ms.

---- 10.40.3.1 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 3.81ms, avg = 3.83ms, max = 3.86ms, stddev = 0.014ms
A:CUS-QUINCEMI-AC-SASXP-01#
```

```
A:CUS-QUINCEMI-AC-SASXP-01#
A:CUS-QUINCEMI-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.2 count 30
PING 10.40.3.2 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=3.92ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=3.95ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=3.93ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=3.92ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=3.89ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=3.92ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=3.94ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=3.95ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=3.93ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=3.95ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=3.93ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=3.92ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=3.91ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=3.94ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=3.92ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=3.95ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=3.92ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=3.90ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=4.09ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=3.95ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=21 ttl=64 time=3.95ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=3.93ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=3.98ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=24 ttl=64 time=3.95ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=25 ttl=64 time=3.95ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=26 ttl=64 time=3.96ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=27 ttl=64 time=3.91ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=28 ttl=64 time=3.87ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=29 ttl=64 time=3.90ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=30 ttl=64 time=3.91ms.

---- 10.40.3.2 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 3.87ms, avg = 3.93ms, max = 4.09ms, stddev = 0.037ms
A:CUS-QUINCEMI-AC-SASXP-01#
```

- Distrital CU-0152 VELILLE, ubicado en la localidad Velille, distrito Velille, provincia Chumbivilcas. Captura desde Interfaz de la línea de comandos de enrutador del nodo.

```
A:CUS-VELILLE-AC-SASXP-01#
A:CUS-VELILLE-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.1 count 30
PING 10.40.3.1 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.39ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.39ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=4.41ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=4.38ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=7 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=8 ttl=64 time=4.44ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=9 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=10 ttl=64 time=4.44ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=11 ttl=64 time=4.41ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=12 ttl=64 time=4.46ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=13 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=14 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=15 ttl=64 time=4.38ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=16 ttl=64 time=4.41ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=17 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=18 ttl=64 time=4.43ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=19 ttl=64 time=4.39ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=20 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=21 ttl=64 time=4.37ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=22 ttl=64 time=4.41ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=23 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=24 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=25 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=26 ttl=64 time=4.45ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=27 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=28 ttl=64 time=4.42ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=29 ttl=64 time=4.40ms.
64 bytes from 10.40.3.1: icmp_seq=30 ttl=64 time=4.45ms.

---- 10.40.3.1 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 4.37ms, avg = 4.41ms, max = 4.46ms, stddev = 0.021ms
A:CUS-VELILLE-AC-SASXP-01#
```

```
A:CUS-VELILLE-AC-SASXP-01#
A:CUS-VELILLE-AC-SASXP-01# ping 10.40.3.2 count 30
PING 10.40.3.2 56 data bytes
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.49ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.46ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.48ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=4.47ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=4.45ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=4.48ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=4.45ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=4.47ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=4.47ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=4.46ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=4.43ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=4.45ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=4.45ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=4.48ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=4.45ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=4.48ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=4.50ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=4.47ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=4.48ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=4.47ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=21 ttl=64 time=4.48ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=4.46ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=4.50ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=24 ttl=64 time=4.46ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=25 ttl=64 time=4.45ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=26 ttl=64 time=4.49ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=27 ttl=64 time=4.47ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=28 ttl=64 time=4.47ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=29 ttl=64 time=4.48ms.
64 bytes from 10.40.3.2: icmp_seq=30 ttl=64 time=4.46ms.

---- 10.40.3.2 PING Statistics ----
30 packets transmitted, 30 packets received, 0.00% packet loss
round-trip min = 4.43ms, avg = 4.47ms, max = 4.50ms, stddev = 0.015ms
A:CUS-VELILLE-AC-SASXP-01#
```

Anexo 7

Sesión PPPoE de CPE de colegios, centros de salud y comisarias, y conectividad a Internet

A continuación, se muestra las validaciones de sesiones establecidas, el tipo de Institución y asignación de planes de Internet que el BNG (enrutador de Core) entregó a los CPE de algunas instituciones rurales (03 instituciones entre colegios, centros de salud y comisarias) escogidas al azar. Además, en la segunda captura de cada muestra, se observa los resultados de la sesión PPPoE establecida y las pruebas ejecutadas de conectividad IP a Internet desde cada CPE, apuntando a la IP de Google (DNS: 8.8.8.8) y usando 30 paquetes en cada ping que se ejecuta.

- Colegio CU-0214-IE01 “50276 AMAUTA” que se conecta a la red de acceso mediante el nodo Distrital LUCMA. Colegio ubicado en la localidad Lucma, distrito VILCABAMBA, provincia LA CONVENCION. Primera captura desde Interfaz de la línea de comandos de enrutador Core 01 (BNG-1) y las dos últimas capturas son desde el CPE de la institución rural.

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01#
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show service id 700 subscriber-hosts mac CC:2D:E0:17:C7:41 detail

===============================================================================
Subscriber Host table
===============================================================================
Sap
  IP Address
    MAC Address                PPPoE-SID       Origin          Fwding State
      Subscriber
-------------------------------------------------------------------------------
[pw-168:700]
  10.140.0.62
    cc:2d:e0:17:c7:41          1               IPCP            Fwding
      CU-0214-IE01
-------------------------------------------------------------------------------
Subscriber-interface  : IIBB-EDUCACION
Group-interface       : pw-168
Sub Profile           : CPE
SLA Profile           : MIX_2MBPS
App Profile           : IIBB
Egress Q-Group        : policer-output-queues
Egress Vport          : N/A
Acct-Session-Id       : 62547C008C616866721341
Acct-Q-Inst-Session-Id: 62547C008C616A66721341
Address Origin        : AAA
OT HTTP Rdr IP-FltrId : N/A
OT HTTP Rdr Status    : N/A
OT HTTP Rdr Fltr Src  : N/A
HTTP Rdr URL Override : N/A
GTP local break-out   : No
DIAMETER session ID Gx: N/A
-------------------------------------------------------------------------------
Number of subscriber hosts : 1
===============================================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01#
```

```
[admin@CU-0214-IE01] >
[admin@CU-0214-IE01] > interface pppoe-client monitor numbers=CPE
          status: connected
          uptime: 4d17h41m29s
    active-links: 1
        encoding:
    service-name:
         ac-name: CUS-ACORE-CRA-SR7-01
          ac-mac: 00:00:5E:00:01:A8
             mtu: 1480
             mru: 1480
   local-address: 10.140.0.62
  remote-address: 10.140.0.1

[admin@CU-0214-IE01] >
[admin@CU-0214-IE01] > ping 8.8.8.8 routing-table=VRF_INET count=30
  SEQ HOST                                     SIZE TTL TIME  STATUS
    0 8.8.8.8                                    56  54 74ms
    1 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    2 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    3 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    4 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    5 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    6 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    7 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    8 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    9 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   10 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   11 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   12 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   13 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   14 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   15 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   16 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   17 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   18 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   19 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    sent=20 received=20 packet-loss=0% min-rtt=67ms avg-rtt=67ms max-rtt=74ms
  SEQ HOST                                     SIZE TTL TIME  STATUS
   20 8.8.8.8                                    56  54 66ms
   21 8.8.8.8                                    56  54 66ms
   22 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   23 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   24 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   25 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   26 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   27 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   28 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   29 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    sent=30 received=30 packet-loss=0% min-rtt=66ms avg-rtt=67ms max-rtt=74ms

[admin@CU-0214-IE01] >
```

- Centro de salud CU-0204-CS01 “MANITEA ALTA” que se conecta a la red de acceso mediante el nodo Terminal MANITEA ALTA (perteneciente al cluster LOBO TAHUATINSUYO). Centro de Salud ubicado en la localidad MANITEA ALTA, distrito KIMBIRI, provincia LA CONVENCION. Primera captura desde Interfaz de la línea de comandos de enrutador Core 01 (BNG-1) y las dos últimas capturas son desde el CPE de la institución rural.

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR/-01#
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show service id 701 subscriber-hosts mac C4:AD:34:5C:53:0F detail

===============================================================================
Subscriber Host table
===============================================================================
Sap
  IP Address
    MAC Address                PPPoE-SID       Origin          Fwding State
      Subscriber
-------------------------------------------------------------------------------
[pw-2164:701]
  10.140.8.28
    c4:ad:34:5c:53:0f          1               IPCP            Fwding
      CU-0204-CS01
-------------------------------------------------------------------------------
Subscriber-interface  : IIBB-SALUD
Group-interface       : pw-2164
Sub Profile           : CPE
SLA Profile           : MIX_2MBPS
App Profile           : IIBB
Egress Q-Group        : policer-output-queues
Egress Vport          : N/A
Acct-Session-Id       : 62547C008C9299667854D8
Acct-Q-Inst-Session-Id: 62547C008C929B667854D8
Address Origin        : AAA
OT HTTP Rdr IP-FltrId : N/A
OT HTTP Rdr Status    : N/A
OT HTTP Rdr Fltr Src  : N/A
HTTP Rdr URL Override : N/A
GTP local break-out   : No
DIAMETER session ID Gx: N/A
-------------------------------------------------------------------------------
Number of subscriber hosts : 1
===============================================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01#
```

```
[admin@CU-0204-CS01] > interface pppoe-client monitor numbers=CPE
         status: connected
         uptime: 3m24s
    active-links: 1
       encoding:
   service-name:
        ac-name: CUS-ACORE-CRA-SR7-01
         ac-mac: 00:00:5E:00:01:74
            mtu: 1480
            mru: 1480
  local-address: 10.140.8.28
 remote-address: 10.140.8.1

[admin@CU-0204-CS01] >
[admin@CU-0204-CS01] > ping 8.8.8.8 routing-table=VRF_INET count=30
  SEQ HOST                                     SIZE TTL TIME  STATUS
    0 8.8.8.8                                    56  54 74ms
    1 8.8.8.8                                    56  54 72ms
    2 8.8.8.8                                    56  54 72ms
    3 8.8.8.8                                    56  54 72ms
    4 8.8.8.8                                    56  54 72ms
    5 8.8.8.8                                    56  54 72ms
    6 8.8.8.8                                    56  54 72ms
    7 8.8.8.8                                    56  54 72ms
    8 8.8.8.8                                    56  54 72ms
    9 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   10 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   11 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   12 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   13 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   14 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   15 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   16 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   17 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   18 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   19 8.8.8.8                                    56  54 72ms
    sent=20 received=20 packet-loss=0% min-rtt=72ms avg-rtt=72ms max-rtt=74ms
  SEQ HOST                                     SIZE TTL TIME  STATUS
   20 8.8.8.8                                    56  54 71ms
   21 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   22 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   23 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   24 8.8.8.8                                    56  54 87ms
   25 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   26 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   27 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   28 8.8.8.8                                    56  54 72ms
   29 8.8.8.8                                    56  54 72ms
    sent=30 received=30 packet-loss=0% min-rtt=71ms avg-rtt=72ms max-rtt=87ms

[admin@CU-0204-CS01] >
```

- Comisaría CU-0033-CO01 “CPNP RURAL ANCAHUASI” que se conecta a la red de acceso mediante el nodo Intermedio ANCAHUASI (perteneciente al cluster HUAROCONDO). Comisaría ubicada en la localidad ANCAHUASI, distrito ANCAHUASI, provincia ANTA. Primera captura desde Interfaz de la línea de comandos de enrutador Core 01 (BNG-1) y las dos últimas capturas son desde el CPE de la institución rural.

```
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01# show service id 702 subscriber-hosts mac DC:2C:6E:BD:7B:B8 detail

===============================================================================
Subscriber Host table
===============================================================================
Sap
  IP Address
    MAC Address                PPPoE-SID       Origin          Fwding State
      Subscriber
-------------------------------------------------------------------------------
[pw-4050:702]
  10.140.16.18
    dc:2c:6e:bd:7b:b8          1               IPCP            Fwding
      CU-0033-CO01
-------------------------------------------------------------------------------
Subscriber-interface  : IIBB-SEGURIDAD
Group-interface       : pw-4050
Sub Profile           : CPE
SLA Profile           : MIX_2MBPS
App Profile           : IIBB
Egress Q-Group        : policer-output-queues
Egress Vport          : N/A
Acct-Session-Id       : 62547C008C7E3566770713
Acct-Q-Inst-Session-Id: 62547C008C7E3766770713
Address Origin        : AAA
OT HTTP Rdr IP-FltrId : N/A
OT HTTP Rdr Status    : N/A
OT HTTP Rdr Fltr Src  : N/A
HTTP Rdr URL Override : N/A
GTP local break-out   : No
DIAMETER session ID Gx: N/A
-------------------------------------------------------------------------------
Number of subscriber hosts : 1
===============================================================================
B:CUS-ACORE-CRA-SR7-01#
```

```
[admin@CU-0033-CO01] >
[admin@CU-0033-CO01] > interface pppoe-client monitor numbers=CPE
          status: connected
          uptime: 1d1h4m34s
    active-links: 1
        encoding:
    service-name:
         ac-name: CUS-ACORE-CRA-SR7-01
          ac-mac: 00:00:5E:00:01:D2
             mtu: 1480
             mru: 1480
   local-address: 10.140.16.18
  remote-address: 10.140.16.1

[admin@CU-0033-CO01] >
[admin@CU-0033-CO01] > ping 8.8.8.8 routing-table=VRF_INET count=30
  SEQ HOST                                     SIZE TTL TIME  STATUS
    0 8.8.8.8                                    56  54 65ms
    1 8.8.8.8                                    56  54 62ms
    2 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    3 8.8.8.8                                    56  54 62ms
    4 8.8.8.8                                    56  54 62ms
    5 8.8.8.8                                    56  54 62ms
    6 8.8.8.8                                    56  54 62ms
    7 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    8 8.8.8.8                                    56  54 62ms
    9 8.8.8.8                                    56  54 62ms
   10 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   11 8.8.8.8                                    56  54 62ms
   12 8.8.8.8                                    56  54 62ms
   13 8.8.8.8                                    56  54 62ms
   14 8.8.8.8                                    56  54 62ms
   15 8.8.8.8                                    56  54 62ms
   16 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   17 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   18 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   19 8.8.8.8                                    56  54 62ms
    sent=20 received=20 packet-loss=0% min-rtt=62ms avg-rtt=63ms max-rtt=67ms
  SEQ HOST                                     SIZE TTL TIME  STATUS
   20 8.8.8.8                                    56  54 61ms
   21 8.8.8.8                                    56  54 61ms
   22 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   23 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   24 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   25 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   26 8.8.8.8                                    56  54 62ms
   27 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   28 8.8.8.8                                    56  54 67ms
   29 8.8.8.8                                    56  54 67ms
    sent=30 received=30 packet-loss=0% min-rtt=61ms avg-rtt=64ms max-rtt=67ms

[admin@CU-0033-CO01] >
```