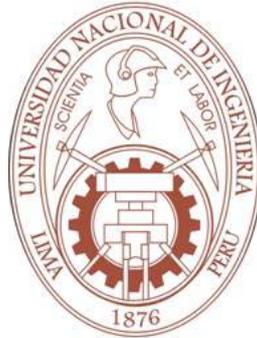


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**REDUCCIÓN DE COSTOS EN UNA RED DE TELEFONÍA
FIJA EN EL PERÚ MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DE
DISTANCIAS EN LA RED DE TRANSMISIÓN**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
MENCIÓN: TELECOMUNICACIONES**

PRESENTADO POR

MANUEL FERNANDO MUÑOZ QUIROZ

LIMA – PERÚ

2011

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis queridos padres: Orfelinda y Manuel
por todo el apoyo que en todo momento me han brindado
y a quienes les debo mi formación profesional.

También dedico este trabajo a
mi amada esposa Doris y a mi amado hijo Carlitos,
quienes con su comprensión y paciencia me brindaron
la tranquilidad necesaria para poder elaborar y culminar esta Tesis.

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer de manera especial al Dr. Carlos Valdez Velásquez-López, quien no obstante su recargada agenda laboral, siempre estuvo dispuesto a brindarme sus sugerencias y asesoría para la elaboración de esta Tesis.

Asimismo agradezco al M.Sc. José Luis Muñoz Meza quien con sus valiosas observaciones, aportes y sugerencias, contribuyó a mejorar el trabajo realizado.

Finalmente, pero no por ello menos importante, mi agradecimiento especial al Ing. Alejandro Pórcel, mi entrañable amigo, por colaborar y apoyar con sus conocimientos de programación y a la Sra. Doris Rojas por su ayuda y orientación en la Sección de Postgrado.

RESUMEN

Uno de los aspectos más importantes de la regulación del sector de las telecomunicaciones en el Perú lo constituye la interconexión de redes de diferentes operadores, cuyo objetivo es permitir a los usuarios de una red comunicarse con los usuarios de otra red. La regulación ha establecido diversas “instalaciones esenciales” o servicios que un operador debe ofrecer a otro a cambio de un pago denominado “cargo de interconexión”. Una de las instalaciones esenciales más importantes es la “terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija local”, la cual permite a un operador, originar o terminar llamadas en la red de un operador del servicio de telefonía fija local.

El OSIPTEL, organismo regulador de las telecomunicaciones en el Perú, es el encargado de establecer los cargos de interconexión de las diferentes instalaciones esenciales que se brindan en el mercado. Para ello se utiliza un modelo de costos integral que dimensiona los diversos elementos de la red (conmutación y/o transmisión), así como las inversiones necesarias para implementar la red, el costo anual y el costo asignable a la instalación esencial bajo análisis.

En el modelo de costos actualmente utilizado por el regulador para hallar el cargo por terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija local, se ha identificado una mejora que permitiría obtener la red de transmisión de menor costo en cada uno de los departamentos del país.

Por tal motivo, el presente trabajo de Tesis plantea mejorar este modelo de costos, incorporándole un procedimiento que permita determinar y seleccionar las configuraciones de las redes de transmisión departamentales de menor costo para el operador, lo cual contribuirá a reducir los costos totales de la red y a obtener un cargo de interconexión basado en los costos eficientes de la red.

ABSTRACT

One of the most important topics in the regulation of telecommunication sector in Peru is the interconnection between networks belonging to different operators. The objective of the interconnection is to make possible that user of one network can communicate with user of other network. The regulation has established several “essential facilities” or services provided by an operator to another, whose payment is call “interconnection charge”.

One of these essential facilities is named “calls termination in the network of the local fixed telephony service”. Using this facility, any operator can originate or terminate voice communications in the network of an operator which provides the local fixed telephony service.

OSIPTEL, the regulatory agency in Peru, is responsible for establishing interconnection charges of the essential facilities provided in the market. To make this, OSIPTEL uses an integral cost model as a tool to determine network components (in switching and/or transmission), and also to establish the necessary investment to implement the network, the annual cost and the cost attributable to the essential facility under analysis.

In the cost model used by the regulator to calculate the call termination charge in the network of the local fixed telephony service, it is possible to implement an improvement to get less expensive transmission network in each department of the country.

This Thesis proposes to improve this part of the cost model. To do this it is necessary to include a procedure to identify and select the less expensive configuration for the transmission network inside each department. This will reduce the total cost of the network and obtain an interconnection charge based on the efficient cost of the network.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I ASPECTOS GENERALES	4
I.1. ANTECEDENTES	4
I.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
I.3. OBJETIVO DE LA TESIS.....	6
I.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.	7
CAPITULO II MARCO CONCEPTUAL DE LA FIJACIÓN DE CARGOS DE INTERCONEXIÓN	9
CAPITULO III METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS	14
III.1. CATEGORÍA DE COSTOS.....	14
III.1.1. COSTOS DIRECTOS.....	14
III.1.2. COSTOS COMPARTIDOS.	15
III.1.3. COSTOS COMUNES.	15
III.2. COSTOS DE INTERCONEXIÓN.	16
III.2.1. MARCO CONCEPTUAL.	16
A) COSTOS HISTÓRICOS Y COSTOS TOTALMENTE DISTRIBUIDOS.....	17
B) COSTOS PROSPECTIVOS Y COSTOS INCREMENTALES (LRIC).....	19
III.3. METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE COSTOS.	22
III.3.1. MÉTODO DE ARRIBA HACIA ABAJO (TOP-DOWN).	22
III.3.2. MÉTODO DE ABAJO HACIA ARRIBA (BOTTOM-UP).....	24
CAPITULO IV LA TERMINACIÓN DE LLAMADAS EN LA RED DEL SERVICIO DE TELEFONÍA FIJA LOCAL EN EL PERÚ.....	28
IV.1. REGULACIÓN DE INSTALACIONES ESENCIALES.....	28
IV.2. EL CONCEPTO DE TERMINACIÓN DE LLAMADAS EN LA RED DEL SERVICIO DE TELEFONÍA FIJA LOCAL.....	29

CAPITULO V	METODOLOGÍA DE COSTOS APLICADA AL CASO DE LA TERMINACIÓN DE LLAMADAS EN LA RED DEL SERVICIO DE TELEFONÍA FIJA LOCAL EN EL PERÚ.....	32
V.1.	OPERADORES MULTIPRODUCTO.....	32
V.2.	IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE RED INVOLUCRADOS EN LA TERMINACIÓN DE LLAMADAS.....	34
V.3.	CÁLCULO DEL COSTO TOTAL.....	35
V.4.	CÁLCULO DEL CARGO POR MINUTO.....	36
V.5.	MODELO DE COSTOS UTILIZADO.....	37
CAPITULO VI	MODELO DE COSTOS PARA EL CÁLCULO DEL CARGO DE INTERCONEXIÓN POR LA TERMINACIÓN DE LLAMADAS.....	38
VI.1.	MARCO NORMATIVO QUE RESPALDA LA FIJACIÓN DE CARGOS.....	38
VI.2.	MODELO DE COSTOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CARGO DE INTERCONEXIÓN.....	41
VI.2.1.	RED DE TRANSMISIÓN.....	42
	A) TOPOLOGÍA DE LA RED DE TRANSMISIÓN.....	42
	B) TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN.....	44
VI.2.2.	RED DE CONMUTACIÓN.....	45
	A) TOPOLOGÍA DE CONMUTACIÓN DE LA RED DE VOZ.....	45
	B) DEMANDAS DE VOZ.....	48
	C) ENCAMINAMIENTO DEL SERVICIO DE VOZ.....	51
	D) DIMENSIONAMIENTO DE LOS ENLACES PARA VOZ.....	51
	E) DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE CONMUTACIÓN.....	53
	F) DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE TRANSMISIÓN.....	55
VI.2.3.	CÁLCULO DE LA INVERSIÓN.....	64
	A) CÁLCULO DE LA INVERSIÓN EN CONMUTACIÓN.....	64
	B) CÁLCULO DE LA INVERSIÓN EN TRANSMISIÓN EN CADA ENLACE.....	65
VI.2.4.	CÁLCULO DEL COSTO ANUAL.....	68
VI.2.5.	ASIGNACIÓN DEL COSTO ANUAL POR SERVICIO.....	71
VI.2.6.	CÁLCULO DEL COSTO POR MINUTO DE INTERCONEXIÓN.....	71
VI.2.7.	ESQUEMA GENERAL DEL MODELO DE COSTOS.....	71
CAPITULO VII	PROPUESTA DE MEJORA DEL MODELO DE COSTOS USADO PARA EL CÁLCULO DEL CARGO DE INTERCONEXIÓN.....	74
VII.1.	DEFICIENCIA EN LA RED DE TRANSMISIÓN.....	75

VII.2. METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE LA RED DE TRANSMISIÓN.	76
VII.2.1. PROCESAMIENTO DE LAS MÚLTIPLES ALTERNATIVAS DE CONFIGURACIÓN.....	77
VII.2.2. FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO “OPTIMUS”.	81
VII.2.3. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO “OPTIMUS”.....	90
VII.2.4. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS RESULTADOS.	90
VII.3. RESULTADOS DEL MODELO OPTIMIZADO.....	94
VII.4. REFERENCIA A OTROS ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN.	98
VII.4.1. COMPARACIÓN CON LA PROPUESTA DE LA TESIS.	103
CAPITULO VIII CONCLUSIONES	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
GLOSARIO DE TÉRMINOS	109
ANEXO I CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO “OPTIMUS”....	111
ANEXO II CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN QUE ASIGNA LOS FACTORES DE NO LINEALIDAD POR DEPARTAMENTO	121

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 7.1.- Tiempos de procesamiento para diferentes valores de “n”.....	80
Tabla N° 7.2.- Tiempos de procesamiento máximos con el módulo “OPTIMUS”	89
Tabla N° 7.3.- Factores de No Linealidad por Departamento.....	92
Tabla N° 7.4.- Factores de No Linealidad para todos los Departamentos.....	93
Tabla N° 7.5.- Diferencia de costos obtenidos entre el Modelo Optimizado y el Modelo Actual	95
Tabla N° 7.6.- Comparación de Resultados para el Departamento X	96

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 3.1.- Metodología de Arriba hacia Abajo (<i>Top-Down</i>)	23
Figura N° 3.2.- Metodología de Abajo hacia Arriba (<i>Bottom-Up</i>).....	25
Figura N° 4.1.- Interconexión de dos redes fijas locales.....	30
Figura N° 4.2.- Escenarios que involucran al cargo por terminación de llamadas en la red de telefonía fija local.....	31
Figura N° 6.1.- Topologías de Transmisión.....	44
Figura N° 6.2.- Jerarquía de la Red de Conmutación.....	46
Figura N° 6.3.- Topología de la Red de Conmutación en Provincias.....	47
Figura N° 6.4.- Topología de la Red de Conmutación en Lima.....	47
Figura N° 6.5.- Encaminamiento del Servicio de Voz.....	51
Figura N° 6.6.- Esquema de una Central Cabecera.....	54
Figura N° 6.7.- Esquema de una Unidad Remota.....	54
Figura N° 6.8.- Dimensionamiento de la Red de Transmisión.....	55
Figura N° 6.9.- Topologías con Fibra Óptica.....	58
Figura N° 6.10.-Topología con Tecnología de Radio.....	58
Figura N° 6.11.-Topología con Tecnología Satelital.....	59
Figura N° 6.12.-Dimensionamiento de Tributarios.....	62
Figura N° 6.13.-Etapas del Modelo de Costos de Fijación de Cargos de Interconexión.....	72
Figura N° 7.1.- Tramo del modelo vs tramo real de la red.....	90
Figura N° 7.2.- Configuraciones de la Red de Transmisión obtenidas con ambos modelos de costos.....	97
Figura N° 7.3.- Diagrama de un grafo con 6 vértices y 7 aristas.....	98
Figura N° 7.4.- Ejemplo de <i>Minimum Spanning Tree</i>	99

INTRODUCCIÓN

La interconexión de redes de telecomunicaciones^[1] constituye uno de los tópicos más importantes de la regulación del sector telecomunicaciones en el Perú, pues permite a los usuarios de las diferentes redes interconectadas, poder comunicarse entre sí.

Sin embargo, la interconexión de redes no sería posible sin la fijación del monto que deben pagarse los diferentes operadores por brindarse las diferentes instalaciones esenciales^[2], definidas en el contexto de la interconexión de redes y servicios.

La regulación ha establecido diversas “instalaciones esenciales” o servicios que un operador debe ofrecer a otro a cambio de una contraprestación económica a la que se denomina “cargo de interconexión”. Una de tales instalaciones esenciales y quizás la más importantes es la “terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija local”, la que permite a un operador, originar o terminar llamadas en la red de un operador del servicio de telefonía fija local.

En este contexto, el Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (en adelante “OSIPTEL”), es el encargado de establecer no sólo las reglas de la interconexión de redes y servicios, sino también los respectivos cargos de interconexión tope, aplicables a las diferentes instalaciones esenciales que se brindan en el Perú.

¹ Entendiéndose por Interconexión al conjunto de acuerdos y reglas que tienen por objeto que los usuarios de los servicios de telecomunicaciones prestados por un operador puedan comunicarse con los usuarios de servicios de telecomunicaciones de la misma naturaleza, según la clasificación legal correspondiente, prestados por otro operador. La interconexión es de interés público y social y por lo tanto es obligatoria, en los términos de la Ley, del Reglamento General, del Reglamento de OSIPTEL, del presente Reglamento y del ordenamiento legal aplicable. (Artículos 3º y 4º del Texto Único Ordenado de las Normas de interconexión, aprobado por la Resolución N° 043-2003-CD/OSIPTEL).

² Se denomina instalación esencial a toda parte de una red o servicio público de transporte de telecomunicaciones que (i) sea suministrado exclusivamente o de manera predominante por un solo proveedor o por un número limitado de proveedores; y (ii) cuya sustitución con miras al suministro de un servicio no sea factible en lo económico o en lo técnico. (Artículo 6º del Texto Único Ordenado de las Normas de Interconexión, aprobado por la Resolución N° 043-2003-CD/OSIPTEL).

Para tal fin, el OSIPTEL hace uso de modelos de costos con los que se busca determinar los costos eficientes involucrados en la prestación de la instalación esencial, lo cual conlleva a su vez, a establecer cargos de interconexión tope orientados a los costos eficientes de su provisión

Estos modelos de costos constituyen importantes herramientas para el regulador, sin los cuales no podría obtener los costos eficientes de las redes, mediante la optimización de diferentes aspectos relacionados con el dimensionamiento de los elementos de red, así como de las inversiones necesarias, con la finalidad de evitar sobre costos que pudieran dar origen a cargos de interconexión inadecuados para el mercado, perjudicando de esta manera a aquellos operadores que requieren utilizar las instalaciones esenciales provistas por otro operador, con el objetivo de brindar un servicio más adecuado a sus usuarios.

El modelo de costos más importante para la determinación de los cargos de interconexión tope en el Perú, es el que utiliza el OSIPTEL para el cálculo del cargo de interconexión tope por terminación de llamadas en la red fija del servicio de telefonía fija local.

En la evaluación de las características e importancia del modelo de costos antes referido, se identificó un aspecto técnico que podía ser mejorado con la finalidad de optimizar los cálculos de los costos de las redes de transmisión departamentales.

El modelo de costos actual utiliza, en una primera fase, el algoritmo de Prim para determinar la configuración de la red de transmisión (utilizando como único parámetro la distancia entre nodos), para posteriormente, en una segunda fase, determinar el costo de la configuración hallada. Sin embargo se ha observado que la configuración que se establece con dicho algoritmo, no necesariamente se traduce en un menor costo para la red.

La propuesta que se plantea en la presente Tesis es la de mejorar este aspecto crucial del cálculo de los costos eficientes, con la finalidad de obtener las configuraciones de red de transmisión departamentales que reflejen los menores costos eficientes para la red, y por tanto, para el cálculo del cargo de interconexión tope por terminación de llamadas en la red fija del servicio de telefonía fija local.

Lo anterior se logrará mediante la implementación del módulo “OPTIMUS”, descrito en la presente Tesis, como parte del modelo de costos actual que utiliza el OSIPTEL en la determinación del referido cargo de interconexión tope.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

I.1. ANTECEDENTES

En el marco de la interconexión de redes, el modelamiento de costos de una red tiene como objetivo principal determinar los costos eficientes que deben ser considerados por el organismo regulador, al momento de establecer un cargo de interconexión y/o tarifa mayorista, pues dicho monto será pagado por los operadores que hagan uso de la instalación esencial, cuyo cargo ha sido establecido.

La experiencia ha demostrado que por lo general, los operadores incumbentes o dominantes buscan generar sobrecostos a sus competidores a través del cobro de cargos de interconexión elevados. Asimismo, estos operadores buscan que en la fijación de los cargos se les reconozca todos los costos posibles, algunos de los cuales podrían ser costos ineficientes, de allí que la intervención del regulador en este tema es de suma importancia.

En el modelamiento de costos de una red de telefonía fija local (relacionada con la instalación esencial “terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija local”) se busca simular una red que sea lo más eficiente posible. Eficiencia no sólo desde el punto de vista de dimensionamiento técnico y aplicaciones sino sobretodo en el tema de costos, tanto de capex^[3] como de opex^[4]. Es desde esta perspectiva que los modelos de costos del tipo *bottom-up* suelen partir de uno de los siguientes dos esquemas: *scorched earth* y *scorched node*. Estos conceptos serán detallados en un capítulo posterior.

³ CAPEX: Son los gastos o costos de capital. Ver el “Glosario de Términos”.

⁴ OPEX: Son los costos operativos. Ver el “Glosario de Términos”.

En el esquema *scorched earth*, los modelos de costos parten de la premisa de que nada existe en la red de telefonía y por lo tanto debe determinarse incluso la ubicación de los nodos de conmutación, lo cual amerita un trabajo de planificación exhaustivo, partiendo de estudios de demanda con la finalidad de determinar las ubicaciones más adecuadas de los nodos de conmutación, para luego realizar el cálculo de la capacidad de conmutación así como la configuración, despliegue y capacidad de la redes de transmisión entre nodos de conmutación, en cada uno de los departamentos del país.

En el esquema *scorched node* se parte de la premisa de que las ubicaciones de los nodos de conmutación ya están dadas y lo que se busca es optimizar los demás elementos de la red, entre ellos, la red de transmisión entre nodos. Es en este último punto en donde se evalúa no sólo el aspecto tecnológico (respecto de qué tecnologías son las más convenientes para las rutas de transmisión) sino sobretodo, cuáles deben ser las configuraciones de las redes de transmisión internodales que generen los menores costos para el operador, de acuerdo a la estructura jerárquica de la red.

El enfoque de la presente Tesis está justamente dirigido a la manera en que la red de transmisión entre nodos de conmutación debe ser configurada, a fin de conseguir los menores costos de despliegue de la red, lo que a su vez se verá reflejado en menores costos involucrados en la fijación de los cargos de interconexión que debe establecer el organismo regulador, y que son pagados por los operadores que hacen uso de la instalación esencial bajo regulación.

En la medida que los cargos de interconexión de las instalaciones esenciales se orienten a los costos eficientes de su provisión, se contribuirá a generar una competencia más sana en el mercado de las telecomunicaciones en el Perú.

I.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el desarrollo de mi labor profesional como funcionario del OSIPTEL y responsable de la coordinación del Área de Costos e Interconexión de la Gerencia de Políticas Regulatorias y Competencia de dicha institución, es de gran interés mejorar las herramientas con las que cuenta la institución para el

cumplimiento de su función de fijar los diversos cargos de interconexión que requiere el mercado. En este contexto se ha observado que el modelo de costos que actualmente se utiliza para establecer el “cargo de interconexión por terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija local”, puede ser mejorado significativamente en cuanto a la forma de determinar las configuraciones (basadas en el algoritmo de Prim) de menor costo de las redes de transmisión que enlazan los nodos de conmutación de la red del servicio de telefonía fija, dentro de cada departamento del país.

Por tal motivo, la presente tesis propone una optimización de dicho modelo de costos, planteando una metodología que establezca el costo eficiente de cada red de transmisión, basada en la obtención de la configuración de la red de transmisión que genere el menor costo (económicamente más eficiente) y que, como consecuencia, reduzca los costos para el operador de la red de telefonía fija y elimine los sobre costos en la determinación del cargo de interconexión.

Con la metodología propuesta se busca mejorar el modelo de costos actualmente utilizado por el OSIPTEL y como consecuencia, contribuir a que la fijación de los cargos de interconexión reflejen cada vez más, los costos eficientes de la red real, involucrados en la provisión de las instalaciones esenciales; evitando de esta manera, que los operadores que hacen uso de las instalaciones esenciales provistas por otros operadores, paguen sobre costos innecesarios por tales prestaciones.

I.3. OBJETIVO DE LA TESIS.

Tomando en cuenta todo lo antes señalado, el objetivo que se plantea para el presente trabajo de Tesis es el siguiente:

“Proponer la mejora del Modelo de Costos utilizado en el Perú para la fijación del Cargo de Interconexión Tope por la Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local, mediante la introducción de un módulo que determine las configuraciones de las redes de transmisión, que sean económicamente eficientes (de menor costo), generando menores costos al operador que implemente la red; y evitando sobre costos al momento de determinar dicho cargo de interconexión”.

I.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.

Respecto de la estructura de la presente Tesis, luego de la introducción y de esta sección de aspectos generales, en el capítulo II se expone el marco general de la fijación de los cargos de interconexión, resaltando la importancia de que la determinación de los cargos se realice en base a los costos involucrados en su prestación.

En el capítulo III de la Tesis se exponen las metodologías para la estimación de costos así como las características de los principales modelos utilizados para la fijación de cargos, y una descripción de los costos involucrados en cada una de las metodologías de cálculo.

El capítulo IV de la Tesis presenta la definición del concepto “terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija”, descrita en la normativa peruana, resaltando los elementos involucrados en la prestación de esta instalación esencial.

Por su parte, el capítulo V, describe la metodología de costos aplicada al caso de la terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija local en el Perú.

En el capítulo VI de la Tesis se hace una exposición detallada del modelo de costos utilizado para el cálculo del Cargo de Interconexión por la Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local, el cual, para efectos de la presente Tesis será denominado como Modelo de Costos del OSIPTEL o Modelo Actual.

En el capítulo VII de la Tesis se expone el problema encontrado en el mencionado modelo, así como la propuesta de mejora del modelo que se plantea, y que es el objetivo de la presente Tesis. Se brinda, además, un detalle de la propuesta de mejora, la forma como opera el módulo de solución propuesto (denominado como módulo “OPTIMUS”), la necesidad de utilizar “factores de no linealidad”, y finalmente, los resultados obtenidos con el Modelo Optimizado (Modelo de Costos del OSIPTEL que incluye el módulo “OPTIMUS”).

Finalmente en el capítulo VIII de conclusiones, se resume la importancia de la regulación de los cargos de interconexión así como la importancia de contar con un instrumento para la regulación que permita alcanzar los objetivos encargados por la normativa al regulador, cual es, la de establecer los cargos de interconexión orientándolos a costos.

Adicionalmente se presentan las referencias bibliográficas y dos Anexos: el Anexo I contiene el código de programación del módulo "OPTIMUS" propuesta en la Tesis, en tanto que el Anexo II contiene el código de programación que asigna los "factores de no linealidad" por departamento; ambos elaborados en lenguaje de programación *Mathematica*.

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL DE LA FIJACIÓN DE CARGOS DE INTERCONEXIÓN

La evolución del sector telecomunicaciones en las últimas décadas ha originado la implementación de esquemas de competencia basados en la entrada de nuevos operadores, facilitando la introducción de mejores y nuevas prestaciones para los usuarios. Con esta finalidad, es necesario que las nuevas empresas dispongan de las instalaciones esenciales que les permitan ofrecer a sus usuarios los servicios a precios razonables.

Las mejores prácticas regulatorias han centrado su atención en el estudio de los criterios y objetivos a tener en cuenta para la fijación de los cargos de interconexión aplicables a las instalaciones esenciales. Para tales efectos, los diversos avances en materia de formalización económica se han caracterizado por la consideración de un análisis previo respecto de las características de las redes y servicios prestados, en estricto, del tipo de relación comercial que existirá entre las empresas.

En ese contexto, las políticas de promoción de la competencia efectiva conllevan a la implementación de un entorno regulatorio que garantice el acceso a las instalaciones esenciales en condiciones competitivas, asegurando además la aplicación de cargos que garanticen la expansión de las redes en el largo plazo y el adecuado funcionamiento de la prestación.

En el marco de la interconexión se distinguen dos tipos de relación entre los operadores de telecomunicaciones:

- Un primer escenario considera los acuerdos de interconexión en una sola dirección (*one-way access*), es decir, aquellas relaciones comerciales donde

el operador entrante carece de una relación directa con usuarios finales y se dedica exclusivamente al desarrollo de una función intermedia. Tal es el caso por ejemplo de la función de transporte nacional y/o internacional de comunicaciones, que es provista por las empresas portadoras de larga distancia.

- Un segundo escenario considera los acuerdos de interconexión en dos direcciones (*two-way access*), es decir, aquellas relaciones comerciales donde el operador entrante cuenta con una relación directa con sus usuarios finales, requiriendo que los mismos tengan la posibilidad de comunicarse con los usuarios conectados a la red de otro operador. Este es el caso, por ejemplo, de los operadores de servicios fijos y de servicios móviles.

Cada uno de los dos escenarios conlleva un análisis particular para su implementación. Así, en el caso de los acuerdos de interconexión en una sola dirección los estudios se centran de manera principal, en el diseño de los criterios y metodologías a seguir para la fijación de los cargos de acceso. En el caso de los acuerdos de interconexión en dos direcciones, el análisis debe incorporar supuestos adicionales respecto de la dinámica de competencia entre las distintas redes, incluyendo como temas vinculados, el problema de la doble marginalización y las posibilidades de implementación de acuerdos colusivos entre los operadores, para el control de los precios y márgenes finales.

Tomando como base los enfoques anteriores, se han desarrollado diversas teorías que tratan de definir cuál es la mejor política a seguir para la fijación de los cargos de interconexión óptimos.

Entre estas teorías^[5] se encuentran las siguientes:

- El Sistema ECPR (*Efficient Component Price Rule*).- el cual considera como cargo óptimo a la suma del costo incremental y el costo de oportunidad de la empresa establecida correspondiente al beneficio que deja de percibir por el tráfico que es provisto por los operadores entrantes.

⁵ Para un mayor detalle de los conceptos de *Efficient Component Pricing Rule* (ECPR) y *Global Price Cap* puede revisarse Laffont y Tirole (2000) y Armstrong (2002).

- El Sistema *Global Price Cap*.- el cual considera una regla de ajuste para los cargos de interconexión equivalente a un sistema de precios tope. Se conforma una canasta de servicios de interconexión y se aplica el factor de productividad, esperando que la aplicación sucesiva de los ajustes en el valor de los cargos conlleve a la estructura eficiente.
- El Sistema de Cargos Óptimos.- el cual considera la realización de un procedimiento de optimización del nivel de bienestar asociado al consumo de los diversos tipos de comunicación sujeto a la condición de que el beneficio del operador regulado es igual a cero (cobertura de los costos económicos). El modelo encuentra la estructura óptima de tarifas y cargos de interconexión (sistema de precios Ramsey).

Los procesos más formales exigen la aplicación de soluciones complejas y dependientes del uso de indicadores económicos de difícil estimación (como por ejemplo, los niveles de elasticidades directas y cruzadas), por lo que en la práctica la experiencia internacional sugiere que la mejor práctica regulatoria debe basarse en el diseño e implementación de esquemas de promoción de las condiciones de competencia considerando la fijación de cargos y precios acorde con los costos directamente atribuibles a dichas prestaciones^[6].

En este último enfoque se pueden distinguir tres ventajas^[7]:

1. Los cargos y precios basados en los costos de prestación son fáciles de implementar, siendo posible prescindir de toda la información asociada al comportamiento de la demanda y las características de los operadores entrantes.
2. Al no establecerse cargos por encima de costos se elimina cualquier incentivo para la realización de *bypass* o el despliegue de redes que podrían ser menos eficientes.

⁶ Como ejemplo puede mencionarse a la directriz de la Unión Europea en su "*Full Competition Directive*" de junio de 1997, en la cual prevé no solamente los requerimientos mínimos relacionados con el proceso de interconexión, sino también, la obligación de los operadores de redes fijas que ostenten poder significativo en el mercado de proveer interconexión a precios orientados a costos.

⁷ Para mayor detalle puede revisarse: Armstrong, M. (2002).

3. Se establecen cargos no discriminatorios, es decir, se fijan cargos que no dependen del nivel de uso que puedan realizar los operadores, evitando que el operador que provee la instalación esencial pueda discriminar entre los diversos operadores en sus relaciones de interconexión.

Por otro lado, las mejores prácticas regulatorias reconocen la existencia de potenciales problemas en la realización de los acuerdos de interconexión, especialmente porque los operadores del servicio de telefonía fija: (i) no tienen incentivos para minimizar el precio de la terminación de llamadas en sus redes; (ii) no toman en cuenta el efecto de sus cargos por terminación de llamadas en los precios minoristas de los operadores competidores (doble marginalización); y (iii) pueden sentirse incentivados a incrementar el costo de los operadores rivales y tratar de excluirlos del mercado. Tales situaciones justifican la regulación del cargo por terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija.

Existe además una segunda justificación para la regulación del cargo antes mencionado, relacionada con la necesidad de que la interconexión de las redes se efectúe sin distorsiones para el mercado. Teniendo en cuenta que, de acuerdo al marco normativo, la interconexión de las redes es de interés social para el desarrollo del sector (porque permite maximizar y aprovechar las externalidades de red), se debe garantizar que dicha interconexión se dé en condiciones competitivas y equitativas; siendo una de las formas de obtener este resultado, la regulación basada en costos de los cargos de interconexión, tomando en cuenta las características propias del mercado que se está analizando.

Es justamente en el tema de la regulación de los cargos de interconexión basada en costos, que el aspecto tecnológico de las redes de telecomunicaciones cobra una relevancia muy importante dentro del análisis de los costos involucrados en la prestación de instalaciones esenciales, en particular en el de terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija local.

Desde el punto de vista tecnológico, el análisis a realizar no sólo incluye determinar la tecnología más apropiada o más moderna que un operador debería utilizar, sino también, evaluar cómo está configurada su red (jerarquía de las redes, ubicación y cantidad de centrales o nodos de conmutación, etc.), qué tecnologías de transmisión

son las más adecuadas para unir los diferentes nodos, rutas de redundancia, entre otros.

Desde el punto de vista técnico los modelos de costos suelen utilizar dos escenarios cuando se trata de implementar redes del tipo *bottom-up* (tal como será descrito en detalle más adelante): (i) tierra quemada; y (ii) nodo quemado.

En el escenario de “tierra quemada” (o “*scorched earth*” en inglés), se parte de la premisa de que nada está construido y por tanto al modelar la red del operador se parte del supuesto de que se tiene que calcular todo, incluso la ubicación de cada una de las centrales de conmutación (en el caso del servicio de telefonía fija local) o de cada una de las estaciones base (en el caso del servicio móvil). Esta metodología por lo general no es utilizada porque en las regulaciones que realizan los países la finalidad es determinar los costos de los operadores que ya vienen brindando el servicio, de allí que por lo general se trabaja con la metodología de nodo quemado.

En el escenario de “nodo quemado” (o “*scorched node*” en inglés), la premisa que se utiliza es que los centros de conmutación o las estaciones base (según se trate del servicio de telefonía fija local o del servicio móvil) se encuentran ubicados en los lugares más adecuados para la red y por lo tanto, se mantienen como invariables en el análisis de los costos, tanto lo relacionado a cantidad como ubicación de tales elementos de red (nodos o celdas).

En los modelos de costo que utilizan la filosofía de nodo quemado, la optimización de la red viene por el lado del dimensionamiento de los centros de conmutación o las estaciones base, así como de las redes de transmisión (o transporte) que unirán las centrales cabecera con las unidades remotas (nodos de conmutación en la red del servicio de telefonía fija local) o entre las estaciones base y los centros de conmutación móvil (en el caso de los servicios móviles).

Los modelos de costos que utiliza el OSIPTEL para la evaluación y cálculo de los diferentes cargos tope de interconexión que debe establecer, se basan en la óptica de nodo quemado.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

III.1. CATEGORÍA DE COSTOS.

La mayoría de estudios de costos tiene por objetivo identificar los costos asociados a un determinado servicio. No obstante, en la práctica muchas instalaciones o elementos de la red pueden ser utilizados para la provisión conjunta de diversos servicios. Es así que en industrias de redes de servicios, diversos operadores son empresas multiproducto cuyos activos son compartidos en la provisión de diversos productos, motivo por el cual pueden generar economías de diversificación.

En este contexto, las categorías de costos consideradas en las metodologías utilizadas para determinar los costos atribuibles a un determinado servicio de interconexión son: los costos directos, los costos compartidos y los costos comunes^[8].

III.1.1. COSTOS DIRECTOS.

Los costos directos constituyen aquellos costos en los que un operador incurre directamente cuando produce un servicio en particular o un conjunto de servicios o productos. En consecuencia, los costos directamente atribuibles a un determinado producto dejarán de existir si es que el operador decide no seguir produciéndolo. Estos costos pueden ser clasificados a su vez en costos fijos y variables.

Los costos fijos representan la proporción de los costos de una empresa que no dependen o no varían con el nivel de actividad de la misma. Estos

⁸ Para una revisión conceptual más detallada ver Nomba, et. al. (2003) y Unión Internacional de Telecomunicaciones (2004).

pueden incluir los costos de inversión en capacidad de producción y otros gastos de inversión previos al inicio de las operaciones de una empresa.

En el largo plazo, en caso haya un aumento considerable en el nivel de producción de una empresa, los costos fijos también podrían modificarse como resultado del ajuste en su capacidad productiva.

En resumen, los costos fijos directamente atribuibles a un servicio se generan cuando la inversión y los gastos realizados son dedicados exclusivamente a la provisión de dicho servicio.

En cuanto a los costos variables, estos están estrechamente relacionados con el nivel y el desarrollo de la producción de una empresa. En este sentido, cuando alguna operación productiva es detenida, el componente de costo variable correspondiente desaparecerá. Asimismo, cuando las operaciones se incrementan, los costos variables también se incrementarán.

Resumiendo, los costos variables directos son aquellos que cambian directamente en función a la provisión de dicho servicio o producto.

III.1.2. COSTOS COMPARTIDOS.

Este tipo de costos corresponden a los equipos u operaciones implicados en la provisión de más de un tipo de servicio a la vez.

Algunos ejemplos de estos costos son: los circuitos, las centrales de conmutación, equipos diversos, los gastos de operación y mantenimiento, los gastos de personal, entre otros.

Los modelos buscan asignar estos costos compartidos entre los diferentes servicios involucrados.

III.1.3. COSTOS COMUNES.

A diferencia de los costos compartidos que están asociados a múltiples servicios, los costos comunes no están vinculados con la prestación de algún servicio en particular. Generalmente los costos comunes están

conformados por gastos administrativos incurridos al soportar la red en su conjunto.

Entre estos costos se encuentran: los gastos de personal utilizado en la gestión corporativa, los costos de servicio al cliente, los costos de comercialización y los gastos generales por suministros, las consultorías externas.

III.2. COSTOS DE INTERCONEXIÓN.

Una herramienta fundamental para la eficacia de las políticas que implementan los organismos reguladores lo constituye la medición de los costos de interconexión.

El objetivo de los estudios de costos consiste en establecer valores que se aproximen en forma razonable a los costos reales de interconexión. Para tal fin, los reguladores deben utilizar adecuadamente los instrumentos que tengan a su alcance.

Actualmente existen diversas metodologías de costeo que han sido elaboradas tomando en cuenta los principios económicos, las perspectivas teóricas y la mayor o menor disponibilidad de datos.

A continuación se describen dos aspectos fundamentales en el análisis de costos: los marcos teóricos que se han desarrollado para la medición de costos y las aplicaciones metodológicas utilizadas para calcular los costos de interconexión.

III.2.1. MARCO CONCEPTUAL.

Como ya fuera mencionado, la elección de un determinado marco teórico por parte del regulador dependerá de varios factores, como por ejemplo: la política regulatoria, los principios económicos y el tipo de información que se tenga disponible.

Es importante señalar que de todas las perspectivas existentes no hay una que necesariamente sea exacta. En cambio, de acuerdo a las condiciones

prácticas, cada perspectiva podría tener un grado de utilidad y arrojar resultados razonables^[9].

Existen dos marcos teóricos que son utilizados con mayor frecuencia por los organismos reguladores y que están relacionados con los siguientes conceptos: costos totalmente distribuidos y costos incrementales.

a) Costos Históricos y Costos Totalmente Distribuidos.

Este planteamiento considera dos conceptos diferentes que generalmente son combinados al realizar un análisis de costos.

En primer lugar, se consideran los costos en los que el operador ya ha incurrido en un determinado instante de tiempo, los cuales generalmente son extraídos de sus libros de contabilidad (a través de un sistema de contabilidad regulatoria adecuado). Tal información contable debería reflejar los gastos reales por adquisiciones, para lo cual se realizan procedimientos de auditoría con el fin de verificar la autenticidad de dicha información.

En segundo lugar, este planteamiento propone la identificación de los costos directamente atribuibles a cada servicio sometido a estudio y, a la vez, la asignación de una fracción de los costos compartidos y comunes de la empresa, utilizando el siguiente criterio:

$$a = C_0 + \left(\frac{F}{Q} \right) \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:

- a : Cargo de interconexión.
- C₀ : Costo marginal del servicio en estudio.
- F : Costos comunes y/o compartidos.
- Q : Cantidad total de producción de todos los servicios.

⁹ Unión Internacional de Telecomunicaciones (2004).

En fórmula anterior, los componentes tienen el siguiente significado:

- El costo marginal del servicio (C_0) está referido al incremento en el costo total (suma de los costos de todos los factores utilizados en la producción del servicio o del bien), que resulta de producir una unidad adicional de un bien o servicio^[10].
- Los costos comunes y/o compartidos (F) están definidos en los puntos III.1.2 y III.1.3 anteriores.
- La cantidad total de producción de todos los servicios (Q) en el marco de las telecomunicaciones, está referida a todos los servicios que una empresa multiproducto ofrece al mercado utilizando la misma infraestructura.

Lo que la fórmula (3.1) indica es que el cargo de interconexión relacionado con el servicio (instalación esencial) que está bajo estudio (en este caso la terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija local), tendrá un componente relacionado con el costo de atender un minuto más de terminación de llamadas más una fracción dada por la relación entre los costos comunes y/o compartidos y todos los servicios brindados por la empresa (terminación de llamadas, transporte conmutado local, comercialización minorista, etc.).

La ventaja de este marco teórico está en su fácil implementación, estando al alcance de la mayoría de los organismos reguladores debido a que los datos que se requieren se encuentran por lo general disponibles.

Desde el punto de vista de los operadores, este planteamiento les permite cubrir la totalidad de los costos en los que efectivamente han incurrido.

Por otro lado, la desventaja principal que presenta este marco es que no genera los incentivos para que los operadores reduzcan sus costos de

¹⁰ Texto "Economía para todos" Texto y guía de consulta. Editorial Bruño. Instituto Apoyo (1999). Página 98.

producción, dado que considera las inversiones ya realizadas y no toma en cuenta las nuevas tecnologías que deberían ser adoptadas por el operador para mejorar su eficiencia productiva.

Asimismo, este planteamiento establece precios de interconexión que reflejan las imprecisiones que los operadores tienen cuando realizan la asignación de los costos comunes y los costos compartidos en sus sistemas de contabilidad. Debido a ello, la distribución de costos podría realizarse en forma arbitraria, pues no responde necesariamente a una estructura óptima de precios que maximice el bienestar social.

Por lo antes señalado, algunos países que empleaban modelos basados en costos históricos y que distribuían contablemente los costos comunes y los costos compartidos, han cambiado completamente de perspectiva o, en su defecto, están empezando a implementar modelos híbridos que integran otros principios económicos^[11].

b) Costos Prospectivos y Costos Incrementales (LRIC).

El enfoque de costos incrementales de largo plazo (*Long Run Incremental Cost* o LRIC) propone la estimación de los costos adicionales (incrementales) incurridos por un operador al producir un servicio, tomando en cuenta los costos en los que ya incurre al producir un portafolio de otros servicios.

Por lo general estos costos son prospectivos (*forward looking*) porque al considerar la tecnología de producción más eficiente, buscan reflejar los costos que deberían tener los operadores en el largo plazo, acorde con sus proyecciones de demanda y capacidad de red. Sus características son:

- Estimación de los costos totales. Directamente atribuibles, costos compartidos y contribución a los costos comunes.

¹¹ Sobre este tema ver Unión Internacional de Telecomunicaciones (2004).

- Enfoque de costos Incrementales. Dimensionamiento de redes que inician desde cero.
- Enfoque de Largo Plazo. Retribución de las inversiones en función a la vida útil y el costo de oportunidad del capital.
- Análisis de costos por elemento o componente de las redes. Replicabilidad del enfoque a nivel de cada elemento de red.
- Especificación de las tecnologías más eficientes bajo una visión de largo plazo.
- Especificación y tratamiento de los niveles de calidad.

La ventaja de este enfoque consiste en que toma en cuenta las ganancias en productividad que los operadores pudieran tener debido a la evolución tecnológica, por lo cual su implementación impide que los operadores obtengan ganancias excesivas por la provisión del servicio de interconexión. Asimismo, al basarse en costos prospectivos, este esquema incentiva a los operadores de telecomunicaciones a mejorar su eficiencia productiva.

La desventaja de este marco teórico es que los costos incrementales no toman en cuenta los costos generales o comunes del operador, que no varían directamente con la provisión de los servicios de interconexión, por lo cual, arrojan resultados inferiores a los costos totales reales del operador.

Para solucionar el problema antes mencionado, muchos organismos reguladores que utilizan los costos incrementales, introducen un margen razonable en el valor de los precios de interconexión, lo cual hace posible que una fracción de los ingresos por servicios de interconexión pueda contribuir a sufragar los costos comunes de la empresa. Esta alternativa de solución se expresa de la siguiente manera^[12]:

¹² Para una revisión extensa del marco teórico en materia de precios de acceso puede consultarse Laffont y Tirole (2000, 1994) y Armstrong (1996, 2002).

$$a_i = LRIC_i + \mu \dots\dots\dots(3.2)$$

Donde:

- a_i : Cargo de interconexión.
- $LRIC_i$: Costos incrementales de largo plazo.
- μ : Margen de contribución a los costos comunes (*mark-up*)

En la fórmula anterior, la obtención del cargo de interconexión para el servicio “*i*”, está relacionada con dos componentes: (i) $LRIC_i$, que representa la estimación de los costos adicionales (incrementales) incurridos por un operador al producir un servicio “*i*”, tomando en cuenta los costos en los que ya incurre al producir un portafolio de otros servicios; y (ii) μ , que es obtenido como un porcentaje del $LRIC_i$, destinado a reconocer los costos comunes de producir varios servicios, entre ellos el servicio “*i*” bajo análisis. Este porcentaje (o *mark-up*) es generalmente obtenido de experiencias regulatorias de otros países.

Desde el punto de vista económico, el uso de costos prospectivos y costos incrementales de largo plazo es considerado como el medio más eficaz, desde un punto de vista económico, para fijar cargos de interconexión que reflejen un mercado de acceso verdaderamente competitivo. Debido a ello, este planteamiento es considerado como mejor práctica regulatoria y está siendo adoptado por muchos países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo^[13].

El regulador de los Estados Unidos de América, la *Federal Communications Commission* – FCC, distinguió dos conceptos a nivel de costos incrementales: el Costo Incremental Total de Largo Plazo por Servicios o TSLRIC (*Total Service Long Run Incremental Cost*) y el Costo Incremental Total de Largo Plazo por Elemento o TELRIC (*Total Element Long Run Incremental Cost*).

El TSLRIC está referido al costo incremental promedio generado al incorporar un nuevo servicio, por esta razón, es equivalente al cambio en

¹³ Ver Unión Internacional de Telecomunicaciones (2004).

el costo total resultante de adicionar el monto total del nuevo servicio a los actualmente ofrecidos por el operador, manteniendo constantes estos últimos. En otras palabras, el TSLRIC mide la diferencia entre producir el servicio y no producirlo.

Por su parte, el TELRIC permite la determinación individual del costo de los componentes principales de la red (*unbundled network components*) como por ejemplo, las centrales de conmutación local o el bucle de abonado. De esta forma se permite al operador entrante comprar los elementos individuales para luego proveer con dichos elementos, los servicios a sus usuarios.

III.3. METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE COSTOS.

En relación con la implementación de los modelos de costos existen dos metodologías generales para la medición de los costos de interconexión que pueden ser utilizadas en forma separada o combinada:

- Método de arriba hacia abajo (*top-down*).
- Método de abajo hacia arriba (*bottom-up*)

A continuación se exponen las principales características de estos métodos.

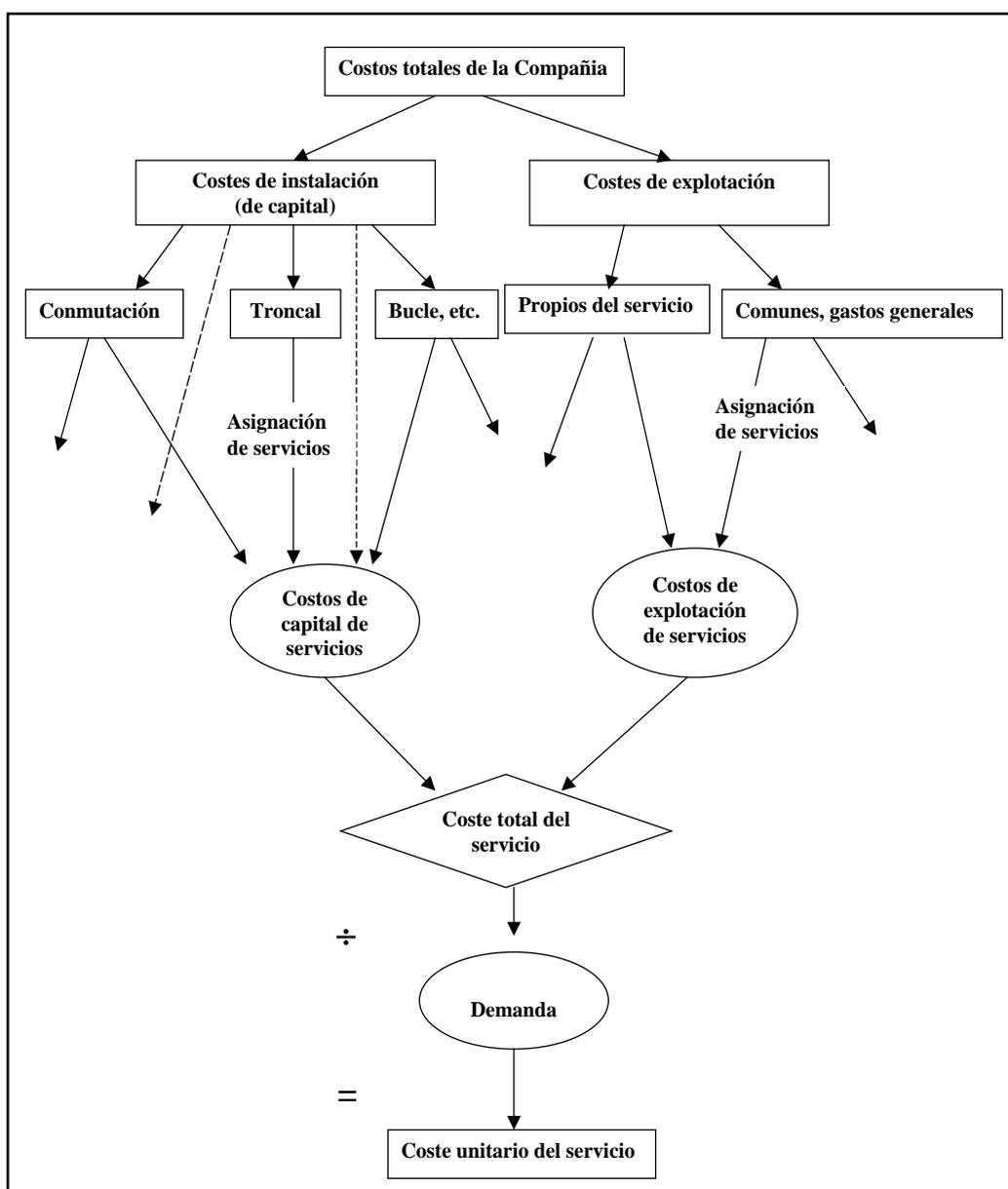
III.3.1. MÉTODO DE ARRIBA HACIA ABAJO (*TOP-DOWN*).

La metodología de arriba hacia abajo o método *Top-Down* considera los costos globales de toda la empresa, los cuales son asignados o distribuidos entre los diferentes servicios prestados por el operador. Esto quiere decir que se parte de la información de costos agregada y se implementan mecanismos de asignación para identificar los costos asociados a categorías de menor agregación.

Por lo general, los costos globales se obtienen a partir de información contable de las empresas, presentada bajo ciertos parámetros establecidos por el organismo regulador (mediante un proceso de contabilidad regulatoria).

Una de las características de esta metodología es que al utilizar los datos de la contabilidad, asegura que se tomen en cuenta los costos en que efectivamente incurrieron los operadores. Asimismo, los costos globales de los operadores por lo general se encuentran disponibles, a diferencia de los datos requeridos para la metodología *Bottom-Up* (información por elementos de la red) que no siempre se encuentran al alcance de los organismos reguladores. La Figura N° 3.1 muestra en forma esquemática la aplicación de la metodología *Top-Down*.

Figura N° 3.1.- Metodología de Arriba hacia Abajo (*Top-Down*)



Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones (2004).

La principal desventaja al aplicar este método de costeo es que existe la dificultad de determinar un criterio de asignación de costos que pueda ser justificado desde una perspectiva económica. Esto lleva a que se adopten criterios de asignación que a veces suelen resultar arbitrarios.

Por otro lado, considerando que se utiliza información de los costos efectivamente incurridos por los operadores, no necesariamente se incentiva a la eficiencia. El operador no tiene los incentivos para reducir sus costos y sus ineficiencias, reflejadas en sus costos totales, resultan siendo íntegramente retribuidas.

III.3.2. MÉTODO DE ABAJO HACIA ARRIBA (*BOTTOM-UP*).

Con base en la información de demanda, se dimensiona y costea cada uno de los componentes de la red de telecomunicaciones.

Estos modelos son desarrollados en plataformas computacionales y son conocidos como modelos de ingeniería debido a la importancia del aspecto técnico en cuanto a diseño y dimensionamiento de redes para poder desarrollar el modelo de costos.

Estos modelos dimensionan y determinan el costo de cada elemento de la red y van implementando procesos paralelos de agrupación. De esta manera, es posible identificar los costos asociados al área cubierta por cada central de conmutación (o área de influencia de la central de conmutación), el costo por localidades, el costo por provincias, el costo por departamentos y el costo nacional.

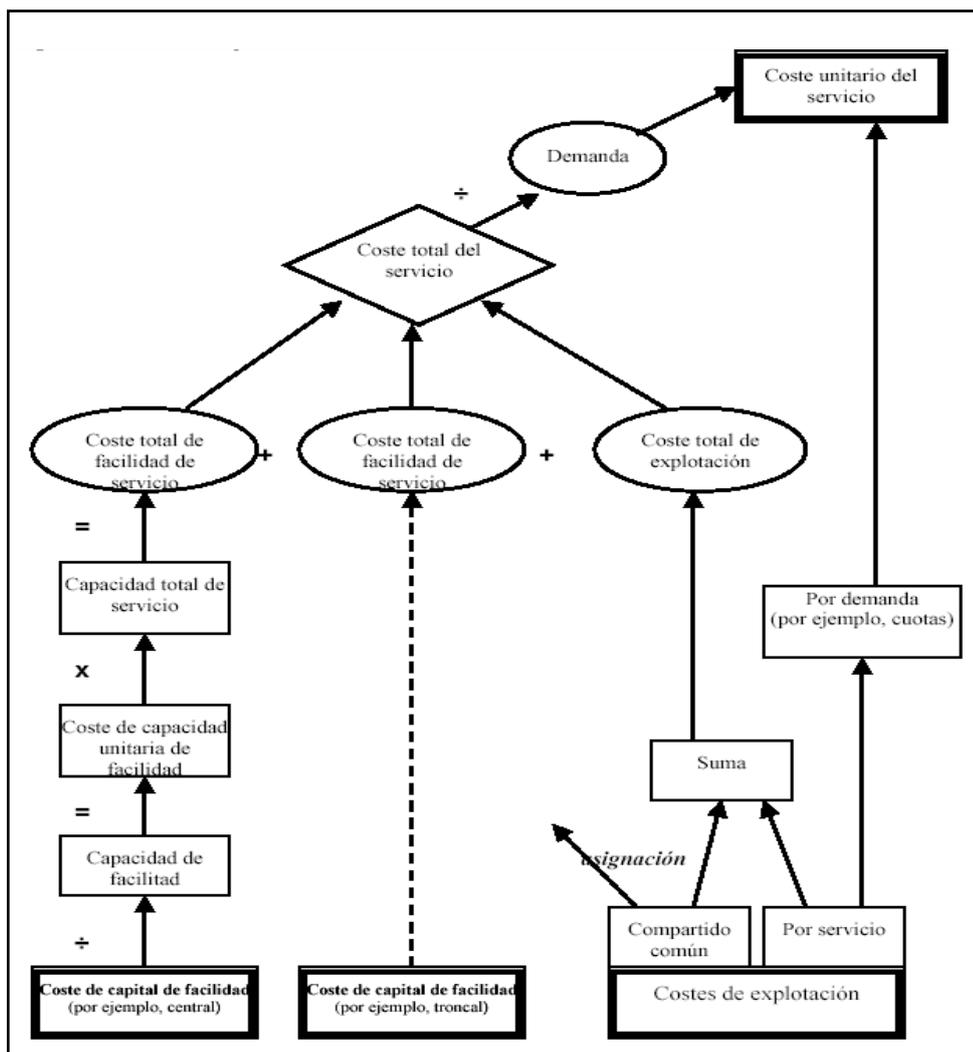
El método *Bottom-Up* basa su concepción en el supuesto de que los costos de un servicio pueden ser identificados a partir de los elementos e instalaciones necesarios para proporcionar dicho servicio. Por tanto, la metodología *Bottom-Up* reproduce los costos en los que incurriría un operador si el sistema de producción fuese reconstruido en la fecha del cálculo.

En cuando a la información de costos, este método puede utilizar tanto costos históricos como costos incrementales prospectivos. Esto dependerá de la información y los datos que tengan disponible el organismo regulador y los operadores de telecomunicaciones.

De otro lado, la eficacia de este método dependerá de la disponibilidad de datos completos y desagregados sobre los costos de cada elemento y de la utilización relativa de cada instalación en la prestación de los diferentes servicios.

En la Figura N° 3.2 se muestra en forma esquemática la aplicación de la metodología *Bottom-Up*.

Figura N° 3.2.- Metodología de Abajo hacia Arriba (*Bottom-Up*)



Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones (2004).

Debido a las desventajas descritas para el caso de la metodología *Top-Down*, la mejor práctica regulatoria es aquella que se basa en el uso de modelos de costos, es decir, en la aplicación de la metodología *Bottom-Up*. La metodología *Top-Down* es utilizada como una herramienta de comprobación y comparación del análisis de costos incrementales.

Un modelo de costos que replique de manera eficiente la red, puede identificar con mayor rigor, las posibles distorsiones que no son observadas en el sistema contable.

Adicionalmente, mediante la realización de modelos de costos, el regulador tiene la posibilidad de contar con una mayor información y conocimiento de la red del operador y del funcionamiento de los servicios provistos por éste.

Los modelos *Bottom-Up* constituyen una metodología más rigurosa y técnicamente más compleja que los modelo *Top-Down*.

En la construcción de un modelo de costos del tipo *Bottom-Up* se puede partir de la red actualmente utilizada por el operador dominante sujeto a regulación (principal operador en el mercado) e introducir mejoras de eficiencia en el diseño de dicha red, eliminando todas las centrales analógicas (que impiden la competencia y la interconexión con los operadores entrantes) y dimensionando la red de una manera eficiente de tal manera que no se encuentre sobredimensionada. Un modelo *Bottom-Up* de estas características estaría basado en los nodos del operador dominante (es decir, nodos ya existentes), sobre los que se introducirían determinadas mejoras de eficiencia. Este escenario es conocido como “*scorched node*” (o “nodo quemado”).

Otro tipo de modelos *Bottom-Up* son los que definen una red eficiente desde un punto de vista estrictamente teórico y por tanto construyen desde cero una red de telecomunicaciones y estiman los costos de la prestación de servicios bajo esta red. Este escenario es conocido como “*scorched earth*” (o “tierra quemada”).

Ambos escenarios introducen determinadas hipótesis que tienen grandes efectos sobre la propia red y en consecuencia sobre los resultados finales del modelo. Por tanto, es preciso analizar estas hipótesis y los supuestos ya que pueden tener efectos distorsionadores sobre los costos de interconexión de los distintos servicios y como consecuencia sobre los cargos de interconexión fijados por el regulador.

En cualquier caso, es muy importante tomar en cuenta que estos modelos establecen únicamente precios de interconexión mínimos que pudieran no incentivar la inversión en redes de los operadores entrantes o no cubrir todos los costos involucrados, a menos que se establezcan unos *mark-ups* que permitan cubrir la totalidad de los costos de producción (fijos y variables).

En el caso particular de los modelos de costos que utiliza el OSIPTEL para la fijación o revisión de los cargos de interconexión, y sobre el que se está proponiendo la mejora motivo de la presente Tesis, es un modelo del tipo *bottom-up*, bajo un escenario de nodo quemado (*scorched node*), esto es, partiendo de una red existente sobre la cual se realizan labores de optimización y determinación de los costos eficientes para la prestación de la terminación de llamadas (instalación esencial bajo análisis).

CAPÍTULO IV

LA TERMINACIÓN DE LLAMADAS EN LA RED DEL SERVICIO DE TELEFONÍA FIJA LOCAL EN EL PERÚ

IV.1. REGULACIÓN DE INSTALACIONES ESENCIALES.

En el contexto de una industria liberalizada, esto es, abierta a la competencia, la política de interconexión constituye la base para promover y facilitar la competencia entre operadores, dentro del sector de las telecomunicaciones. Esta política suele basarse en dos aspectos fundamentales que son:

- El desarrollo normativo; relacionado con el reglamento de interconexión y la aprobación de contratos y mandatos de interconexión.
- La regulación del costo asociado al uso de las facilidades esenciales; relacionado con la fijación de los cargos de interconexión.

Dentro del marco antes señalado, el OSIPTEL ha desarrollado una política para permitir el acceso efectivo a las instalaciones esenciales o insumos de red, siendo la terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija, una de las instalaciones esenciales más importantes del mercado, y por ende, el cargo de interconexión tope por terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija constituye el cargo más representativo dentro de las políticas de acceso al mercado por parte de los operadores, y uno de los referentes más importantes en materia de fijación de cargos de interconexión en el Perú.

El acceso a las instalaciones esenciales constituye la base para promover la competencia dentro del sector telecomunicaciones. En ausencia de regulación las empresas se encontrarían expuestas a posibles dilataciones injustificadas en los procesos de interconexión y al posible establecimiento de pagos excesivos por el uso de dichas instalaciones.

De igual manera, en caso de ausencia de regulación las empresas competidoras enfrentarían serias desventajas competitivas al no poder homologar las estructuras y niveles de tarifas de las empresas dominantes pues si bien los competidores tienen que pagar necesariamente los cargos de interconexión, es muy difícil verificar si las empresas dominantes se están imputando costos inferiores, dado que se trata de empresas verticalmente integradas (compiten en la prestación de varios servicios en el mercado y son proveedores de las instalaciones esenciales).

En ese sentido, la regulación de los cargo de interconexión tope basados en costos otorga a aquellos operadores que utilicen dichas instalaciones, condiciones más favorables para la prestación de sus servicios.

IV.2. EL CONCEPTO DE TERMINACIÓN DE LLAMADAS EN LA RED DEL SERVICIO DE TELEFONÍA FIJA LOCAL.

El Anexo 2º “Instalaciones Esenciales” del Texto Único Ordenado de las Normas de Interconexión^[14] definen el concepto de “Terminación de Llamadas” como el completamiento o la originación de una comunicación conmutada, hacia o desde el cliente de una red, incluyendo su señalización correspondiente.

Por su parte, los Lineamientos de Políticas de Apertura del Mercado de Telecomunicaciones en el Perú^[15] señalan que la Terminación de Llamadas incluye la conmutación e información de señalización y tasación necesarias. La Terminación de Llamadas supone la posibilidad de completar las llamadas originadas desde y hacia la red del solicitante de la interconexión hacia y desde la red del operador al que se le solicita la interconexión en el área local donde ambos tengan infraestructura propia ya instalada.

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, en toda comunicación de voz que tiene como origen o como destino una red de telefonía fija, existe un conjunto determinado de costos que deben ser cubiertos, como los costos

¹⁴ Aprobado por Resolución N° 043-2003-CD/OSIPTEL.

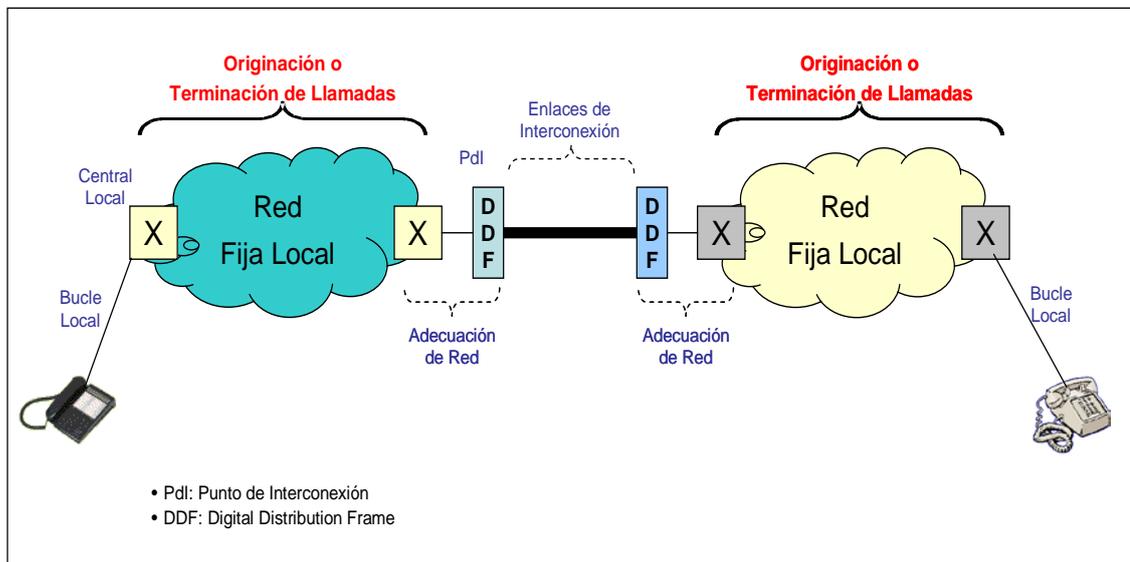
¹⁵ Aprobado por Decreto Supremo N° 020-98-MTC y sus modificatorias.

asociados a los elementos de red, los costos de operación y mantenimiento y los costos de soporte.

Considerando que todo servicio o prestación debe ser retribuido, es necesario en primer lugar, identificar los diversos componentes que son utilizados para poder realizar dicha prestación.

Al respecto, la normativa vigente considera que la terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija, implica todos los elementos de red, desde la central que sirve para la interconexión, hasta la central del abonado, sin incluir el bucle local. Esto se muestra en la Figura N° 4.1:

Figura N° 4.1.- Interconexión de dos redes fijas locales



Fuente: OSIPTEL.

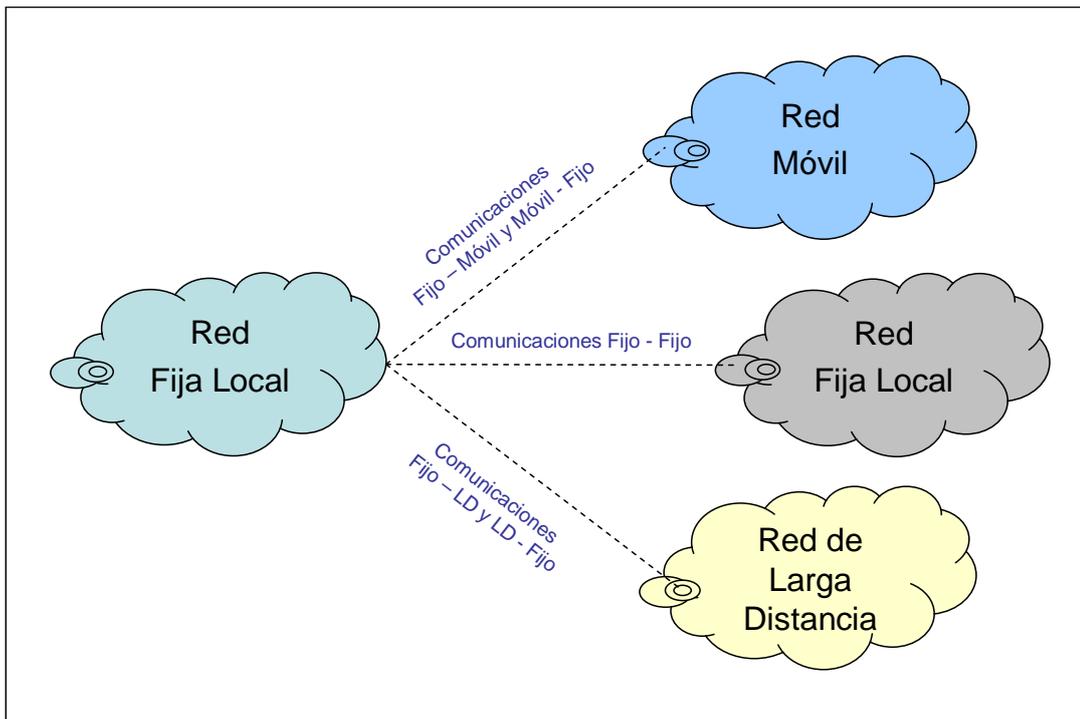
Los costos de estos elementos deben ser tomados en cuenta en la fijación del cargo de interconexión tope por terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija^[16].

El concepto de terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija se encuentra presente en las relaciones de interconexión entre un operador fijo y un operador de larga distancia, entre un operador fijo y un operador móvil y

¹⁶ Denominándose así al pago que realizan los operadores de telecomunicaciones a los operadores de telefonía fija, por la originación y/o terminación de comunicaciones en las redes de telefonía fija local de estos últimos.

entre dos operadores fijos. Esto significa que el cargo de interconexión por este concepto es pagado en los escenarios de llamadas: fijo – LD, LD – fijo, fijo – móvil, móvil – fijo, fijo – fijo, tal como se muestra en la Figura N° 4.2.

Figura N° 4.2.- Escenarios que involucran al cargo por terminación de llamadas en la red fija



Fuente: OSIPTEL.

La fijación del mencionado cargo de interconexión es realizada por el OSIPTEL, en base a un proceso cuyas etapas han sido establecidas en el Procedimiento para la Fijación y/o Revisión de Cargos de Interconexión^[17]. Para tal fin, el OSIPTEL utiliza un modelo de costos basado en la teoría de estimación de costos que se describe en el capítulo “Metodologías para la estimación de costos” de la presente Tesis.

¹⁷ Aprobado mediante la Resolución N° 123-2003-CD/OSIPTEL.

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA DE COSTOS APLICADA AL CASO DE LA TERMINACIÓN DE LLAMADAS EN LA RED DEL SERVICIO DE TELEFONÍA FIJA LOCAL EN EL PERÚ

V.1. OPERADORES MULTIPRODUCTO.

En términos generales, la práctica internacional relacionada con la estimación de cargos de interconexión lleva a la implementación de herramientas cada vez más sofisticadas para un adecuado cálculo.

En esa línea, en la evolución de las técnicas para calcular cargos de interconexión se ha dejado de utilizar los mecanismos de comparación internacional, limitándolo sólo a casos muy concretos como la falta de información de costos; para pasar a herramientas de modelación (modelos de costos) que determinan los costos de los distintos elementos e instalaciones de la red.

Dentro de ese marco, el uso de modelos de costos también ha evolucionado, para pasar de una modelación de costos por prestaciones (es decir, un modelo de costos independiente para cada servicio de interconexión), a un modelo de costos que integra las distintas prestaciones que provee un operador.

El enfoque de incorporar en un único modelo los costos de un operador de telecomunicaciones, es consistente con la realidad, en el sentido de que los operadores se caracterizan por ser empresas multiproducto, por lo cual, la estimación de una determinada prestación bajo el marco de un modelo de costos integral (que integra las demandas de los diferentes productos que ofrece el operador), refleja mejor y calcula de manera más adecuada, los costos reales eficientes.

Las empresas multiproducto son operadores que proveen diversos servicios y poseen una función de producción que tiene la siguiente forma:

$$f(\bar{X}) \rightarrow \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5.1)$$

Donde:

- f : Función de producción de una empresa multiproducto.
- X : Vector de factores de producción.
- Y₁ : Servicio 1.
- Y₂ : Servicio 2.
- Y_N : Servicio N.

Esta función de producción representa la relación que existe entre los servicios brindados (Y₁, Y₂,..., Y_N) y la combinación de factores de producción (X) que se utilizan en su obtención. El vector de factores de producción (\bar{X}) está constituido por los diferentes insumos utilizados por las empresas multiproductos, para la producción de los servicios que brinda.

La función de costos de los operadores puede ser esquematizada de la siguiente manera:

$$C(Y_1, Y_2, \dots, Y_N) = \sum_{j=1}^m (w_j x_j) \dots\dots\dots(5.2)$$

Donde:

- m : Número de elementos de red.
- N : Número de servicios.
- w_j : Precio del elemento de red j.
- x_j : Cantidad del elemento de red j.

En la función de costos anterior, el número de elementos de red (m) está referido al total de elementos que conforman la red bajo análisis. El número de servicios (N) representa todos los servicios que pueden ser prestados por la

red como por ejemplo, la terminación de llamadas, el transporte conmutado de larga distancia, el alquiler de circuitos, etc. El parámetro “ x_j ” representa el número de elementos de un determinado tipo, por ejemplo, la cantidad de equipos de transmisión SDH^[18] de cierta capacidad, que forma parte de la red de transporte de microondas de la empresa. Finalmente, el parámetro “ w_j ”, representa el precio de dicho elemento, en el ejemplo, el precio del equipo de transmisión SDH.

La Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local constituye uno de los servicios que son provistos por algunos operadores multiproducto, conjuntamente con otros servicios. Tal como ha sido señalado en párrafos anteriores, este servicio constituye una instalación esencial cuyo cargo de interconexión debe estar basado en los costos eficientes de su provisión.

V.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE RED INVOLUCRADOS EN LA TERMINACIÓN DE LLAMADAS.

En el Perú, las áreas locales para el servicio de telefonía fija local son los departamentos. Al interior de cada departamento existen elementos de conmutación o centrales y elementos de transmisión que unen estas centrales. Las centrales de conmutación mantienen una jerarquía conformada por una Central Cabecera^[19] que cumple la función de central de tránsito o “Central Tándem”, la cual sirve también como punto de interconexión (PDI) con las redes de otros operadores en el departamento. Adicionalmente, como parte de la jerarquía de conmutación se encuentran las unidades remotas que están asociadas a las Centrales Cabecera.

De acuerdo con la normativa peruana, el concepto de Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local, considera todos los elementos de conmutación y transmisión de la red local, entre la central local a la que pertenece el abonado llamante o llamado hasta la central que sirve

¹⁸ *Synchronous Digital Hierarchy* o Jerarquía Digital Síncrona.

¹⁹ Centrales que atienden una cierta zona dentro de un área local. Puede contar con unidades remotas, cuya gestión la realiza la Central Cabecera.

como punto de interconexión. No incluye el bucle de abonado. Dentro de este marco, la fijación del cargo de interconexión para el concepto antes indicado, toma en cuenta los costos de los elementos de conmutación (excluyendo el bucle de abonado) y los elementos de transmisión.

A fin de cumplir lo antes descrito, es necesario identificar qué elementos de la red están involucrados en la Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local. A nivel agregado, la red de telefonía fija local tiene los siguientes componentes:

- **Red de Acceso.-** Cuya función es la de conectar al usuario de la red con los distintos elementos que permitirán que sus comunicaciones sean enrutadas y transportadas a otros usuarios.
- **Red de Conmutación.-** Cuya función es la procesar la información de los usuarios a los cuales ellos se conectan, así como el establecer la ruta por donde se transportarán sus llamadas.
- **Red de Transmisión.-** Cuya función es la de conectar los distintos elementos de la red de conmutación.

Para el establecimiento del cargo de interconexión tope por Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local, no se incluye el costo de los elementos de la red de acceso, por cuanto estos no intervienen en la provisión de la instalación esencial, siendo retribuido mediante otros mecanismos. En consecuencia, los elementos cuyos costos deben formar parte del cálculo del cargo de interconexión, son las centrales de conmutación y los medios de transmisión que conforman la red de transporte entre las diferentes centrales. Estos elementos de red deben ser dimensionados en cada uno de los departamentos. Este proceso es realizado en el Modelo de Costos, cuya descripción se presenta más adelante.

V.3. CÁLCULO DEL COSTO TOTAL.

Realizado el dimensionamiento de los elementos de la red a nivel de área local (departamento), el paso siguiente es calcular la inversión de cada una de las

redes locales, la cual estará conformada por la inversión en conmutación y la inversión en transmisión.

A las inversiones anteriores se debe agregar la inversión en soporte de red, la que generalmente es calculada como un porcentaje de la inversión en red (conmutación más transmisión). La inversión en soporte incluye los costos de edificios, energía, vehículos, aire acondicionado y sistemas informáticos.

Las inversiones anteriores son luego anualizadas, obteniéndose el gasto anual debido a las inversiones en conmutación, transmisión y soporte. A estos gastos anuales se agregan los siguientes gastos: operación y mantenimiento de red, operación y mantenimiento de soporte, *overhead*.

Por lo general, los modelos de costos suelen determinar los gastos anuales de operación y mantenimiento y los de *overhead* como un porcentaje de las inversiones realizadas. La suma de todos los gastos anuales (red, soporte, operación y mantenimiento, y *overhead*) dará el costo anual total de la red local en el departamento bajo análisis.

$$CT_{D_i} = GAcx_{D_i} + GAtx_{D_i} + GAsoporte_{D_i} + O\&M_{cx_{D_i}} + O\&M_{tx_{D_i}} + O\&M_{soporte_{D_i}} + Overhead \dots(5.3)$$

Donde:

- $GAcx_{D_i}$: Gasto Anual por Conmutación del Departamento i.
- $GAtx_{D_i}$: Gasto Anual por Transmisión del Departamento i.
- $GAsoporte_{D_i}$: Gasto Anual por Soporte del Departamento i.
- $O\&M_{cx_{D_i}}$: Operación y Mantenimiento de la Conmutación del Dpto i.
- $O\&M_{tx_{D_i}}$: Operación y Mantenimiento de la Transmisión del Dpto i.
- $O\&M_{soporte_{D_i}}$: Operación y Mantenimiento del Soporte del Dpto i.
- *Overhead* : Porcentaje por gastos administrativos.

Esta operación se realiza para cada una de las 24 áreas locales (departamentos).

V.4. CÁLCULO DEL CARGO POR MINUTO.

Con el Costo Anual Total de cada área local (CT_{D_i}) y los minutos de uso anual cursados en dicha área local, se obtiene el valor del costo por minuto en dicho

departamento. Esta operación es realizada para todas las áreas locales, utilizando la expresión que a continuación se indica:

$$Cm_{D_i} = \frac{CT_{D_i}}{M_{D_i}} \dots\dots\dots(5.4)$$

Donde:

- Cm_{D_i} : Costo por minuto del Departamento i.
- CT_{D_i} : Costo Total del Departamento i.
- M_{D_i} : Minutos de Uso Anual del Departamento i.

Los 24 valores obtenidos son luego ponderados por los minutos de uso anual de las 24 áreas locales, obteniéndose un único valor por minuto a nivel nacional, el cual constituye el Cargo de Interconexión por Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local.

$$\text{Cargo} = \frac{\sum_1^{24} (Cm_{D_i} * M_{D_i})}{\sum_1^{24} M_{D_i}} \dots\dots\dots(5.5)$$

V.5. MODELO DE COSTOS UTILIZADO.

Todo el proceso antes descrito es llevado a cabo por el OSIPTEL, mediante el uso de un Modelo de Costos que utiliza la metodología *Bottom-Up*. La descripción en detalle del mencionado modelo se realizará en un capítulo posterior de la presente Tesis.

CAPÍTULO VI

MODELO DE COSTOS PARA EL CÁLCULO DEL CARGO DE INTERCONEXIÓN POR LA TERMINACIÓN DE LLAMADAS

VI.1. MARCO NORMATIVO QUE RESPALDA LA FIJACIÓN DE CARGOS.

Como fuera descrito en un capítulo anterior, la Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local, constituye una de las instalaciones esenciales más importantes del mercado de telecomunicaciones, de allí que la fijación del cargo de interconexión correspondiente a esta facilidad, representa una de las tareas más importantes del OSIPTEL, para la promoción de la competencia entre operadores de telecomunicaciones en nuestro país.

Dada la importancia del cargo de interconexión antes referido, dos aspectos fundamentales que contribuyen a que su determinación sea realizada de una manera correcta son la información de costos y el modelo de costos utilizados.

La información de costos constituye un insumo fundamental para el modelo de costos, cuya metodología debe respetar lo establecido por la normativa peruana en lo que respecta a los costos que deben ser tomados en cuenta en el proceso de modelamiento y las consideraciones que deben adoptarse en la implementación del modelo de costos.

Por tal motivo, el modelo de costos toma en cuenta lo establecido por el Texto Único Ordenado de las Normas de Interconexión que en su artículo 13º señala que los cargos de interconexión serán iguales a la suma de los costos de interconexión, las contribuciones a los costos totales del prestador del servicio local y un margen de utilidad razonable.

En relación con los componentes del Cargo de Interconexión antes mencionados, el marco normativo prevé lo siguiente:

a) Costos de Interconexión^[20]:

Son los costos incurridos en brindar la instalación para la interconexión y que son directamente atribuibles a la misma.

El costo de interconexión es definido como la diferencia entre los costos totales que incluyen la instalación determinada y los costos totales que excluyen dicha instalación, dividida por la capacidad de la instalación.

Para su cálculo se toma en cuenta:

- El uso de las tecnologías más eficientes disponibles en el mercado en el momento de efectuar el cálculo de dichos costos;
- Un horizonte de tiempo suficiente para que la capacidad se ajuste a los niveles esperados de demanda;
- La identificación de los tipos o categorías de costos que se incorporarán en el horizonte de análisis.

Los principios básicos^[21] a los que debe sujetarse el establecimiento del Costo de Interconexión, son los siguientes:

- Los costos de interconexión incluirán únicamente los costos asociados a las instalaciones y activos necesarios para la interconexión.
- Para calcular el valor de los activos se considerará su valor de adquisición utilizando las tecnologías más eficientes que puedan ser utilizadas para proveer la instalación necesaria para la interconexión.
- Para determinar los factores de depreciación, se utilizará la vida útil de los activos de acuerdo a los principios de contabilidad generalmente aceptados en el Perú.

²⁰ Artículo 14° del Texto Único Ordenado de las Normas de Interconexión.

²¹ Artículo 15° del Texto Único Ordenado de las Normas de Interconexión.

- Los costos de interconexión incluirán los de planeamiento, suministro, operación y conservación de la infraestructura necesaria. No se incluirán costos de modernización o mejoras de la red, salvo que se hubiese tenido que incurrir en ellos para efectuar la interconexión.
- No forman parte de los costos de interconexión aquellos en los que el concesionario u otros operadores vinculados directa o directamente incurran, o hayan incurrido, que no estén relacionados directamente con proporcionar el acceso a la instalación.

b) Contribución a los Costos Totales del Prestador del Servicio Local^[22]:

Esta contribución será fijada de manera tal que permita cubrir una porción de los costos comunes no directamente atribuibles a los servicios de interconexión.

En virtud del principio de no discriminación, el margen sobre el costo de interconexión de una instalación (que debe ser aprobado por el OSIPTEL), deberá ser igual para los distintos operadores y otros operadores directa o indirectamente vinculados al operador que posee la instalación.

c) Margen Sobre Utilidad Razonable^[23]:

Deberá estar basado en el costo promedio ponderado del capital del operador que provee el servicio. Para su cálculo, se asumirá la estructura de apalancamiento de la empresa de telecomunicaciones. Este margen debe ser aprobado por el OSIPTEL.

Finalmente, en lo que respecta a las fuentes de información de costos que deben ser tomados en cuenta por el regulador, el Artículo 9º del Decreto Supremo N° 003-2007-MTC que incorporó los “Lineamientos para Desarrollar y Consolidar la Competencia y la Expansión de los Servicios de

²² Artículo 16° del Texto Único Ordenado de las Normas de Interconexión.

²³ Artículo 17° del Texto Único Ordenado de las Normas de Interconexión.

Telecomunicaciones en el Perú” a los Lineamientos de Política de Apertura del Mercado de las Telecomunicaciones en el Perú, señala que:

“1. Para establecer los cargos de interconexión tope o por defecto, y en su caso, de acuerdo a la ley, establecer mandatos o resolver una controversia, se aplicará el Reglamento de Interconexión, para lo cual se obtendrá la información sobre la base de obtendrá la información sobre la base de:

- a) La información de costos y de demanda, con su respectivo sustento, proporcionados por las empresas.*
- b) En tanto la empresa concesionaria no presente la información de costos establecidos en el literal a), OSIPTEL utilizará de oficio un modelo de costos de una empresa eficiente, que recoja las características de la demanda y ubicación geográfica reales de la infraestructura a ser costeadada.*

Excepcionalmente y por causa justificada, OSIPTEL podrá establecer cargos utilizando mecanismos de comparación internacional.

(...)”

En la siguiente sección, se describe el Modelo de Costos utilizado por el OSIPTEL para la determinación del Cargo de Interconexión Tope por la Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local, detallándose los principales aspectos técnicos y económicos, para posteriormente determinar las modificaciones que se plantean en la presente Tesis con la finalidad de mejorar este importante instrumento utilizado como herramienta para el cumplimiento de la función del regulador, de establecer los cargos de interconexión basándolos en los costos eficientes de su prestación.

VI.2. MODELO DE COSTOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CARGO DE INTERCONEXIÓN.

El Modelo de Costos utilizado por el OSIPTEL para la fijación del Cargo de Interconexión por la Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local es un modelo LRIC del tipo *Bottom-Up* desarrollado en software *Mathematica*.

El Modelo de Costos del OSIPTEL parte de la concepción de una red integral, es decir, una red cuyos elementos son utilizados por el operador para brindar diversos servicios, con lo cual, varios de los elementos son compartidos por

diferentes servicios, este es el caso de los tramos de transmisión por ejemplo. En tal sentido, el Modelo de Costos realiza un dimensionamiento que toma en cuenta las demandas de los diferentes servicios, en función a los cuales se halla la inversión total y luego se asigna el costo correspondiente al servicio en evaluación (en este caso, la terminación de llamadas) en forma proporcional a su uso.

En lo que se refiere a la modelación en sí, el Modelo de Costos plantea la modelación de una red para cada uno de los departamentos del Perú (áreas locales para el servicio de telefonía fija), para lo cual se consideran los aspectos que a continuación se detallan.

VI.2.1. RED DE TRANSMISIÓN.

Para el despliegue de la red de transmisión el Modelo de Costos toma en cuenta la variedad de tecnologías de transmisión utilizadas en el Perú, así como las diversas topologías aplicables.

a) Topología de la Red de Transmisión.

La topología de la red de transmisión toma en cuenta la estructura jerárquica de la red telefónica. El Modelo de Costos maneja tres tipos de topología:

- **Estrella.-** Basada en enlaces punto a punto. Estos enlaces se establecen siempre entre centrales de conmutación pertenecientes a niveles diferentes de la jerarquía, es decir, entre una unidad remota y una central cabecera o entre una central cabecera y la central tándem del departamento.
- **Anillo.-** Se definen dos tipos de anillo: anillos provinciales y anillos departamentales. Los anillos provinciales interconectan los nodos de las unidades remotas con el nodo de la central cabecera de la que dependen. Los anillos departamentales interconectan los nodos de las centrales cabecera del departamento con el nodo en el que se ubica la central tándem.

- **Cadena.-** La utilización de esta topología se especifica en los parámetros de entrada del modelo y sustituye a la topología en estrella a nivel provincial. En este caso, los enlaces no se establecen siempre entre nodos pertenecientes a niveles diferentes de la jerarquía, sino que se admiten enlaces entre nodos de unidades remotas.

El dimensionamiento de los tramos de transmisión se realiza tomando en cuenta los E1s^[24] calculados para la unidad remota en cuestión, más los E1s calculados para todas las unidades remotas a ella conectadas, ya sea de forma directa o indirecta.

Se considera protección en las cadenas (el modelo considera una inversión adicional en fibra óptica y obras civiles).

Para el departamento de Lima, el Modelo de Costos contempla la existencia de rutas directas entre las centrales cabeceras del departamento.

Para aquellos casos en los cuales existen nodos con transmisión vía satélite, el nodo satelital se conecta vía satélite con Lima y de allí la demanda utiliza la red fija de larga distancia para llegar al nodo destino (no satelital).

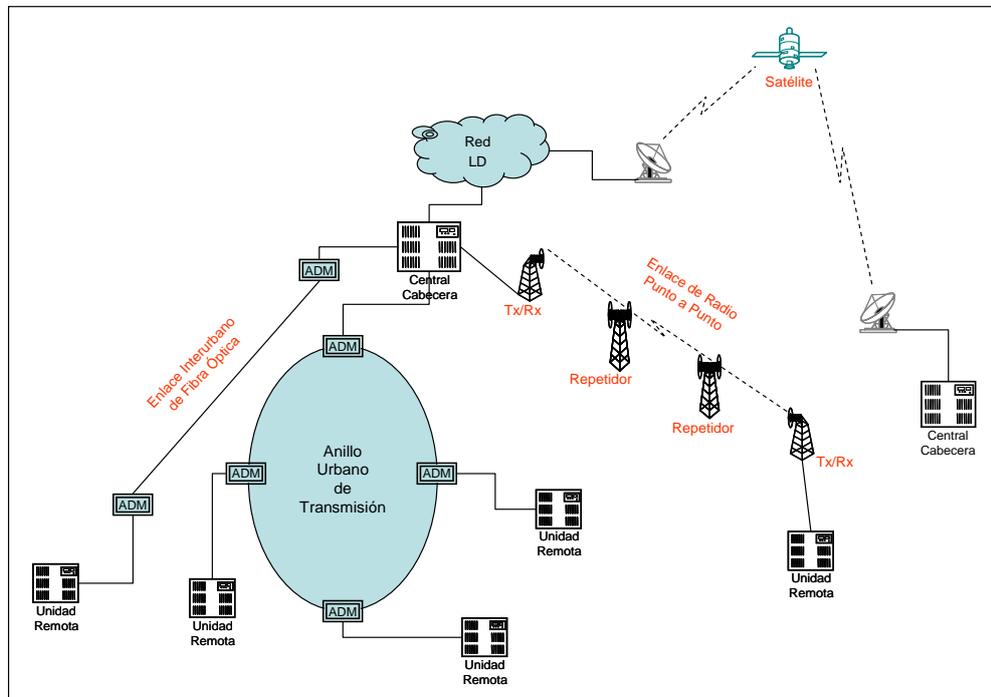
De acuerdo a la información reportada por la empresa Telefónica del Perú S.A.A. (en adelante “Telefónica”) sobre su red, la topología implementada en el modelo ha consistido en:

- Configurar las centrales que están en la zona urbana por medio de anillo, siempre y cuando su central cabecera esté también en la zona urbana.
- Para aquellas centrales que no estuviesen en la zona urbana de la central cabecera o bien no existiera una zona urbana en la que

²⁴ Un E1 corresponde a una capacidad de transmisión equivalente a 2 Mbps.

se pudiera establecer un anillo de transmisión, la configuración de la red de transmisión se realiza mediante enlaces punto a punto.

Figura Nº 6.1.- Topologías de Transmisión



Fuente: Modelo de Costos del OSIPTEL.

b) Tecnologías de Transmisión.

Cada anillo está asociado a una tecnología que va a condicionar su tratamiento en el proceso de cálculo de los costos.

En la implementación del Modelo de Costos se definen las posibles tecnologías de transmisión incluyendo aspectos como el precio, el factor de no linealidad y el medio de transmisión asociado (fibra canalizada y enterrada, radio, satélite), considerando su precio, unidades en que se mide y el parámetro contable de vida útil. Para el medio de transmisión vía satélite, el modelo considera el costo de alquiler del ancho de banda satelital.

Las tecnologías utilizadas por topología son las siguientes:

- Fibra óptica canalizada en los anillos urbanos.

- Fibra óptica, canalizada, enterrada y aérea así como tecnología radio en los enlaces punto a punto.
- Transmisión vía satélite en enlaces punto a punto entre cabecera y tándem.

En el Modelo de Costos se han considerado las demandas de cuatro (04) servicios brindados por Telefónica, y que hacen uso de la red de transmisión:

- Demanda de comunicaciones de voz (tráfico de voz).
- Demanda de circuitos alquilados, que harán uso de la red de transmisión, por lo cual debe ser considerada en el dimensionamiento.
- Demanda de la Red ADSL. Esta demanda es también de transmisión.
- Demanda de circuitos de interconexión. Se trata de una demanda de transmisión a nivel local.

Para el caso del servicio de voz, se utiliza la fórmula de Erlang B para realizar el dimensionamiento correspondiente a este tipo de tráfico. En el caso de la red ADSL, los enlaces son calculados en función de la demanda de velocidades ADSL requeridas en los DSLAM^[25]. Las demandas de circuitos alquilados y circuitos de interconexión, son un insumo provisto por Telefónica.

VI.2.2. RED DE CONMUTACIÓN.

a) Topología de Conmutación de la Red de Voz.

La red de conmutación está conformada por unidades remotas, centrales cabecera y centrales tándem, las cuales han sido configuradas de manera jerárquica. El mayor procesamiento recae sobre las centrales

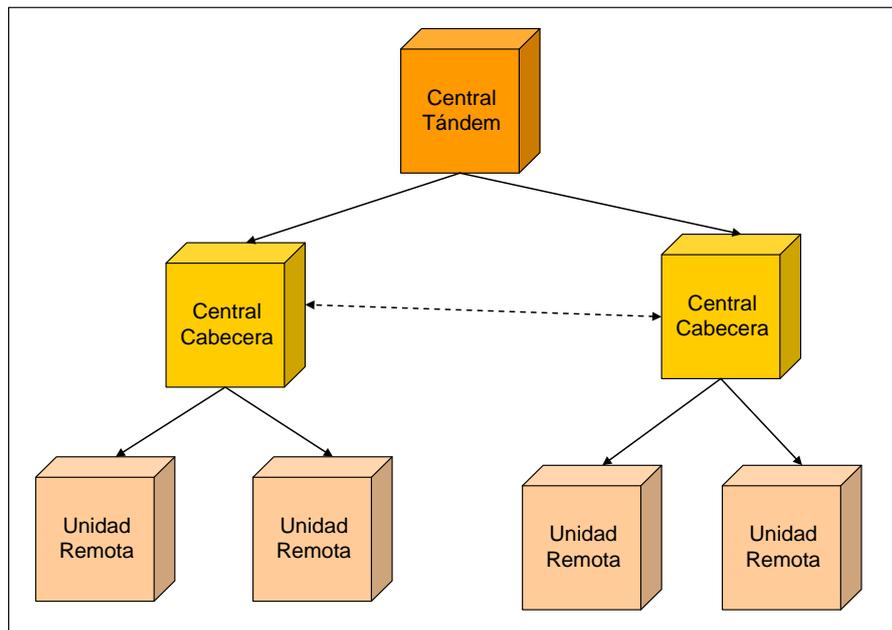
²⁵ DSLAM = *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*.

cabecera y las centrales tándem, desempeñando las unidades remotas funciones más sencillas.

El Modelo de Costos utiliza la arquitectura de conmutación AXE de Ericsson (la más relevante en el país).

La jerarquía de la red se muestra en la Figura N° 6.2.

Figura N° 6.2.- Jerarquía de la Red de Conmutación

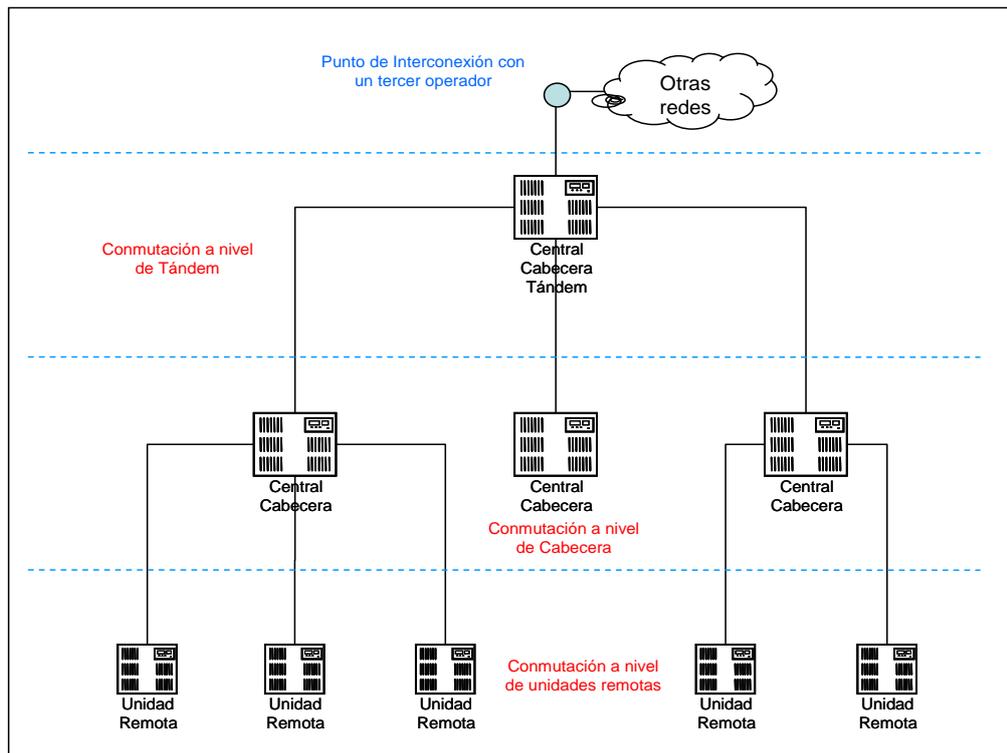


Fuente: Modelo de Costos del OSIPTEL.

Cada departamento consta de uno o varios grupos de unidades remotas y centrales cabecera. Esta distribución se ha hecho en base al diseño actual de la red, respetando que cada central remota debe depender al menos de una central cabecera del departamento.

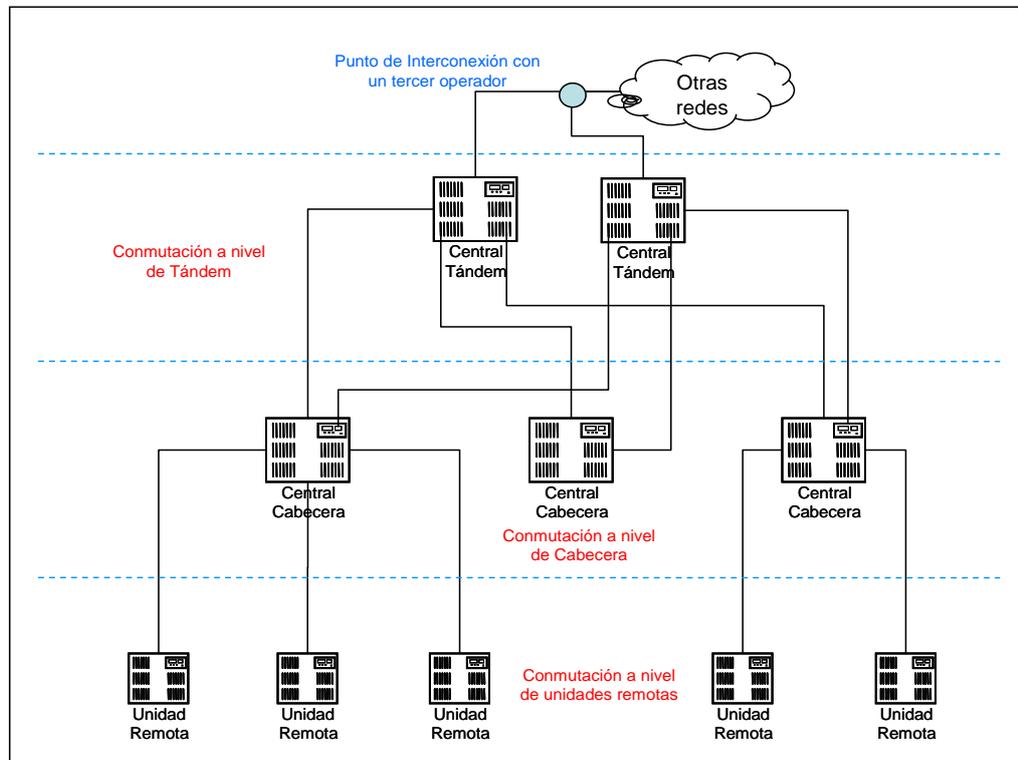
La interconexión con otros operadores se realiza en la central tándem de cada departamento. La central tándem en cada departamento corresponde a la central que realiza esta función en la red actual de Telefónica. En el caso de departamentos en los que no existe a priori un Punto de Interconexión (PdI) o central tándem, se selecciona como central tándem a la central cabecera más grande.

Figura N° 6.3.- Topología de la Red de Conmutación en Provincias



Fuente: Modelo de Costos del OSIPTEL.

Figura N° 6.4.- Topología de la Red de Conmutación en Lima



Fuente: Modelo de Costos del OSIPTEL.

En el caso de departamentos con centrales con tecnología de transmisión satelital, si todas las centrales cabecera son satelitales, la central tándem es una de ellas. Si no todas las centrales cabecera son satelitales, la central tándem es una de las no satelitales. Todas las centrales satelitales se consideran cabeceras, puesto que si se admitieran remotas satelitales sería necesario un doble salto para comunicarse entre ellas, ya que carecen de matriz de conmutación.

b) Demandas de Voz.

El tráfico de voz utilizado en el Modelo de Costos está especificado como tráfico originado y terminado en cada central (unidad remota o central cabecera).

Los tráficos utilizados por el Modelo de Costos corresponden a la siguiente información:

- Tráfico local entrante.- Es el tráfico determinado en la hora de mayor carga, correspondiente al tráfico intradepartamental (incluido el tráfico local intraprovincial) de entrada de cada una de las centrales consideradas.
- Tráfico local saliente.- Es el tráfico en la hora de mayor carga correspondiente al tráfico intradepartamental (incluido el tráfico local intraprovincial) de salida.

Los datos de entrada se desagregan en tráfico intranodo, tráfico interprovincial y tráfico intraprovincial, ya que utilizan distintos elementos de la red. El Modelo de Costos calcula:

- Tráfico intranodo.- Corresponde a la parte del tráfico que se queda dentro de la central.

Para determinar este tráfico el Modelo de Costos utiliza un factor denominado **intrafrac(i)**, correspondiente al tanto por uno del tráfico local de la central *i* que se queda en la propia central:

$$intrafrac(i) = \left(\frac{lineas(i)}{lineasp} \right)^{\frac{1}{locb}} \dots\dots\dots(6.1)$$

Donde, de acuerdo al modelo:

- locb : es la elasticidad de las llamadas. Es un parámetro de entrada que toma un valor superior a 1, y refleja el hecho de que es más probable una llamada entre dos abonados conectados a la misma central que entre dos abonados conectados a centrales de la misma provincia.
- lineas(i) : líneas de la central i.
- lineasp : es la suma de las líneas de todas las centrales de la provincia a la que pertenece la central i.

El tráfico intranodo resulta de la fórmula siguiente:

$$Traficointranodo(i) = \left(\frac{TraficoSLM_saliente(i) + TraficoSLM_entrante(i)}{2} \right) \times intrafrac(i) \dots\dots(6.2)$$

- Tráfico interprovincial.- Corresponde al tráfico que viene o va dirigido desde/hacia una central perteneciente a otra provincia del mismo departamento.

Para determinar este tipo de tráfico el Modelo de Costos calcula el factor de tráfico **interprovfrac(i)**, correspondiente al tanto por uno del tráfico local de la central x que tiene origen o destino una central del mismo departamento pero perteneciente a otra provincia, según la fórmula:

$$interprovfrac(i) = 1 - \left(\frac{lineasp}{lineasd} \right)^{\frac{1}{locb}} \dots\dots\dots(6.3)$$

Donde, de acuerdo al modelo:

- locb : es la elasticidad de las llamadas. Es un parámetro de entrada que toma un valor superior a 1, y refleja el hecho de que es más probable una llamada entre dos abonados conectados a centrales de una misma provincia que entre dos abonados conectados a centrales de distintas provincias.
- lineasp : es la suma de las líneas de todas las centrales de la provincia a la que pertenece la central i.
- lineasd : es la suma de las líneas de todas las centrales del departamento al que pertenece la central i.

El tráfico intradepartamental interprovincial resulta de las siguientes fórmulas:

$$\text{Trafico_interProvEntrante}(i) = \text{TraficoSLM_Entrante}(i) \times \text{interprovfrac}(i) \quad \dots(6.4)$$

$$\text{Trafico_interProvSaliente}(i) = \text{TraficoSLM_Saliente}(i) \times \text{interprovfrac}(i) \quad \dots(6.5)$$

- Trafico intraprovincial.- Corresponde al tráfico que se queda dentro de la provincia.

Para determinar este tipo de tráfico el modelo calcula el factor de tráfico intraprovincial, es decir, el tanto por uno del tráfico local de la central x que tiene origen o destino una central de la misma provincia como $1 - \text{interprovfrac}x$.

El tráfico intradepartamental intraprovincial resulta de las siguientes fórmulas:

$$\text{Trafico_intraProvEntrante}(i) = \text{TraficoSLM_Entrante}(i) \times (1 - \text{interprovfrac}(i)) \quad \dots(6.6)$$

$$\text{Trafico_intraProvSaliente}(i) = \text{TraficoSLM_Saliente}(i) \times (1 - \text{interprovfrac}(i)) \quad \dots(6.7)$$

En el caso del tráfico de larga distancia nacional (LDN) la información utilizada por el Modelo de Costos corresponde a lo siguiente:

- Trafico LDN saliente.- Corresponde a la suma del tráfico de salida LDN, el tráfico “paga quien llama”, el servicio de Internet y el servicio de interconexión de originación.
- Trafico LDN entrante.- Corresponde a la suma del tráfico LDN de entrada más el del servicio de interconexión de terminación.

En cuanto al tráfico de larga distancia internacional (LDI), la información utilizada por el Modelo de Costos corresponde a:

- Trafico LDI entrante.- Corresponde al tráfico LDI en la hora cargada, entrante a la central.

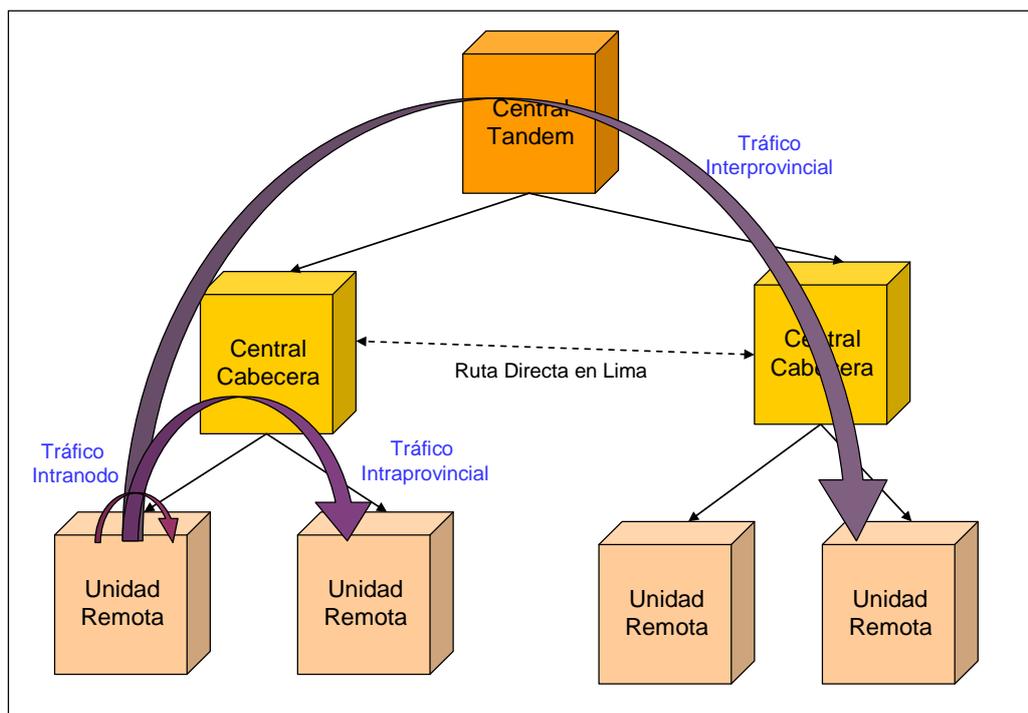
- Tráfico LDI saliente.- Corresponde al tráfico LDI en la hora cargada, saliente de la central.

Asimismo, el Modelo de Costos utiliza el tráfico correspondiente a los minutos totales de uso, con una clasificación similar a la antes descrita. Estos minutos totales de uso son utilizados para calcular el costo por minuto, una vez que se ha calculado el costo total de la red.

c) Encaminamiento del Servicio de Voz.

La siguiente figura muestra el esquema del encaminamiento del servicio de voz, de acuerdo a la estructura jerárquica de la red.

Figura Nº 6.5.- Encaminamiento del servicio de voz



Fuente: Modelo de Costos del OSIPTEL.

d) Dimensionamiento de los Enlaces para Voz.

En el Modelo de Costos, el dimensionamiento de los enlaces para el servicio de voz se realiza utilizando la fórmula de Erlang B.

La información requerida por el Modelo de Costos para el uso de esta fórmula está conformada por el tráfico en la hora de mayor carga (expresado en Erlangs); y la probabilidad de bloqueo (referida a la probabilidad de que una llamada no se pueda cursar por saturación de la red).

$$E(n, a) = \frac{\frac{a^n}{n!}}{1 + \frac{a}{1!} + \frac{a^2}{2!} + \frac{a^3}{3!} + \dots + \frac{a^n}{n!}} \dots\dots\dots(6.8)$$

Donde:

- n : número de canales necesarios.
- a : intensidad de tráfico.
- E(n,a) : Probabilidad de bloqueo.

El dimensionamiento se realiza para cada uno de los enlaces de la configuración de la red, de acuerdo al tráfico obtenido para cada una de las rutas, según el esquema mostrado en la Figura N° 6.5.

Para los enlaces de transmisión entre las unidades remotas y su central cabecera, el dimensionamiento se realiza utilizando el tráfico entre dichos nodos de conmutación.

Para el dimensionamiento de los enlaces cabecera-tándem se toma en cuenta además del tráfico de la propia central cabecera, el tráfico generado/recibido por sus unidades remotas que provienen o van a la central tándem del departamento (tráfico local interprovincial, tráfico de larga distancia interdepartamental y tráfico internacional).

La aplicación de la fórmula de Erlang B determina el número de circuitos de 64 kbps necesarios para cursar la demanda de voz. Este número de circuitos es luego convertido a E1s mediante una división por 30, obteniéndose la demanda de E1s por enlace de la red de transmisión.

e) Dimensionamiento de los Equipos de Conmutación.

El Modelo de Costos realiza el dimensionamiento de cada una de las centrales de conmutación, utilizando como insumos:

- Las líneas telefónicas.
- Los accesos RDSI básicos (en unidades remotas y centrales cabecera).
- Los accesos RDSI primarios (en centrales cabecera).
- Los E1 de los enlaces asociados a la central.

Una central de conmutación es modelada como un equipo básico, sobre el que se montan componentes.

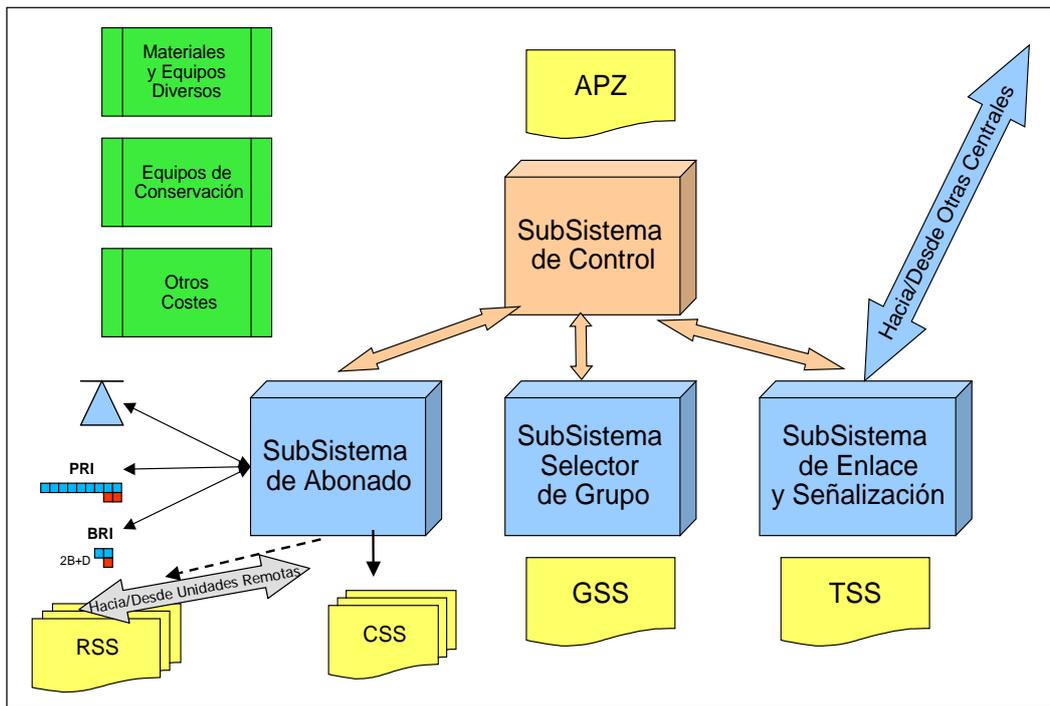
Las centrales básicas definidas en el Modelo de Costos son:

- Unidades remotas.
- Centrales cabecera.
- Centrales cabecera satelitales.
- Centrales tándem.

Aunque se maneja la distinción entre centrales cabecera, centrales satelitales y centrales tándem, los componentes que se instalan en estos equipos básicos son los mismos y corresponden a los de una central cabecera.

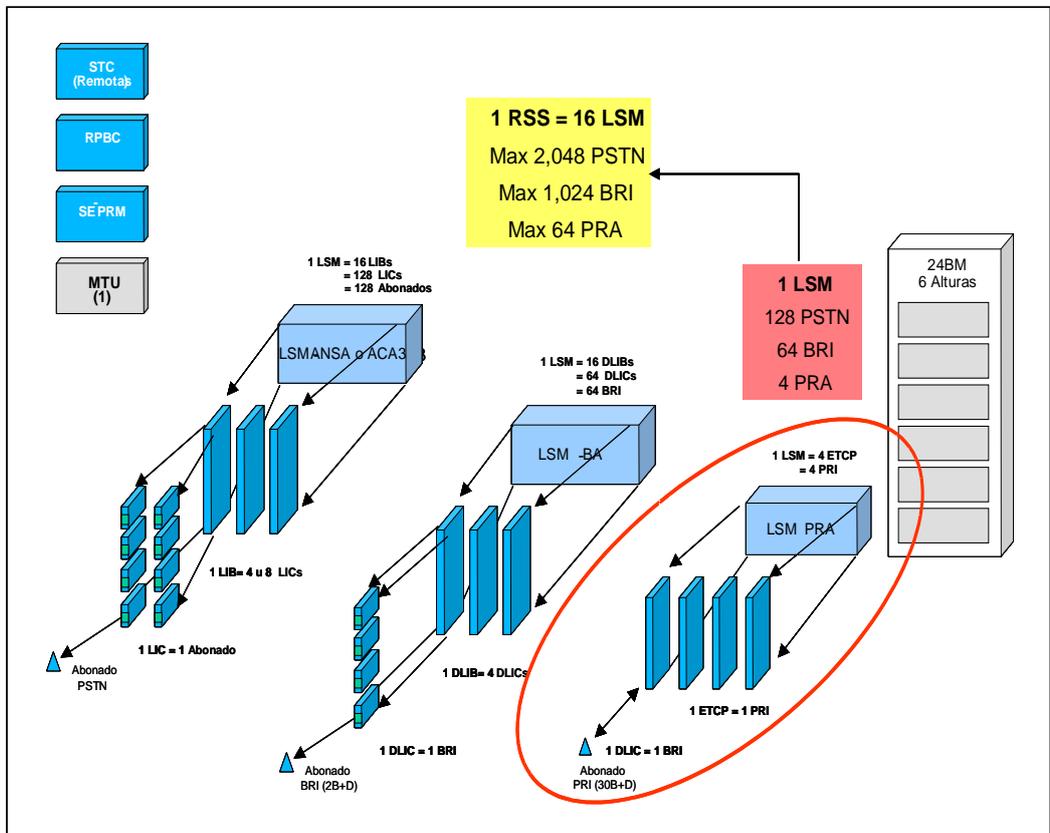
El esquema de una central cabecera y una unidad remota, utilizadas en el Modelo de Costos se muestran en la Figura N° 6.6 y Figura N° 6.7, respectivamente.

Figura N° 6.6.- Esquema de una Central Cabecera



Fuente: Modelo de Costos del OSIPTEL.

Figura N° 6.7.- Esquema de una Unidad Remota



Fuente: Modelo de Costos del OSIPTEL.

f) Dimensionamiento de la Red de Transmisión.

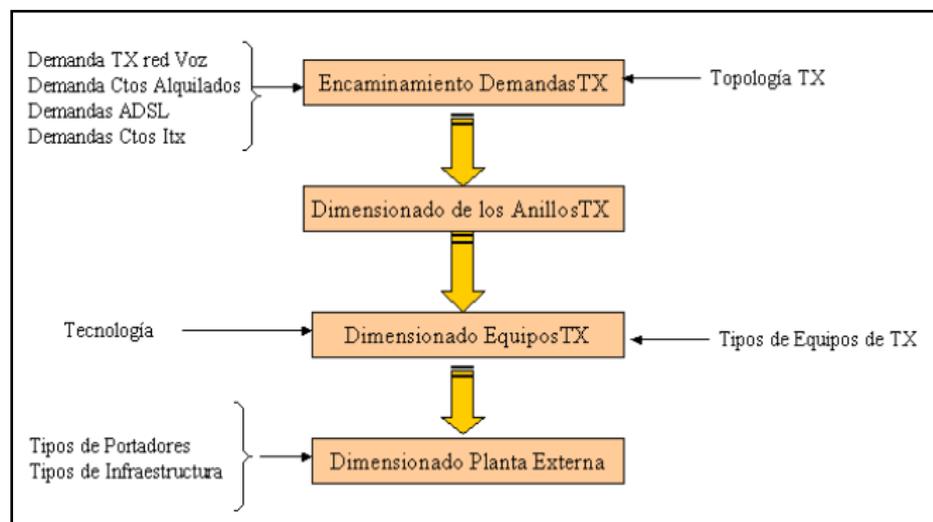
La demanda de la red de transmisión está constituida por:

- Demanda de circuitos de voz.
- Demanda de circuitos alquilados.
- Demanda de tráfico de datos vía ADSL.
- Demanda de circuitos de interconexión.

Además, en función a la tecnología (fibra o radio) se aplican unos factores de sobrecapacidad o de vacancia.

En la Figura N° 6.8 se muestra el proceso de dimensionamiento de la red de transmisión.

Figura N° 6.8.- Dimensionamiento de la Red de Transmisión



Fuente: Modelo de Costos de Telefónica.

- Encaminamiento de las demandas de transmisión.

Cada una de las demandas antes especificadas, se encamina por la topología de transmisión formada por anillos interconectados. El tipo de encaminamiento se realiza por camino mínimo y se va cargando en cada anillo las demandas que lo atraviesan.

- Dimensionamiento de los anillos de transmisión.

En los anillos que simulan enlaces punto a punto, la capacidad total del anillo está dada por la suma de los E1s que pasan por dicho enlace. Así por ejemplo, en el caso de las cadenas de nodos correspondientes a unidades remotas, se acumulan los E1s de las demandas que se van encadenando.

Si se trata de anillos propiamente dichos la capacidad del anillo viene determinada por la suma de las demandas que se generan o terminan en el anillo más la suma de los E1s que transitan por él con origen o destino otro anillo.

- Dimensionamiento de los equipos de transmisión.

El dimensionamiento de los equipos de transmisión se realiza una vez conocida la capacidad total requerida por los anillos/enlaces y en función de la tecnología del anillo y al catálogo de los equipos de transmisión.

- Dimensionamiento de la planta externa.

En función de la capacidad de los anillos/enlaces, la tecnología de cada anillo y de acuerdo a un catálogo de infraestructuras se dimensiona la planta externa.

En los siguientes párrafos se presenta un mayor detalle del dimensionamiento de los equipos de transmisión y de la planta externa.

a) Dimensionamiento de los equipos de transmisión.

De acuerdo a la información reportada por Telefónica, los equipos se componen de:

- Chasis.- Es un contenedor de componentes. La elección de un chasis determinado impone restricciones en cuanto a los tipos de componentes que puede admitir.

- Componentes.- Modelan las tarjetas que pueden ser incluidas en los distintos chasis.

En el momento de incluirse un equipo, debe considerarse qué componentes son necesarios. En función de ello se escoge el chasis necesario y se rellena con los componentes adecuados.

Para determinar por completo el equipo que debe desplegarse en un nodo es necesario evaluar: la topología, la infraestructura del anillo/enlace, la capacidad del anillo/enlace; y los tributarios que debe soportar el equipo.

La topología, la infraestructura y la capacidad determinan el tipo de chasis a configurar en los nodos que forman parte de enlaces con infraestructura de fibra o radio, mientras que los tributarios definen el número de tarjetas que es necesario colocar en dichos equipos.

En el caso de los equipos de satélite, existe una antena satelital (que desempeña el papel de chasis en el Modelo de Costos) a la que se conectan diferentes sistemas de comunicación (considerados como “componentes” de la antena). Sin embargo, los equipos satelitales no dependen de la capacidad asociada al enlace.

a.1)Tipos de equipos.

El equipo a colocar depende del tipo de infraestructura que se haya definido para un enlace o anillo. Así:

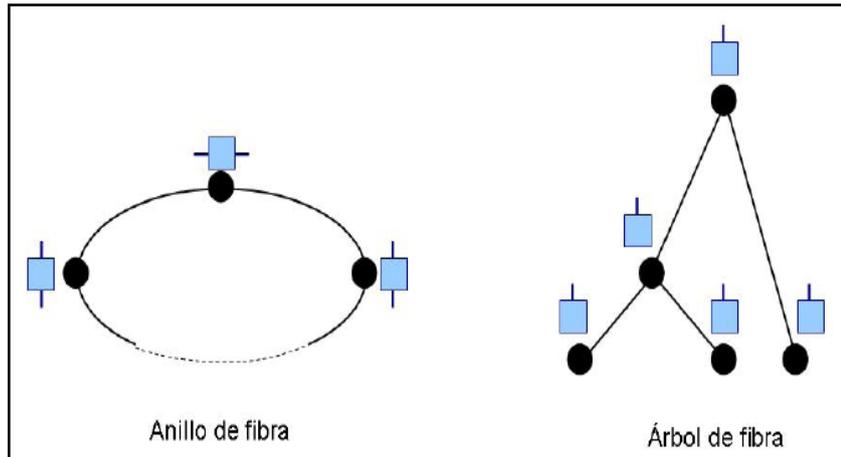
- Fibra óptica.- Si el equipo a colocar es para tecnología de fibra óptica, existen dos posibilidades: que el nodo forme parte de una topología en anillo o de una cadena.

Si la topología es en anillo, se coloca un chasis con dos puertas de agregado (un ADM). Si la topología es en cadena, se coloca un chasis con una sola puerta de agregado. El agregador encamina el tráfico hacia los nodos de los niveles superiores en el árbol.

En la central cabecera donde comienza la cadena, se coloca un equipo sí y sólo sí, no existe ningún equipo de fibra en dicha central.

Si el árbol se engancha a un anillo, no se dimensiona un equipo en la central cabecera.

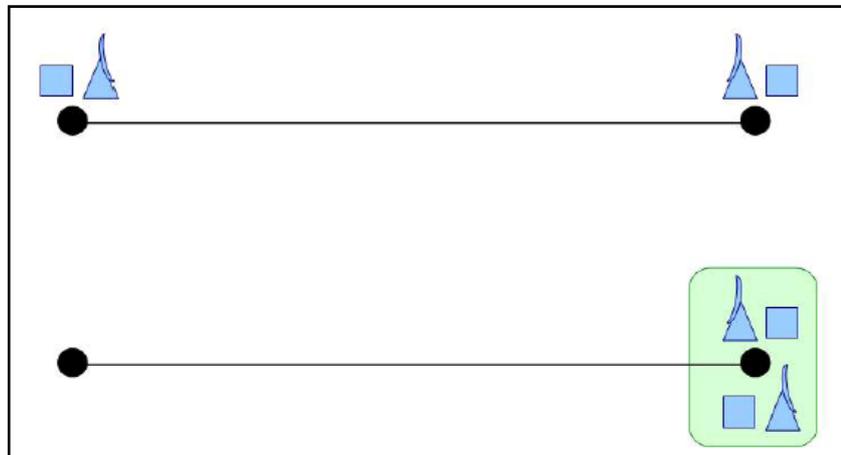
Figura Nº 6.9.- Topologías con Fibra Óptica



Fuente: Modelo de Costos de Telefónica.

- Radio.- Esta tecnología sólo es empleada en enlaces con topología punto-a-punto. En este caso, se colocan dos equipos, uno en cada extremo del enlace. El costo es asignado en el modelo, al nodo más alejado de la central cabecera.

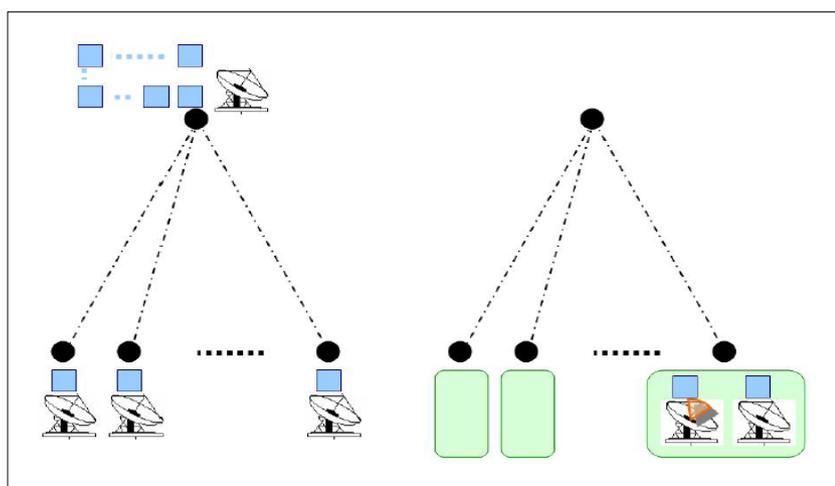
Figura Nº 6.10.- Topología con Tecnología de Radio



Fuente: Modelo de Costos de Telefónica.

- **Satélite.-** Algunos de los nodos se conectan a la red mediante un enlace satelital. Estos enlaces requieren al menos un equipo satelital y una antena tanto en el nodo de origen como en el nodo de destino. La conexión de estos nodos se realiza con un nodo de Lima (ubicado en Lurín).

Figura N° 6.11.- Topología con Tecnología satelital



Fuente: Modelo de Costos de Telefónica.

El nodo de Lima contará con tantos equipos como centrales satelitales haya repartidas en todo el país y una antena. En cada una de las centrales satelitales se coloca un equipo con su correspondiente antena.

El Modelo de Costos realiza un cálculo por departamento, motivo por el cual, el costo de los equipos satelitales así como la parte proporcional de la antena de Lima son asignados a los nodos que los generan en el interior del país.

Asimismo, la capacidad del anillo/enlace al que está asociado el equipo también determina el tipo de equipo que hay que colocar. Así se tiene que:

- **Para Fibra Óptica.-** Una vez que se sabe que se necesita un equipo con tecnología de transmisión de fibra óptica, la

capacidad determina el tipo de equipo concreto que es necesario así como la capacidad de los puertos de las tarjetas de tráfico agregado.

- Para Radio.- Los equipos de radio no tienen agregados, pero cada tipo de equipo soporta una capacidad máxima de tráfico.
- Para Satélite.- Los equipos de satélite son capaces de cursar todo el tráfico, por lo que son independientes de la capacidad.

El Modelo de Costos realiza la selección del tipo de equipo necesario para un enlace, en función de la infraestructura y la capacidad del enlace (excepto para el caso de enlaces satelitales).

Los agregados de los equipos de fibra óptica dependen de la infraestructura, la capacidad y la topología.

El catálogo de equipos de transmisión empleados en el Modelo de Costos para cada tecnología cumple con las siguientes características:

- Fibra óptica.- Todos los enlaces de fibra óptica del modelo se diseñan de acuerdo con el estándar SDH de la ITU-T. Para dimensionar los equipos de fibra óptica, se han elegido las siguientes capacidades dentro del estándar SDH: STM-1, STM-4, STM-16, STM-64. En función de la capacidad necesaria para cada enlace (sea éste un enlace punto a punto o un anillo) y de la capacidad ofrecida por estos sistemas se eligen los equipos de transmisión para fibra óptica.
- Radio.- Los enlaces de radio utilizados en el Modelo de Costo son, en su mayoría, PDH (con un techo establecido por un enlace STM-1 SDH). Las configuraciones utilizadas en

el modelo son: 2x4 (1+0), 2x16 (1+1), 2x16 (2+1) en PDH y el STM-1 SDH como tope de capacidad.

- Satélite.- Este caso es más sencillo dado que sólo se alquila la capacidad requerida por enlace, utilizándose en todos los casos la misma estación terrestre independientemente de la capacidad requerida.

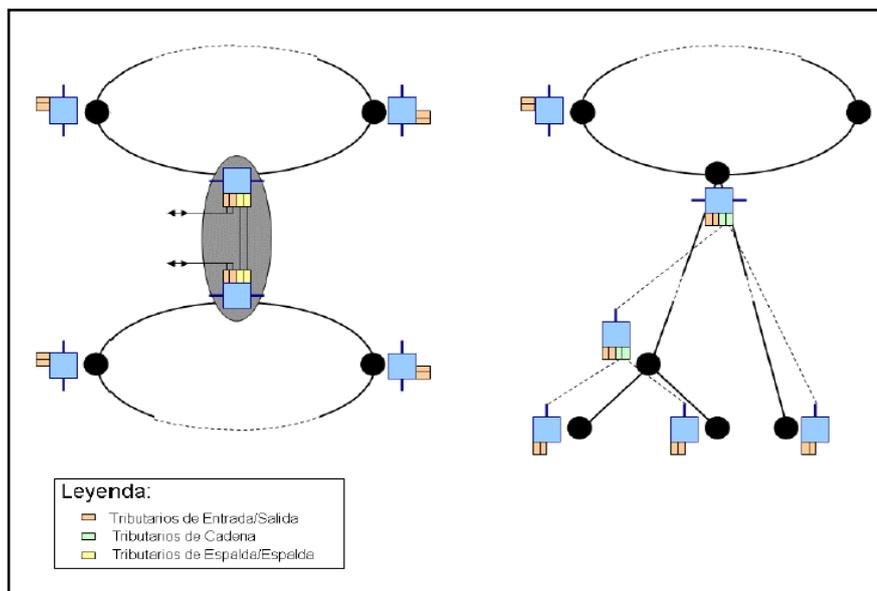
a.2)Cálculo de los tributarios.

Para el cálculo de las tarjetas de tributarios en el modelo se distinguen los siguientes tipos de tributarios:

- Tributarios de Entrada/Salida.- Cada uno de los nodos puede extraer o ingresar demanda de transmisión en la red. Estos tributarios se determinan para toda la demanda que tiene como origen o destino el nodo en cuestión.
- Tributarios de Cadena.- Los equipos que forman parte de una cadena de fibra óptica también extraen o envían demanda a los niveles inferiores. La demanda se extrae o se ingresa de un enlace mediante puertos de agregado. La capacidad total que se utiliza para determinar los tributarios en cadena corresponde a la agregación de la demanda de los nodos encadenados al nodo que se está dimensionando en cada momento. La capacidad del agregado está dada por el enlace que se dirige hacia el nodo donde se ubica la central cabecera.
- Tributarios Espalda/Espalda.- Existen nodos de la red que interconectan dos o más anillos de fibra óptica. En estos nodos de interconexión se despliegan dos equipos multiplexores denominados ADM (*Add-Drop Multiplexer*), uno para cada anillo. Para poder encaminar la demanda de un anillo al otro se colocan tarjetas de tributario en los dos equipos.

El modelo calcula (cuando se dimensiona la red de transmisión) los E1s que se encaminan entre todos los anillos de la red para poder determinar luego cuántas tarjetas son necesarias en estos nodos.

Figura Nº 6.12.- Dimensionamiento de Tributarios



Fuente: Modelo de Costos de Telefónica.

Habiéndose calculado el número de E1s necesarios en términos de tributarios para cada nodo de la red (como suma de los E1s entrada/salida, cadena y espalda/espalda), es factible contar el número de tarjetas de tributario que debe colocarse en los distintos equipos.

El Modelo de Costos considera un único tipo de tarjeta de tributario que dispone de 21 puertos, cada uno de los cuales tiene una capacidad de 1 E1; por lo que cada tarjeta tiene capacidad para 21 E1s.

En el proceso de dimensionamiento de los equipos, el modelo divide por 21 el número de E1s que indica la tabla de tributarios para un nodo y se redondea el número hacia arriba. El resultado da el número de tarjetas de tributarios que se colocan en el equipo.

Las tarjetas tienen la misma configuración para todos los equipos, pero su precio varía en función del chasis donde es colocada.

Únicamente los equipos asociados a la fibra óptica y los equipos STM-1 de radio, tienen tarjetas de tributarios.

a.3) Repetidores.

Si la distancia del enlace que une dos nodos es demasiado grande, es necesario regenerar la señal para evitar su deterioro y la consecuente pérdida de información. Para ello se hace uso de repetidores.

El número de repetidores en el enlace depende de la distancia y de la infraestructura, pues la infraestructura determina la distancia máxima para la que es posible regenerar la señal:

- Para enlaces de fibra óptica, la distancia máxima es 60 km.
- Para enlaces de radio, la distancia máxima es 13,98 km.

El tipo de repetidores requeridos en la red depende, además del tipo de infraestructura, de la capacidad del enlace.

a.4) Protección.

Todos los anillos se encuentran protegidos puesto que son dimensionados para encaminar el tráfico en cualquier sentido del anillo, de forma que si se cae un enlace, el otro es capaz de asumir todo el tráfico.

Sin embargo, si se desea dar protección a los enlaces punto a punto (ya sean de fibra óptica o radio), se debe duplicar el número de equipos que son desplegados, de tal forma que si uno de los equipos falla, el otro equipo entra como respaldo.

b) Dimensionamiento de la planta externa.

El dimensionamiento de la planta externa para los enlaces de fibra óptica y los enlaces de radio, está directamente relacionado con la distancia del enlace.

Para dimensionar la planta externa se calcula la distancia necesaria para unir dos puntos (origen y destino) y se la multiplica por un factor que varía en función de la tecnología y que representa la no linealidad de los enlaces de transmisión. Esto se hace para aproximar el modelo a la realidad, donde en muy raras ocasiones se pueden trazar enlaces de transmisión en línea recta.

Para cualquier tecnología de transmisión, el efecto del factor de no linealidad es el aumento de la distancia final del enlace, lo cual afecta a los kilómetros de fibra óptica, zanja, etc. en el caso de los enlaces de fibra óptica y al número de equipos repetidores en el caso de los enlaces de radio.

VI.2.3. CÁLCULO DE LA INVERSIÓN.

a) Cálculo de la Inversión en Conmutación.

El Modelo de Costos realiza el cálculo de la inversión en conmutación central por central, tomando en cuenta su naturaleza, ya sea ésta, unidad remota o central cabecera/tándem. Para tal fin, se realiza un cálculo detallado en función de los componentes expuestos en la sección "Dimensionamiento de los Equipos de Conmutación".

La lista de precios de los componentes ha sido proporcionada por Telefónica y constituye uno de los insumos del modelo.

El Modelo de Costos realiza un reparto del costo de los componentes de la central entre acceso (líneas analógicas, accesos RDSI básicos y RDSI primarios), tráfico y señalización. Para el cálculo del cargo por Terminación de Llamadas, el modelo solamente utiliza el costo debido al tráfico que es el que tiene una relación más directa con los costos de

interconexión. Una vez que se tiene la inversión en conmutación para cada central, el modelo suma el costo de las centrales remotas y el de las cabeceras por separado para obtener la inversión en conmutación del departamento.

b) Cálculo de la Inversión en Transmisión en cada Enlace.

La inversión en transmisión de cada enlace se determina sumando:

- La inversión en equipos de transmisión asociados a cada enlace.
- La inversión en portadores (sólo para el caso de fibra óptica).
- La inversión en infraestructura (sólo para el caso de fibra óptica).

i) Inversión en equipos de transmisión.

En el ítem “Dimensionamiento de los equipos de transmisión” se describió el proceso que se sigue para tal fin. Considerando que el Modelo de Costos dimensiona los equipos de transmisión para cada uno de los enlaces asociados a un nodo, la inversión correspondiente a dichos equipos de transmisión (y sus componentes) es asignada a su enlace de transmisión correspondiente.

ii) Inversión en portadores.

Para cada enlace de fibra óptica se calcula la inversión como:

$$\text{CostoPorKm} \times \text{LongitudDelEnlace} \dots\dots\dots(6.9)$$

El costo por km se calcula de distinta forma, según se trate de cable canalizado o cable enterrado:

$$\begin{aligned} \text{CostoPorKm (Canalizado)} = & \text{CostoFibraPorKm} + \text{CostoEmpalme} \times \\ & \text{NumeroEmpalmesPorKm} + \text{FactorComparticiónCanalización} \times \\ & (\text{CostoCanalizacionKm} + \text{CostoCamara} \times \text{NumeroCamarasPorKm}) \dots\dots\dots(6.10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CostoPorKm(Enterrado)} = & \text{CostoFibraPorKm} + \\ & \text{CostoTrituboPorKm} + \text{CostoEmpalme} \times \text{NumeroEmpalmesPorKm} \dots\dots\dots(6.11) \end{aligned}$$

Para el cable canalizado, el modelo utiliza un factor de compartición de la canalización, debido a que la canalización se comparte con la red de acceso. Para el cable enterrado de provincias se considera un factor de compartición con la dorsal del país del 55%.

A esta inversión se le suma la inversión en terminaciones de red. Cada enlace lleva asociado dos terminaciones de red, una para cada extremo del mismo.

iii) Inversión en infraestructura.

Para cada enlace de fibra óptica se calcula la inversión en infraestructura como:

$$\text{CostoPorKm} \times \text{LongitudDelEnlace} \dots\dots(6.12)$$

Los precios del costo por km son diferentes para la fibra canalizada y para la fibra enterrada.

iv) Inversión por enlace.

El modelo calcula la inversión por enlace como:

$$\text{Inversión EquiposTX} + \text{Inversión Portadores} + \text{Inversión Infraestructura} \dots(6.13)$$

Además la inversión se desagrega en los elementos:

- Cabecera-Tándem.- Transmisión entre centrales cabecera y centrales tándem (fibra óptica o radio).
- Remota-Cabecera.- Transmisión entre unidades remotas y centrales cabecera (fibra óptica o radio).
- Satélite.- Transmisión vía satélite (incluye la inversión y costos producidos en el propio departamento en el que se encuentra la central satelital, más la inversión y costos producidos en Lima pero atribuibles al departamento en el que se encuentra la central satelital).

Existen otros dos gastos a tener en cuenta para estos elementos de red: el alquiler de ancho de banda en el transpondedor y el costo asociado al transporte de las llamadas mediante la red terrestre desde Lima hasta la central de destino en el departamento correspondiente. Ambos se consideran gastos y no inversiones, de forma que no se añaden directamente a la inversión, sino una vez que ésta haya sido anualizada.

v) Inversión en señalización.

La inversión en señalización es calculada por el Modelo de Costos como un porcentaje fijo de la inversión en conmutación. Es un valor contable de la inversión en señalización respecto de la inversión en conmutación asociada al tráfico.

Este valor representa sólo el costo de la red de señalización de Telefónica.

No incluye los costos asociados con la capacidad de señalización de los conmutadores, que están incluidos en la inversión en conmutación.

vi) Inversión en soporte.

La inversión en soporte incluye:

- La inversión de la planta de soporte:
 - Inmobiliario de red: edificios de las centrales, aire acondicionado, equipos de energía, bastidores.
 - Sistemas de gestión.
- La inversión en cualquier sistema específico para red: Sistemas de inventario, sistema de facturación específico.
- La inversión en inmobiliario y sistemas que se imputa al personal de red si su valor es relevante (puede aprovecharse una

edificación utilizada para equipos de red para albergar al personal de red).

La inversión en soporte es modelada por el Modelo de Costos como una fracción fija (porcentaje) de la inversión en conmutación, transmisión y señalización. Este valor ha sido estimado por el OSIPTEL en base a la información reportada por Telefónica durante el proceso de establecimiento del factor de productividad.

VI.2.4. CÁLCULO DEL COSTO ANUAL.

Habiéndose calculado las inversiones en red, según lo descrito en la sección anterior, el Modelo de Costos determina lo siguiente:

- a) La inversión en soporte.- Se calcula multiplicando la inversión en red por el parámetro “supportinfrac” del modelo, que representa la inversión en soporte como una fracción de las inversiones en conmutación y transmisión.
- b) El gasto por mantenimiento de la conmutación.- Se calcula multiplicando la inversión en conmutación por el parámetro “switchmaintfrac” del modelo, que representa el costo de mantenimiento como un porcentaje de la inversión en conmutación asociada a tráfico.
- c) El gasto por mantenimiento de la transmisión.- Es calculado multiplicando la inversión en la red de transmisión por el parámetro “transmaintfrac” del modelo, que representa el costo de mantenimiento como un porcentaje de la inversión en transmisión.
- d) El gasto por mantenimiento del soporte.- Es calculado multiplicando la inversión en soporte por el parámetro “supportmaintfrac” del modelo, el cual representa el costo de mantenimiento como un porcentaje de la inversión en soporte.
- e) El gasto por operación de red.- Es calculado multiplicando la inversión de conmutación, de transmisión y de soporte por el parámetro

“networkopfrac” del modelo, que representa el costo de operación como un porcentaje de la inversión en red.

- f) El costo de *overhead*.- Es calculado multiplicando la inversión de conmutación, de transmisión y de soporte por el parámetro “overheadfrac” del modelo, el cual representa el costo de *overhead* como un porcentaje de la inversión en red.

El método que utiliza el Modelo de Costos para calcular el costo anual de la inversión es el de anualidad financiera. Este método es el que se emplea en los modelos de evaluación económica del tipo *Bottom-Up* que planifican a un solo año, dado que en estos modelos se conoce el activo bruto del año pero no el punto de amortización. La idea del método de la anualidad financiera es calcular un valor fijo para cada año que incluye el costo de amortización y el costo de capital. Es la misma idea que se sigue en el cálculo de la anualidad fija en un crédito: al principio hay más intereses y después unos mayores costos de amortización del crédito.

Para un componente de red la fórmula del costo anual C asociado a una inversión A es:

$$C = \frac{A \cdot k}{1 - (1 + k)^{-N}} \dots\dots\dots(6.14)$$

Donde:

- k : Es el WACC^[26], que representa la tasa de retorno.
- N : Corresponde a la vida útil del componente de red.

Finalmente, el costo anual de cada componente de red es obtenido por el Modelo de Costos como la suma de:

- El costo anual de la inversión en red.
- El costo anual de la inversión en soporte.

²⁶ WACC (*Weighted Average Cost of Capital*).- En términos simples representa el rendimiento mínimo que una empresa debe ganar sobre la base de activos existentes, para satisfacer a sus acreedores, propietarios y otros proveedores de capital, Este tema no es motivo de análisis en la presente Tesis.

- El gasto anual por mantenimiento de: conmutación, transmisión y soporte.
- El gasto anual por operación.
- El gasto anual de *overhead*.

Para el caso del costo anual de los enlaces vía satélite, deben añadirse los siguientes gastos:

1. Alquiler de ancho de banda en el transpondedor y del costo asociado al transporte de las llamadas mediante la red terrestre desde Lima hasta la central de destino en el departamento correspondiente.

Para cada enlace vía satélite, el gasto por alquiler de ancho de banda en el transpondedor está dado por la expresión que a continuación se indica:

$$2 \times \text{Ceiling}(\text{NumeroDeE1sTXVíaSatélite} \times \text{CompresiónDCME}) \times \text{NumDeMHzporMbps} \times \text{CosteAlquilerAnualSatelitePorMHz} \dots\dots\dots(6.15)$$

Donde:

$2 \times \text{Ceiling}(\text{NumeroDeE1sTXVíaSatélite} \times \text{CompresiónDCME}) \times \text{NumDeMHzporMbps}$ es el número de MHz que es necesario alquilar para cada enlace vía satélite.

Se ha obtenido multiplicando el número de E1s por dos para conseguir los Mbps, y multiplicando de nuevo el resultado por el factor de compresión del equipo DCME (*Digital Circuit Multiplication Equipment*) y por el número de MHz por Mbps, que depende de la codificación de los datos. Ambos son parámetros de entrada del modelo.

En cuanto a la función *Ceiling*, que redondea su argumento al entero superior más cercano, se emplea para que el número de E1s transmitidos sea entero.

Para obtener el costo anual, se multiplica el resultado anterior por el costo del alquiler anual de 1MHz en el transpondedor.

El valor obtenido para cada enlace se divide por dos (para dividirlo en partes iguales entre la central de origen y de destino).

2. El costo asociado al transporte de las llamadas mediante la red terrestre desde Lima hasta la central de destino en el departamento correspondiente. Su valor es equivalente al cargo por transporte conmutado de larga distancia nacional.

VI.2.5. ASIGNACIÓN DEL COSTO ANUAL POR SERVICIO.

El costo anual de conmutación corresponde a la suma del costo anual de conmutación calculado para cada central de conmutación.

El costo anual de los enlaces de transmisión se reparte entre los servicios de voz, circuitos alquilados, ADSL y circuitos de interconexión, en función del número de E1 correspondiente a cada uno de estos servicios, respecto del total de E1 del enlace de transmisión.

El costo de los equipos de transmisión ha sido asignado previamente a los enlaces de transmisión correspondiente, pues el Modelo de Costos dimensiona para cada enlace, sus propios equipos de transmisión.

VI.2.6. CÁLCULO DEL COSTO POR MINUTO DE INTERCONEXIÓN.

El modelo calcula el costo anual total de los servicios de voz, para cada uno de los departamentos, como la suma de los costos anuales de las centrales de conmutación del departamento y los costos anuales de los enlaces de transmisión del departamento. El costo así obtenido es dividido por los minutos anuales de los servicios de voz, obteniéndose como resultado el costo por minuto del servicio de interconexión en cada departamento.

Para obtener el costo del minuto de interconexión a nivel nacional, el costo por minuto de cada departamento es multiplicado por el peso del departamento a nivel nacional. Dicho peso está dado por el porcentaje que se obtiene al dividir el tráfico de voz (minutos de uso anual) de cada departamento por el tráfico de voz a nivel nacional.

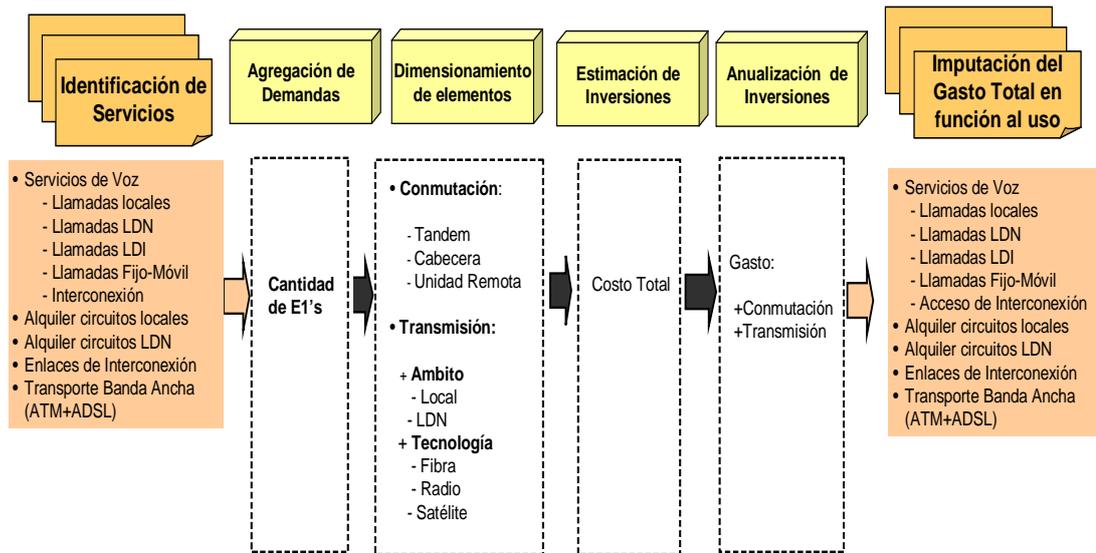
El costo del minuto de interconexión nacional es la suma de los valores obtenidos para todos los departamentos.

VI.2.7. ESQUEMA GENERAL DEL MODELO DE COSTOS.

Los acápite anteriores describen cada una de las actividades desarrolladas por el modelo de costos del OSIPTEL con la intención de establecer el cargo tope de interconexión de una determinada prestación.

La relación entre cada una de las etapas del modelo puede visualizarse en la Figura N° 6.13. En dicha figura se aprecian cada una de las fases involucradas en la fijación de un cargo de interconexión.

Figura N° 6.13.- Etapas del Modelo de Costos de Fijación de Cargos de Interconexión



Fuente: Modelo de Costos de una Red Integral del OSIPTEL.

En el caso de empresas multiproducto, es necesario identificar previamente todos los servicios que son prestados por el operador.

Con la información de las demandas de cada uno de los servicios, se determina la demanda total para cada elemento, en función a la cual se realiza el dimensionamiento de los elementos de la red de la manera como ha sido descrita anteriormente.

El siguiente paso consiste en estimar las inversiones utilizando como insumos la cantidad de elementos dimensionados y el costo de cada uno de ellos.

Posteriormente se realiza el cálculo del gasto anual mediante la anualización de las inversiones obtenidas incluyendo también los gastos por operación y mantenimiento, para finalmente, hacer una desagregación de los costos

obtenidos y asignarlos en función a los servicios que son prestados con dicha infraestructura de red.

Tal como ha sido detallado en párrafos anteriores, para la determinación del cargo tope de interconexión de un determinado servicio, se utilizará como insumos tanto el costo asignable a dicho servicio como la cantidad de minutos que hacen uso del servicio.

CAPÍTULO VII

PROPUESTA DE MEJORA DEL MODELO DE COSTOS USADO PARA EL CÁLCULO DEL CARGO DE INTERCONEXIÓN

En los primeros capítulos de la presente Tesis se ha descrito la importancia para el desarrollo del mercado de las telecomunicaciones, de una adecuada fijación de los cargos de interconexión, orientándolos a los costos eficientes de su prestación.

Si bien existen diferentes metodologías para la fijación de los cargos, en la mencionada parte de la Tesis se puede apreciar que no todas las metodologías son adecuadas para los objetivos de la regulación, de allí que el método más utilizado por los reguladores es el denominado *Bottom-Up*, para lo cual se hace uso de modelos de costos del tipo TELRIC, los cuales permiten desarrollar y costear una red de telecomunicaciones, a partir de los costos de sus elementos.

En los capítulos IV y V se describieron las características del Cargo de Interconexión por la Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local y la metodología que actualmente es utilizada para la determinación de este cargo de interconexión en el Perú.

El cargo antes referido es uno de los más importantes para el desarrollo del mercado, motivo por el cual, su cálculo debe realizarse de la manera correcta, a fin de no perjudicar a los operadores y al mercado en general.

Lo anterior no sería posible si no se utilizara la metodología adecuada para el cálculo del cargo. La metodología utilizada por el regulador para la fijación del cargo se ve plasmada en un modelo de costos que viene a ser el instrumento que permite al regulador cumplir con el objetivo de fijar el cargo de interconexión orientándolo hacia los costos eficientes de su prestación. En la medida que el modelo de costos

que se utilice para la fijación del cargo de interconexión contenga la información y metodologías de dimensionamiento y cálculo adecuadas, los resultados que se obtengan reflejarán los costos de una red eficiente y real.

En línea con lo antes señalado, se ha revisado el Modelo de Costos que actualmente utiliza el OSIPTEL para la fijación del Cargo de Interconexión por la Terminación de Llamadas en la Red del Servicio de Telefonía Fija Local, y que ha sido descrito en detalle en el capítulo anterior, observándose que puede realizarse una mejora en dicho modelo, en lo que concierne a la metodología de configuración de la red de transmisión, tal como se describe en la siguiente sección de este capítulo.

VII.1.DEFICIENCIA EN LA RED DE TRANSMISIÓN.

El Modelo de Costos actual realiza el costeo de la red de transmisión en base a la obtención de las menores distancias para los enlaces de transmisión que une los diferentes nodos de la red. Sin embargo, dado que el objetivo de la regulación de cargos es la de orientarlos a los costos eficientes (menores costos) de la prestación de la instalación esencial, la configuración que obtiene el modelo actual no necesariamente genera el menor costo para la red, pues el análisis que realiza es sólo a nivel de distancias y no a nivel de configuración total de la red.

Lo anterior podría implicar que, aún cuando el Modelo de Costos del OSIPTEL ha ido mejorándose continuamente como resultado de las diferentes regulaciones de cargos, existirían aspectos como el descrito, factibles de ser mejorados en dicho modelo, con la finalidad de convertirlo en un instrumento cada vez más exacto, que permita no sólo determinar el cargo del operador más grande del Perú, sino que permita el cálculo de cualquier cargo requerido por el mercado, con sólo introducir los datos necesarios y correctos en el modelo.

Una alternativa que ha sido evaluada durante el desarrollo de la presente Tesis, es la de desarrollar un módulo que sea incorporado al Modelo de Costos del OSIPTEL, que permita realizar un análisis de las posibles configuraciones

de la red de transmisión al interior de cada departamento, determinando y escogiendo aquella configuración que genere el menor costo para la red y por ende, para el operador.

En este contexto, se ha desarrollado una solución al problema planteado, cuya descripción es detallada en la siguiente sección de este capítulo.

VII.2.METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE LA RED DE TRANSMISIÓN.

Como fuera descrito en párrafos anteriores, actualmente el Modelo de Costos del OSIPTEL realiza el cálculo de los costos de la red de transmisión al interior de cada departamento, basando su análisis únicamente en las distancias de los enlaces que unen los nodos de conmutación de dicho departamento, sin tomar en cuenta si la configuración que se consigue genera el menor costo para la red.

La propuesta de mejora del modelo que se plantea en la presente Tesis está basada en la obtención de la configuración de la red de transmisión que genere los menores costos para la red.

Para tal fin, se ha desarrollado un módulo, al que se ha denominado “OPTIMUS”, que desarrolla una serie de configuraciones para la red de transmisión al interior de un departamento, a partir de la información de los nodos que no forman parte de un anillo.

Para cada una de las configuraciones, el módulo obtiene los costos totales de la red, los cuales son comparados entre sí, quedándose finalmente con aquella configuración de la red de transmisión que genere el menor costo.

El módulo “OPTIMUS”, está directamente relacionado con las etapas de “dimensionamiento de elementos (transmisión)” y “estimación de inversiones”, mostradas en la Figura N° 6.13, mostrada en el punto VI.2.7 de la presente Tesis.

Para el logro de los objetivos, el módulo “OPTIMUS” hace uso de información y cálculos desarrollados por el Modelo de Costos, de acuerdo a la descripción

detallada que se ha realizado en el capítulo VI. “Modelo de costos para el cálculo del cargo de interconexión por la terminación de llamadas”.

La información y cálculos previos utilizados por el módulo “OPTIMUS” son los siguientes:

- La ubicación georeferenciada de los nodos de conmutación.
- Los precios de los equipos e infraestructura de transmisión.
- El tráfico a ser cursado desde/hacia un nodo de conmutación.
- Para los enlaces que usan fibra óptica: Cantidad de E1s requeridos, distancia entre empalmes, tipo de despliegue de la red (urbano, interurbano), precios de equipos para cada velocidad, etc.
- Para los enlaces de radio (microondas): Cantidad de E1s, distancia de los saltos, número de repetidores, precios de equipos para cada velocidad, entre otros.

Las configuraciones que desarrolla el módulo “OPTIMUS” son en función a grupos de unidades remotas y su respectiva central cabecera. Esto quiere decir que si en un determinado departamento existen dos centrales cabecera con sus respectivas unidades remotas, el módulo “OPTIMUS” realizará el análisis para cada uno de los dos grupos de centrales (cabecera más unidades remotas), para finalmente, al sumar ambos costos, hallar el costo de toda la red en tal departamento.

A continuación se describe la metodología planteada y la lógica de funcionamiento del módulo “OPTIMUS”.

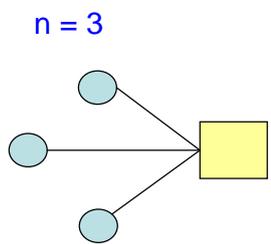
VII.2.1. PROCESAMIENTO DE LAS MÚLTIPLES ALTERNATIVAS DE CONFIGURACIÓN.

Tomando en cuenta que el módulo “OPTIMUS” realiza una comparación de las configuraciones posibles para la red de transmisión, lo primero que se ha hecho es calcular la capacidad de procesamiento que sería necesario realizar en caso se tuvieran que analizar todas las posibles configuraciones

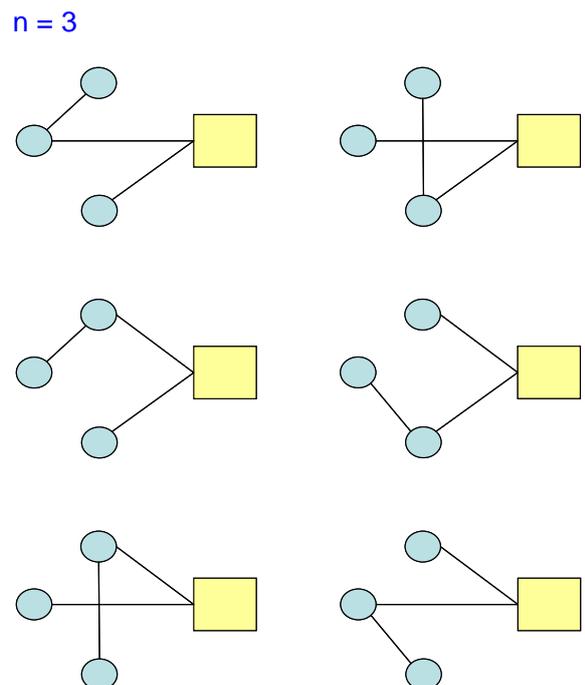
de red de transmisión que se pueden hacer con los nodos de conmutación de cada uno de los departamentos.

Así, si se tiene un grupo de “n” unidades remotas conectados a una central cabecera, existen $(n+1)^{n-1}$ configuraciones de red que pueden obtenerse, asegurando que todas las unidades remotas estén conectadas a su central cabecera. Esto se demuestra de la siguiente manera:

- Para “n” unidades remotas, se parte de la configuración en la que todos se conectan directamente a la central cabecera (configuración estrella). Existirá sólo una configuración en estrella.

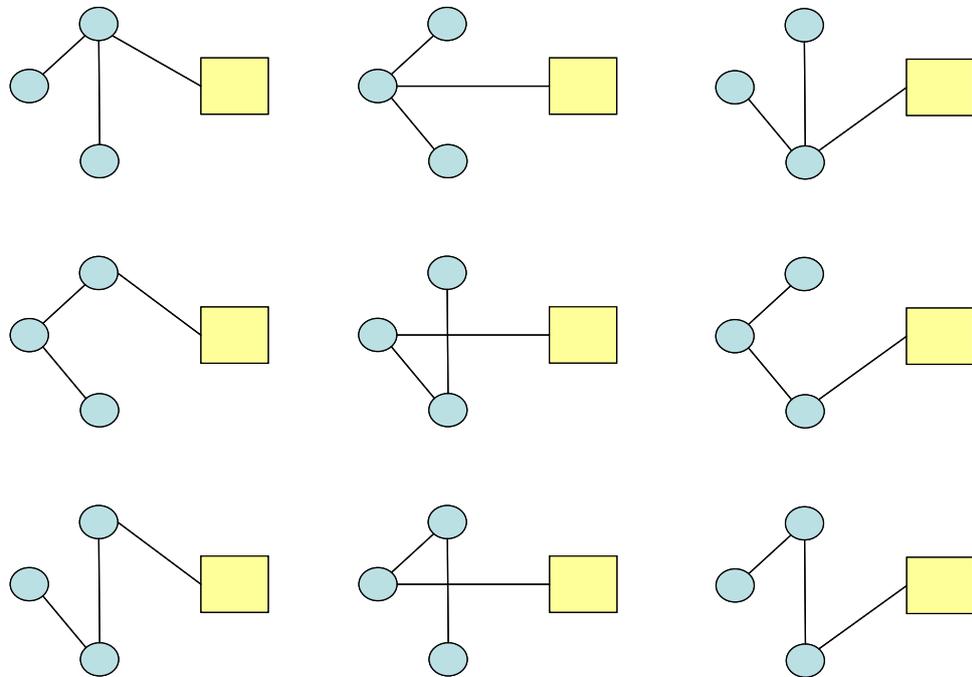


- Luego está la siguiente configuración que se obtiene desconectando un nodo cualquiera y conectándolo a través de los demás. Esto da un total de $n(n-1)$ configuraciones.



- El siguiente paso es desconectar dos nodos al azar, consiguiéndose $n^2 \frac{(n-1)(n-2)}{2}$ configuraciones.

$n = 3$



- Si proseguimos desconectando nodos, veremos que el último caso se da cuando se desconectan $n-1$ nodos, y existen n^{n-1} configuraciones, es decir, “n” veces la cantidad total de configuraciones existentes si hubiesen “n-1” nodos.
- De lo anterior se obtiene que la totalidad de configuraciones está dada por la siguiente sumatoria: $\sum_{i=0}^{n-1} \binom{n-1}{i} n^{n-1-i}$, la cual al ser simplificada da la expresión: $(n+1)^{n-1}$.

Por otro lado, en cada grupo de centrales, la cantidad de enlaces de una configuración dada, va a depender de la cantidad de unidades remotas. Por lo tanto, dependiendo de la cantidad de unidades remotas en cada grupo, el cálculo del costo total de sólo una de las configuraciones tomará “n” veces el tiempo para calcular un simple enlace.

Asumamos que el modelo calcula un enlace en 10^{-6} segundos en el mejor de los casos. Si tomamos $n = 1$, entonces $(n + 1)^{n-1}$ es igual a uno (01) también; por lo tanto, el tiempo total requerido es de 10^{-6} segundos para todo el cálculo.

Si realizamos un cálculo de los tiempos de procesamiento para diferentes valores de “n”, obtendremos como resultado la siguiente tabla:

Tabla N° 7.1.- Tiempos de procesamiento para diferentes valores de “n”

n	Cantidad de Combinaciones	Cantidad de Costeos	Segundos	Días
1	1	1	0,000001	0,0000000000116
2	3	6	0,000006	0,0000000000694
3	16	48	0,000048	0,0000000005556
4	125	500	0,000500	0,0000000057870
5	1 296	6 480	0,006480	0,0000000750000
6	16 807	100 842	0,100842	0,0000011671528
7	262 144	1 835 008	1,835010	0,0000212385417
8	4 782 969	38 263 752	38,263800	0,0004428680556
9	100 000 000	900 000 000	900,000000	0,0104166666667
10	2 357 947 691	23 579 476 910	23 579,500000	0,2729108796296
11	61 917 364 224	681 091 006 464	681 091,000000	7,8829976851852
12	1 792 160 394 037	21 505 924 728 444	21 505 900,000000	248,9108796296300

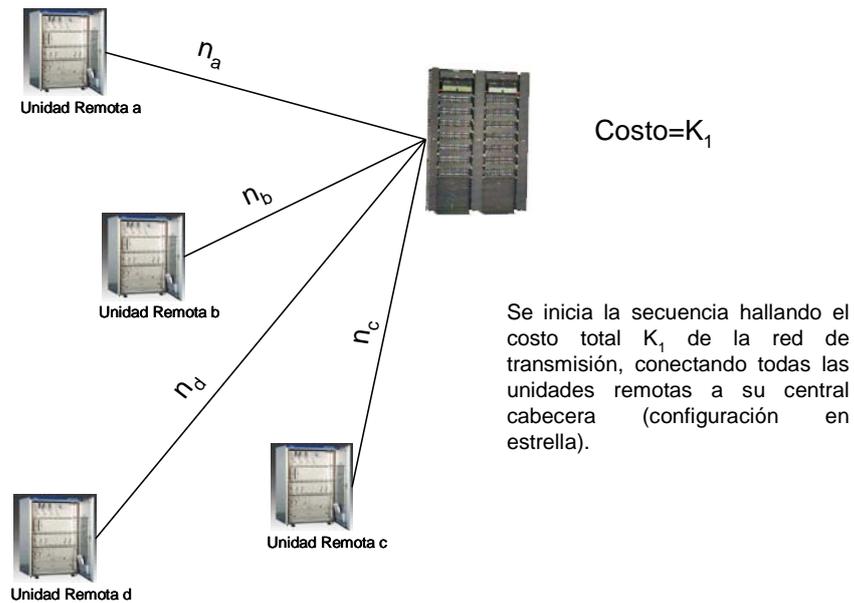
En la tabla anterior se observa que si se tuviese un grupo con 12 unidades remotas, el tiempo de cálculo podría demorar más de 248 días. Ello implica que, para un mayor número de unidades remotas por grupo, estos cálculos podrían demorar mucho más tiempo.

Por tal motivo, el módulo “OPTIMUS” que se propone como solución, debe formular una metodología que plantee una configuración que minimice los costos de la red de transmisión y a la vez reduzca el tiempo de procesamiento.

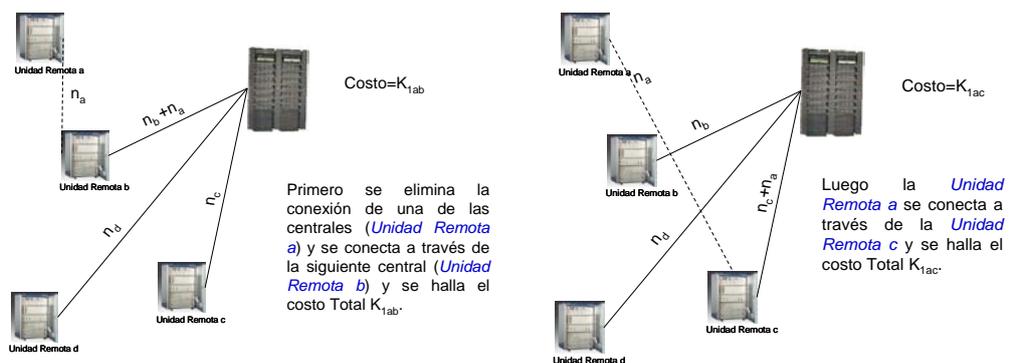
VII.2.2. FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO “OPTIMUS”.

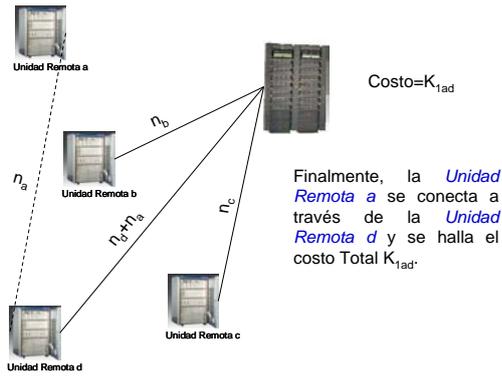
El módulo “OPTIMUS” que se plantea como solución en la presente Tesis, realiza el proceso que a continuación se describe gráficamente:

- Inicia el proceso considerando que cada una de las unidades remotas de un grupo determinado, están conectadas directamente con su central cabecera en una configuración en estrella. Estando en este estado, se halla el costo total de la red.

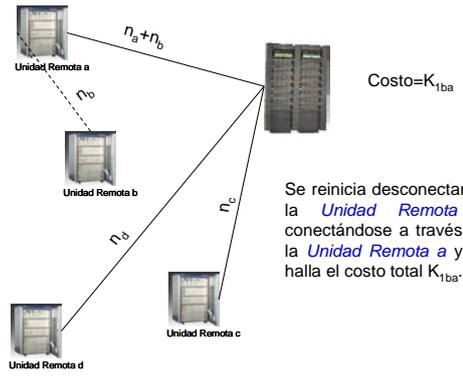


- En seguida realiza lo siguiente: cada una de las unidades remotas se “desconecta” de la central cabecera y se procede a conectarla a través de cualquiera de las otras unidades remotas, acumulando los canales de voz, datos y circuitos correspondientes. En cada una de las operaciones se halla el costo total de la red para cada una de las configuraciones.

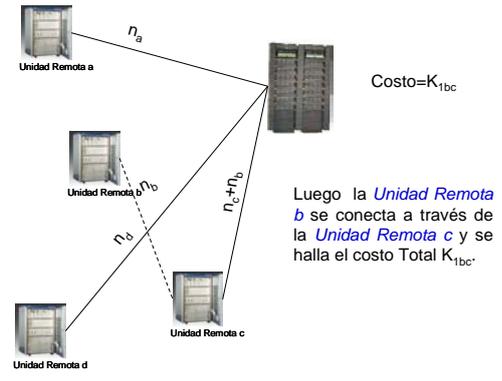




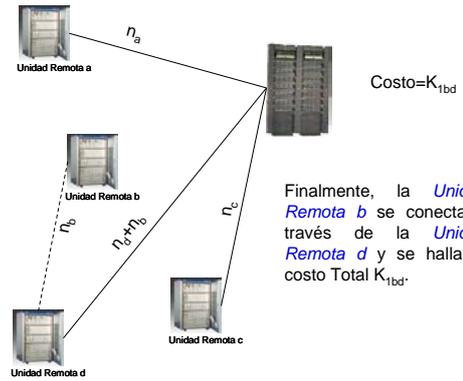
Finalmente, la *Unidad Remota a* se conecta a través de la *Unidad Remota d* y se halla el costo Total K_{1ad} .



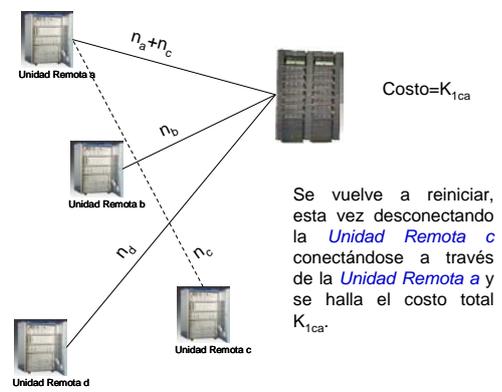
Se reinicia desconectando la *Unidad Remota b* conectándose a través de la *Unidad Remota a* y se halla el costo total K_{1ba} .



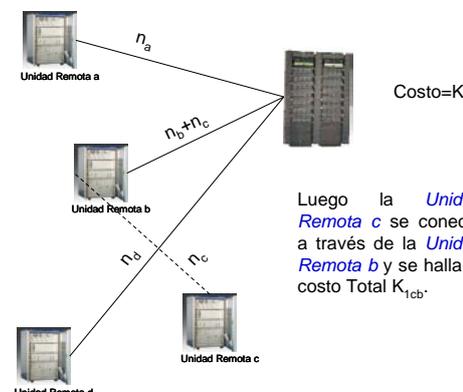
Luego la *Unidad Remota b* se conecta a través de la *Unidad Remota c* y se halla el costo Total K_{1bc} .



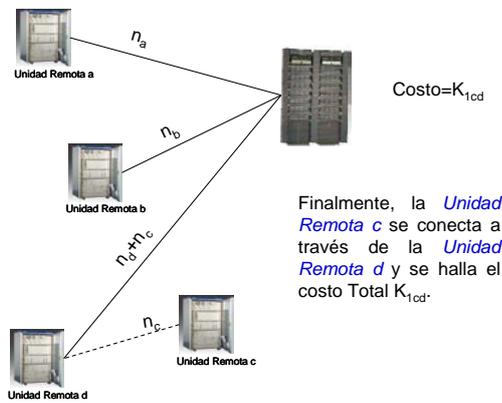
Finalmente, la *Unidad Remota b* se conecta a través de la *Unidad Remota d* y se halla el costo Total K_{1bd} .



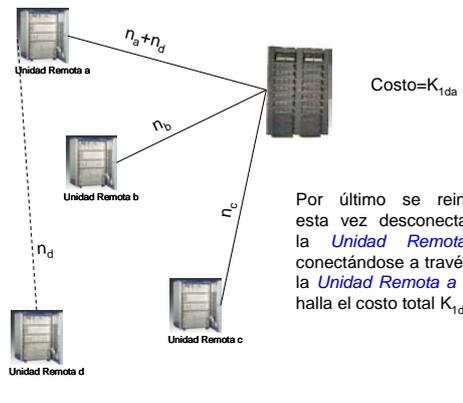
Se vuelve a reiniciar, esta vez desconectando la *Unidad Remota c* conectándose a través de la *Unidad Remota a* y se halla el costo total K_{1ca} .



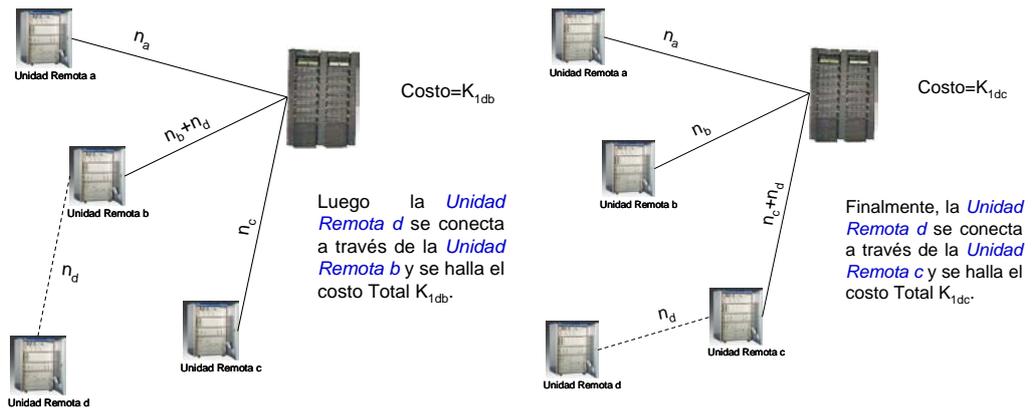
Luego la *Unidad Remota c* se conecta a través de la *Unidad Remota b* y se halla el costo Total K_{1cb} .



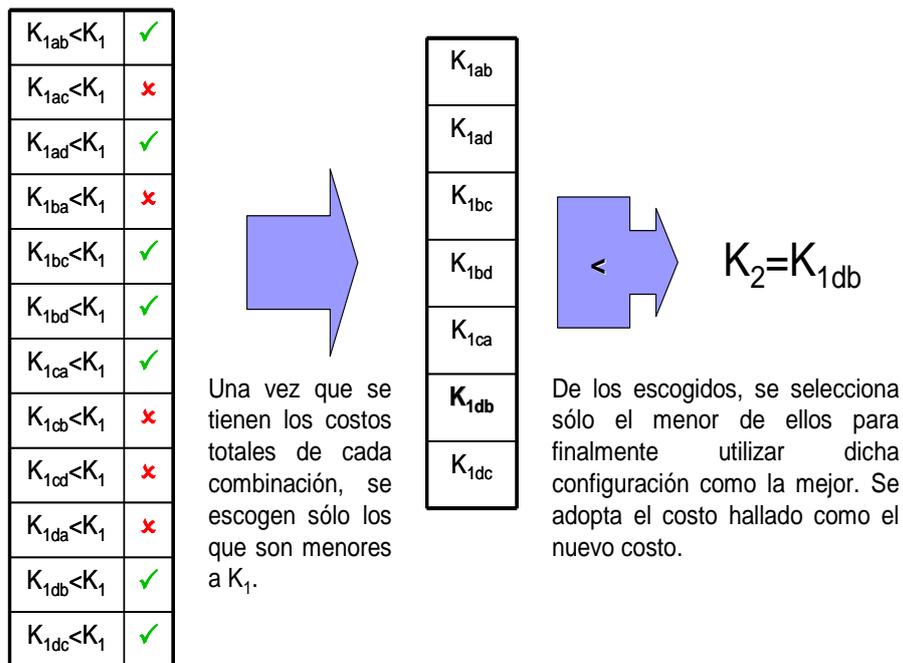
Finalmente, la *Unidad Remota c* se conecta a través de la *Unidad Remota d* y se halla el costo Total K_{1cd} .



Por último se reinicia, esta vez desconectando la *Unidad Remota d* conectándose a través de la *Unidad Remota a* y se halla el costo total K_{1da} .

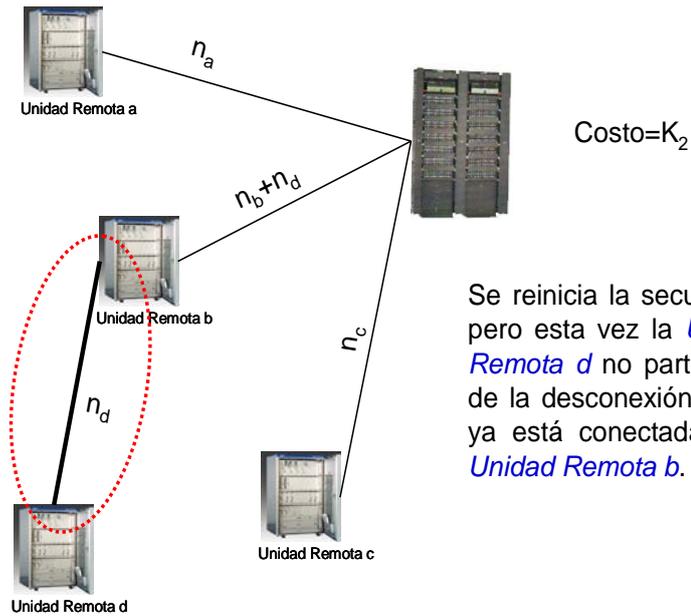


- Luego se comparan todos los costos totales hallados seleccionando aquellos que reflejan un costo menor al de la configuración inicial. De esta selección, se escoge el menor.



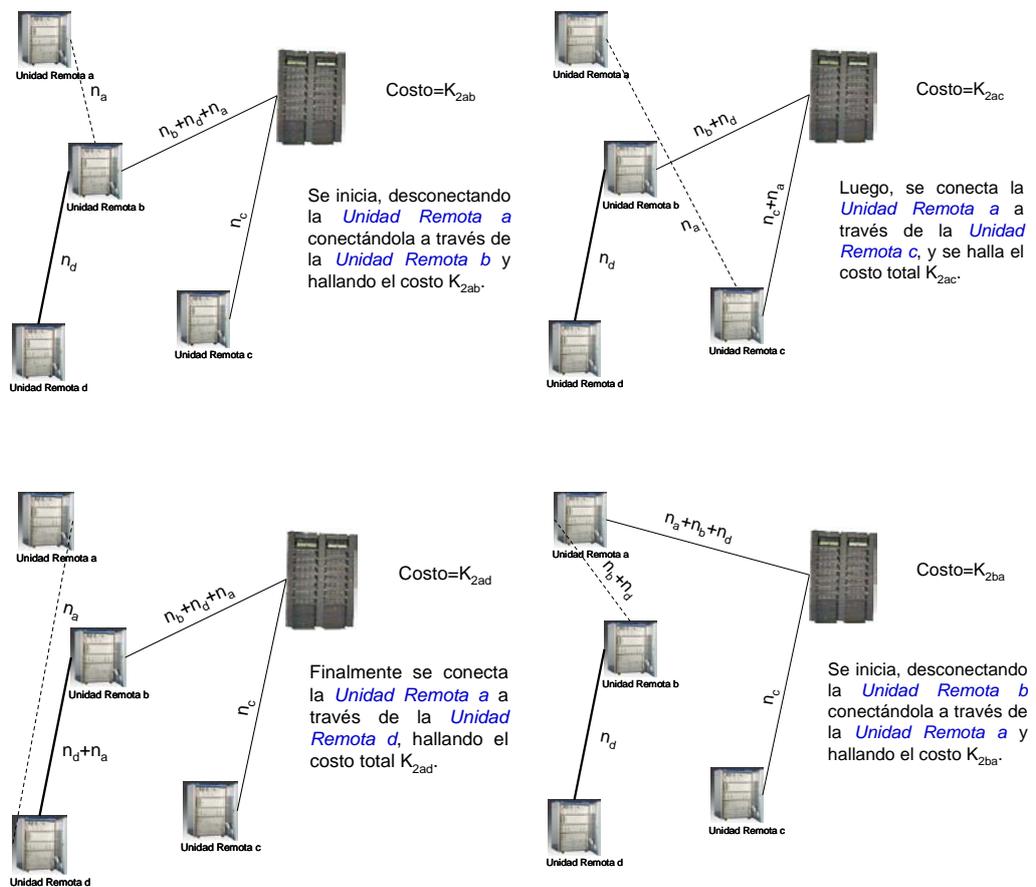
- Aquel nodo que se desconectó y reconectó mediante otro nodo, y que dio la configuración de menor costo, ya no estará sujeto a “desconexión” en las siguientes pruebas.

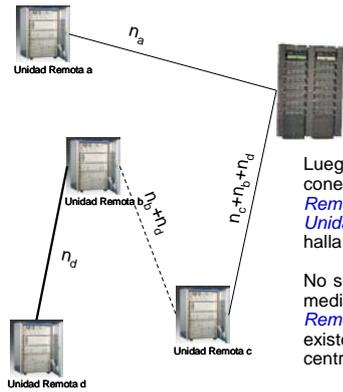
En el ejemplo gráfico, la unidad remota “d”, permanecerá conectada a la unidad remota “b”, en las siguientes secuencias.



Se reinicia la secuencia, pero esta vez la *Unidad Remota d* no participará de la desconexión, pues ya está conectada a la *Unidad Remota b*.

- Se repite la operación hasta que no exista ninguna configuración que reduzca más los costos.

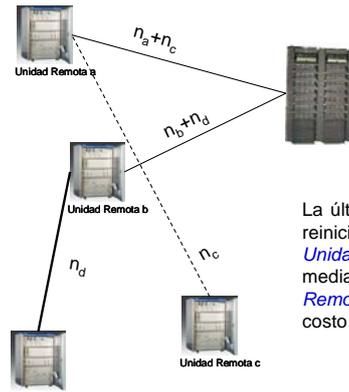




Costo= K_{2bc}

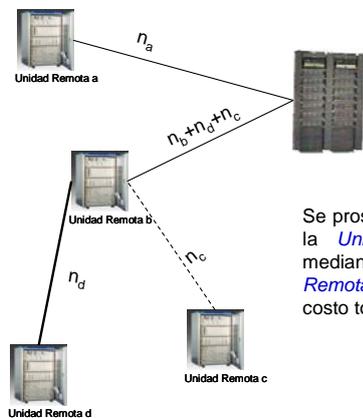
Luego, se continúa conectando la *Unidad Remota b* a través de la *Unidad Remota c*, y se halla el costo total K_{2bc} .

No se realiza la conexión mediante la *Unidad Remota d*, ya que no existe conexión con la central cabecera.



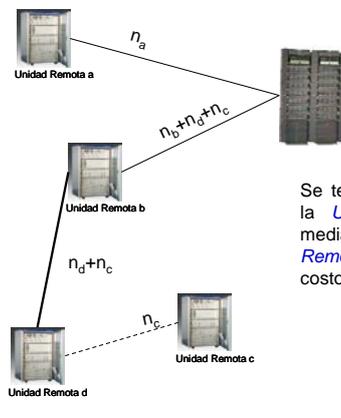
Costo= K_{2ca}

La última secuencia se reinicia conectando la *Unidad Remota c* mediante la *Unidad Remota a*, hallando el costo total K_{2ca} .



Costo= K_{2cb}

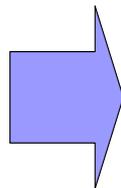
Se prosigue conectando la *Unidad Remota c* mediante la *Unidad Remota b*, hallando el costo total K_{2cb} .



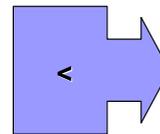
Costo= K_{2cd}

Se termina conectando la *Unidad Remota c* mediante la *Unidad Remota d*, hallando el costo total K_{2cd} .

$K_{2ab} < K_2$	✓
$K_{2ac} < K_2$	✗
$K_{2ad} < K_2$	✓
$K_{2ba} < K_2$	✗
$K_{2bc} < K_2$	✗
$K_{2ca} < K_2$	✓
$K_{2cb} < K_2$	✓
$K_{2cd} < K_2$	✓



- K_{2ab}
- K_{2ad}
- K_{2ca}
- K_{2cb}
- K_{2cd}

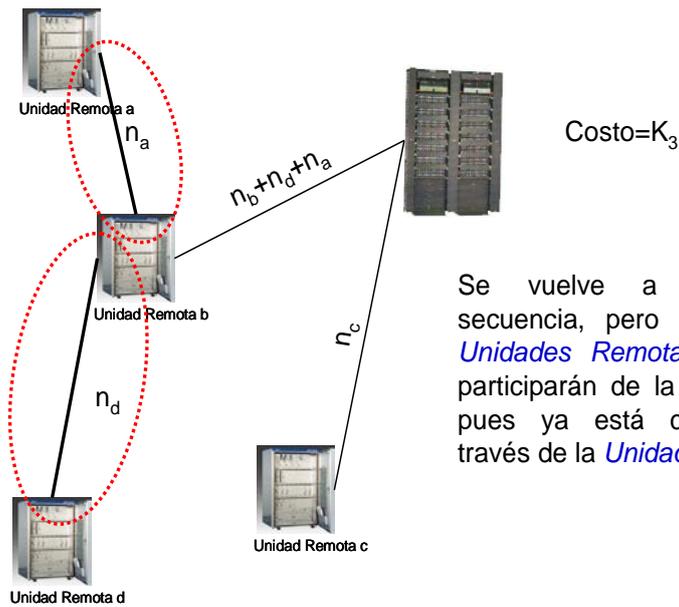


$K_3 = K_{2ab}$

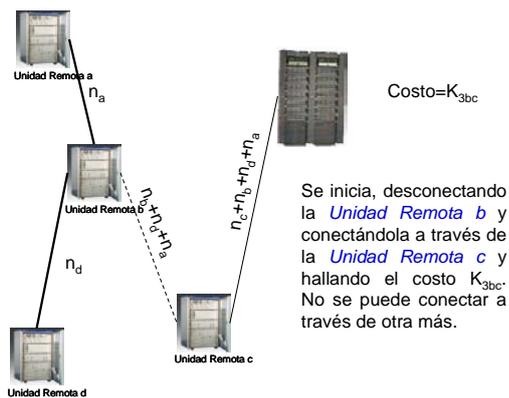
Una vez que se tienen los costos totales de cada combinación, se escogen sólo las que son menores a K_2 .

De los escogidos, se selecciona sólo el menor de ellos para finalmente utilizar dicha configuración como la mejor.

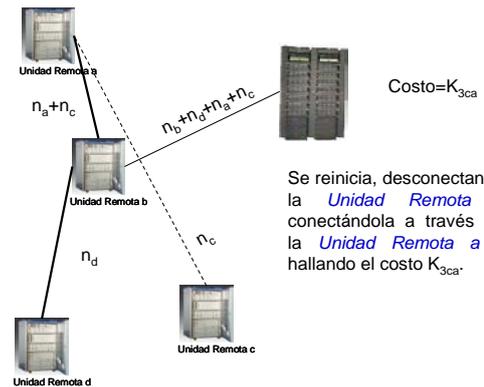
Se adopta el costo hallado como el nuevo costo.



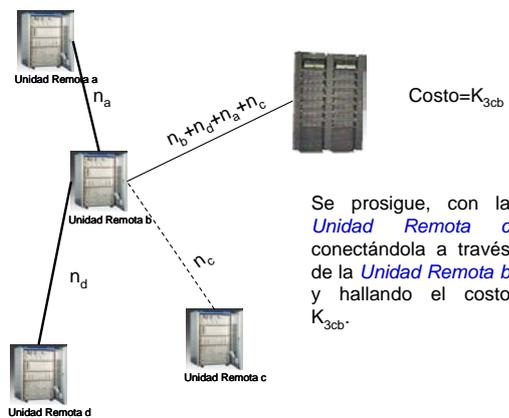
Se vuelve a reiniciar la secuencia, pero esta vez las *Unidades Remotas a* y *d* no participarán de la desconexión, pues ya está conectadas a través de la *Unidad Remota b*.



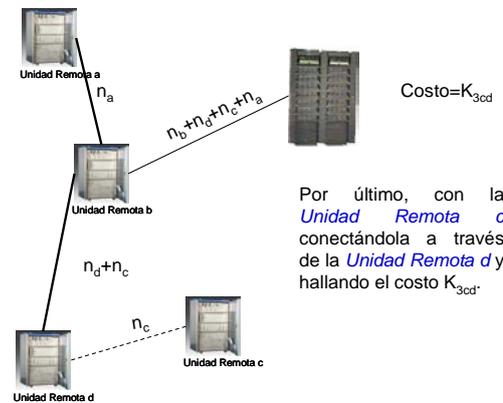
Se inicia, desconectando la *Unidad Remota b* y conectándola a través de la *Unidad Remota c* y hallando el costo K_{3bc} . No se puede conectar a través de otra más.



Se reinicia, desconectando la *Unidad Remota c* conectándola a través de la *Unidad Remota a* y hallando el costo K_{3ca} .

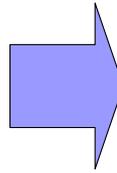


Se prosigue, con la *Unidad Remota c* conectándola a través de la *Unidad Remota b* y hallando el costo K_{3cb} .



Por último, con la *Unidad Remota c* conectándola a través de la *Unidad Remota d* y hallando el costo K_{3cd} .

$K_{3bc} < K_3$	✗
$K_{2ca} < K_3$	✗
$K_{2cb} < K_3$	✗
$K_{2cd} < K_3$	✗

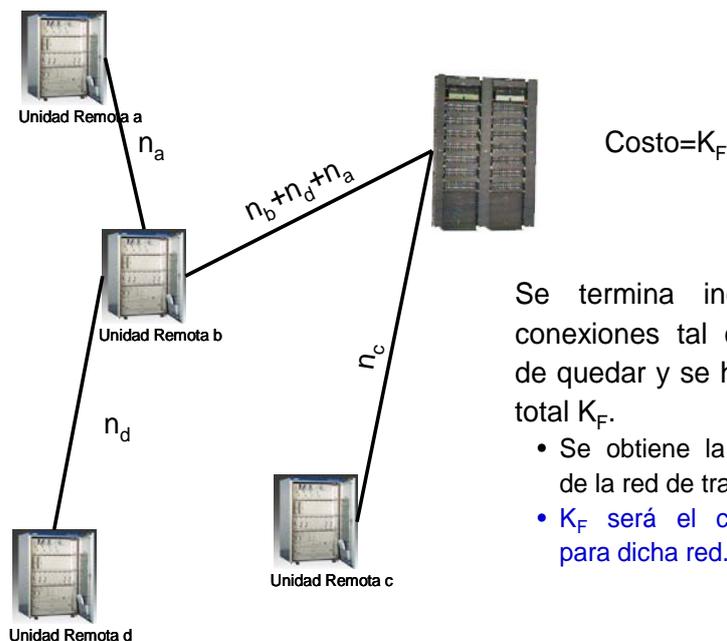


$$K_F = K_3$$

Una vez que se tienen los costos totales de cada combinación, se escogen sólo las que son menores a K_3 .

Si se da el caso que ninguno es menor, entonces el costo total de la red queda como estuvo en su última configuración.

Configuración de la red de transmisión que genera el menor costo para la red



Se termina indicando las conexiones tal como deben de quedar y se halla el costo total K_F .

- Se obtiene la configuración de la red de transmisión.
- K_F será el costo eficiente para dicha red.

El procedimiento antes descrito implica que en cada una de las secuencias se deja de evaluar una unidad remota adicional, es decir, se parte de una configuración de red en estrella, formado por las “n” unidades remotas y la central cabecera, cuyo costo será referencial para los siguientes análisis (esta sería la “Secuencia 0”). A partir de allí se inician las secuencias de evaluación.

En la Secuencia 1 se desconecta una unidad remota a la vez y se la va conectando a la central cabecera a través de otra unidad remota. Lo anterior implica que se tendrán $n(n-1)$ configuraciones de red y costos. De todos estos $n(n-1)$ costos totales se escoge aquel que es menor al costo total de la Secuencia 0. La configuración de red que dio origen a este costo total menor, será la nueva referencia.

Luego se inicia un proceso similar, la Secuencia 2, utilizando la configuración de red antes obtenida, como configuración de partida. Esta vez, la unidad remota que se está conectando a la central cabecera mediante otra unidad remota, mantendrá su conexión y ya no entrará en el análisis. Por tanto, en la Secuencia 2 solamente será posible realizar $n(n-2)$ combinaciones, originándose tal cantidad de configuraciones de red y de costos totales. Se repite la evaluación para determinar si existe un costo total que sea menor al obtenido en la Secuencia 1. Si lo hay, se repite el procedimiento (Secuencia 3) pero utilizando como referencia la configuración de red que dio origen a dicho costo total en la Secuencia 2 y sin considerar en la evaluación las dos unidades remotas que ya están siendo conectadas a la central cabecera por medio de otras unidades remotas. Si por el contrario, en la Secuencia 2 no se obtuvo una configuración de red cuyo costo total sea menos al obtenido en la Secuencia 1, el proceso se detiene y por tanto, la configuración de red que generó el menor costo sería la obtenida en la Secuencia 1.

Como se pudo apreciar en la descripción gráfica, si en cada secuencia se obtiene un costo total menor al de la secuencia anterior, el proceso continuará pero en la nueva secuencia se evaluará una unidad remota menos. Esto significa que en la Secuencia 3 se obtendrán $n(n-3)$ configuraciones de red y costos totales, en la Secuencia 4 se obtendrán $n(n-4)$ configuraciones de red y costos totales y así sucesivamente. En el peor de los casos, se podría llegar hasta la Secuencia "n-1" en la cual se obtendrían $n(n-n-1)$ configuraciones de red y costos totales.

Por lo tanto, en el extremo, el número total de configuraciones de red y costos totales a evaluar estará dado por la sumatoria de los números de combinaciones obtenidos en cada secuencia.

Lo antes señalado se puede expresar de la siguiente manera:

Número máximo de configuraciones a evaluar =

$$1 + n(n-1) + n(n-2) + n(n-3) + \dots + n(n-n-1) = 1 + \sum_{i=1}^{n-1} n(n-i) \quad \dots\dots\dots(7.1)$$

Desarrollando la expresión anterior se obtiene que la cantidad máxima de combinaciones a evaluar será:

$$\frac{n^2(n-1)}{2} + 1 \quad \dots\dots\dots(7.2)$$

Con la metodología propuesta en el módulo “OPTIMUS”, tanto el número de combinaciones a evaluar como los tiempos de procesamiento para diferentes valores de “n” se reducen considerablemente en comparación con los valores mostrados en la Tabla Nº 7.1. Así, asumiendo la misma duración (10⁻⁶ segundos) para el cálculo de un enlace, entonces, con el módulo “OPTIMUS” los tiempos de procesamiento máximo requeridos son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla Nº 7.2.- Tiempos de procesamiento máximos con el módulo “OPTIMUS”

n	Cantidad de Combinaciones máximas a evaluar	Cantidad de Costeos	Segundos	Días
1	1	1	0,000001	0,0000000000116
2	3	6	0,000006	0,0000000000694
3	10	30	0,000030	0,0000000003472
4	25	100	0,000100	0,0000000011574
5	51	255	0,000255	0,0000000029514
6	91	546	0,000546	0,0000000063194
7	148	1 036	0,001036	0,0000000119907
8	225	1 800	0,001800	0,0000000208333
9	325	2 925	0,002925	0,0000000338542
10	451	4 510	0,004510	0,0000000521991
11	606	6 666	0,006666	0,0000000771528
12	793	9 516	0,009516	0,0000001101389

VII.2.3. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO “OPTIMUS”.

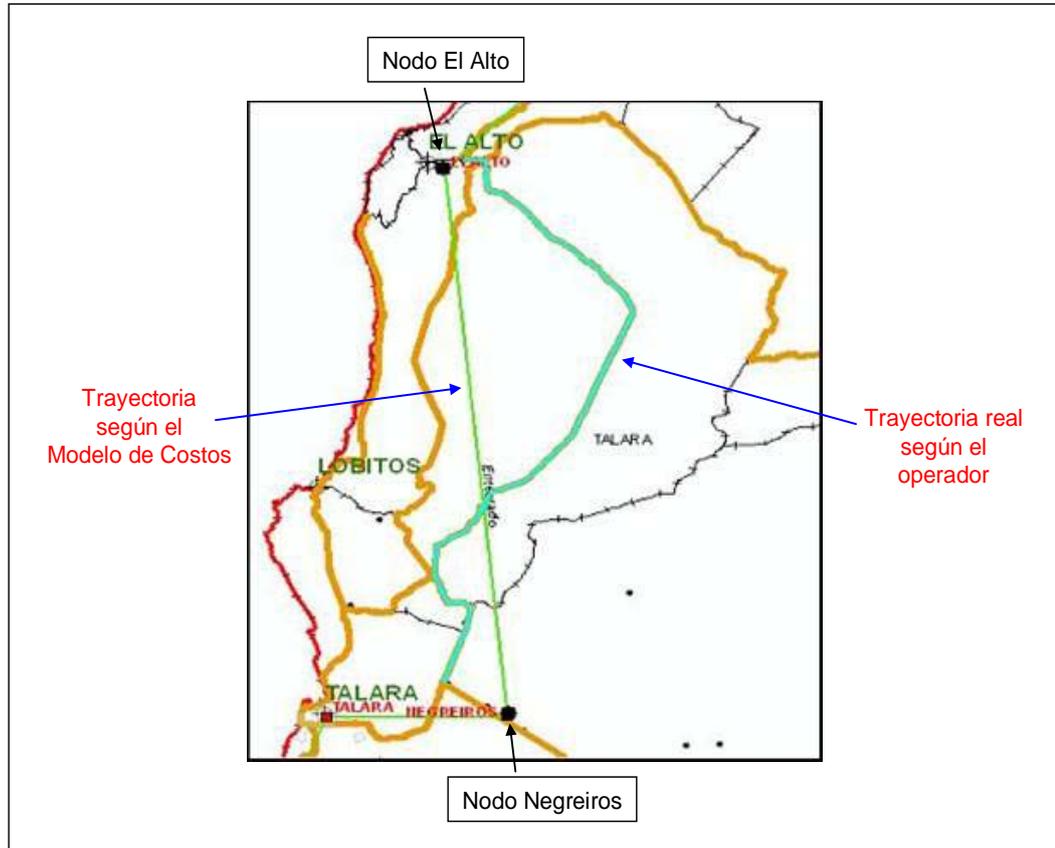
El módulo “OPTIMUS” ha sido desarrollado en lenguaje de programación *Mathematica*. El código de este módulo se encuentra en el Anexo I de la presente Tesis.

VII.2.4. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS RESULTADOS.

El módulo “OPTIMUS” propuesto como mejora al Modelo de Costos del OSIPTEL, fue incorporado en una copia de dicho modelo de costos, configurándose un nuevo modelo de costos al que llamaremos “Modelo Optimizado”.

Las configuraciones que se obtuvieron del Modelo Optimizado fueron comparadas con las configuraciones de la red real de Telefónica, con la finalidad de analizar la consistencia de los resultados.

Figura Nº 7.1.- Tramo del modelo vs tramo real de la red



Fuente: Modelo de Costos del OSIPTEL / Información de Telefónica.

En dicha evaluación se observó que debido a que las configuraciones que arroja el modelo están basadas en trayectorias lineales, éstas no necesariamente reflejan la realidad (trayectorias irregulares), tal como puede apreciarse en la Figura N° 7.1 que muestra un tramo de la red de transmisión del departamento de Piura.

Al comparar las distancias dadas por las configuraciones del Modelo Optimizado con las distancias de las configuraciones reales dadas por la empresa, se observó que existen diferencias en las distancias totales de la red de transmisión, al interior del departamento.

Ante la situación descrita, se considero necesario introducir “factores de no linealidad” que permitan ajustar las configuraciones ideales y hacerlas más cercanas a la realidad.

Además se consideró conveniente utilizar un “factor de no linealidad” por cada departamento en lugar de utilizar un único factor a nivel nacional.

Para tal fin, se realizó una comparación de aquellos tramos ideales que siguen la misma trayectoria de los tramos reales, tal como el caso mostrado en la Figura N° 7.1, determinándose el factor que relaciona ambas distancias.

Este proceso se llevó a cabo para todas las rutas coincidentes al interior de cada uno de los departamentos, tomando en cuenta los escenarios de: (i) fibra óptica interurbana; (ii) fibra óptica urbana; y, (iii) radioenlaces.

Los factores obtenidos para cada uno de los departamentos se presentan en la Tabla N° 7.3.

Como puede observarse en dicha tabla, existen departamentos donde no ha sido posible obtener su factor de no linealidad. En algunos casos se debe a que no ha sido posible obtener tramos de red comparables y en otros casos porque no existen enlaces en los escenarios establecidos.

Tabla N° 7.3.- Factores de No Linealidad por Departamento

	Interurbano	Urbano	Radio
AMAZONAS			1,12
ANCASH	1,17	1,45	1,12
APURIMAC			1,12
AREQUIPA	1,40	1,40	1,12
AYACUCHO			1,12
CAJAMARCA	1,28		1,12
CUSCO		1,29	1,12
HUANCAVELICA			1,12
HUANUCO			1,12
ICA	1,28	1,44	1,12
JUNIN	1,25		1,12
LA LIBERTAD	1,32	1,26	1,12
LAMBAYEQUE	1,17	1,39	1,12
LIMA	1,20	1,37	1,12
LORETO			1,12
MOQUEGUA		1,40	1,12
PASCO			1,12
PIURA	1,44	1,35	1,12
PUNO	1,15		1,12
SAN MARTIN			1,12
TACNA		1,35	1,12
TUMBES	1,16		1,12
UCAYALI			1,12
Promedio	1,26	1,37	1,12

A fin de poder contar con todos los factores de no linealidad necesarios para el procesamiento de la información en el Modelo Optimizado, se ha optado por utilizar los valores promedio por escenario, en aquellos departamentos que no tienen factor propio calculado.

Es preciso señalar que el Modelo de Costos del OSIPTEL actualmente utiliza factores de no linealidad promedio para todos los departamentos, es decir, no utiliza factores por departamento sino un factor promedio por escenario a nivel nacional.

En consecuencia, la propuesta de considerar los factores promedio en aquellos departamentos que no tienen un factor propio, es coherente con la forma de trabajo del modelo actual utilizado por el regulador. La tabla con todos los factores de no linealidad se muestra en la Tabla N° 7.4.

Tabla N° 7.4.- Factores de No Linealidad para todos los Departamentos

	Interurbano	Urbano	Radio
AMAZONAS	1,26	1,37	1,12
ANCASH	1,17	1,45	1,12
APURIMAC	1,26	1,37	1,12
AREQUIPA	1,4	1,4	1,12
AYACUCHO	1,26	1,37	1,12
CAJAMARCA	1,28	1,37	1,12
CUSCO	1,26	1,29	1,12
HUANCAVELICA	1,26	1,37	1,12
HUANUCO	1,26	1,37	1,12
ICA	1,28	1,44	1,12
JUNIN	1,25	1,37	1,12
LA LIBERTAD	1,32	1,26	1,12
LAMBAYEQUE	1,17	1,39	1,12
LIMA	1,2	1,37	1,12
LORETO	1,26	1,37	1,12
MOQUEGUA	1,26	1,4	1,12
PASCO	1,26	1,37	1,12
PIURA	1,44	1,35	1,12
PUNO	1,15	1,37	1,12
SAN MARTIN	1,26	1,37	1,12
TACNA	1,26	1,35	1,12
TUMBES	1,16	1,37	1,12
UCAYALI	1,26	1,37	1,12

El código de programación que asigna a los tramos de transmisión correspondientes a los nodos de conmutación, los factores de no linealidad correspondiente a cada uno de los departamentos del país, se encuentra adjunto en el Anexo II del presente documento.

VII.3.RESULTADOS DEL MODELO OPTIMIZADO.

Con el módulo “OPTIMUS” propuesto en la presente Tesis y los “factores de no linealidad” mostrados en la sección anterior, se ejecutó el Modelo Optimizado, obteniéndose los costos de la red local de transmisión para cada uno de los departamentos del país.

Por motivo de confidencialidad de la información de costos que utiliza el regulador, no es posible presentar los costos de las redes de transmisión obtenidos para cada uno de los departamentos del país, utilizando el Modelo de Costos actual y el Modelo Optimizado; sin embargo, sí es posible mostrar las diferencias de costos obtenidas de los resultados de ambos modelos y los resultados aproximados así como los gráficos correspondientes a un departamento del Perú.

En la Tabla N° 7.5 se muestran las diferencias de costos (en términos porcentuales) de las redes de transmisión departamentales, obtenidos mediante el Modelo Optimizado versus el Modelo Actual.

Los valores negativos indican que con el Modelo Optimizado se ha logrado una reducción de los costos de la red local de transmisión en el departamento correspondiente. Los valores positivos indican que con el Modelo Optimizado se ha obtenido una configuración, que si bien es la de menor costo frente a otras obtenidas por el algoritmo “OPTIMUS”, representa un costo mayor de la red de transmisión en comparación con el costo que se obtiene del Modelo Actual para dicho departamento; no obstante es importante resaltar que la diferencia es menor al 1,3%.

Los valores iguales a cero (0%), indican que no ha habido variación de costos entre las redes de transmisión de los departamentos correspondientes, en ambos modelos. En estos casos se trata de configuraciones de red de transmisión similares o que siendo diferentes presentan un costo total similar, motivo por el cual no hay variación en los costos.

Finalmente se observa que existen tres departamentos, Apurímac, Moquegua y Tacna, en los cuales la reducción de costos en la red de transmisión de dichos

departamentos como consecuencia del uso del Modelo Optimizado es bastante considerable, alcanzando valores de 85,17%, 46,27% y 30,85% respectivamente. Estos tres casos han sido revisados observándose que las configuraciones que se obtienen del modelo actual, no representan las configuraciones más óptimas y de menor costo, lo que origina que el costo total de la red de transmisión en esos departamentos sea considerablemente mayor a los costos que se obtienen al utilizar el Modelo Optimizado.

Tabla Nº 7.5.- Diferencia de costos obtenidos entre el Modelo Optimizado y el Modelo Actual

DEPARTAMENTO	DIFERENCIA DE COSTOS (%)	
	INVERSIÓN	GASTO ANUAL
AMAZONAS	0,00%	0,00%
ANCASH	-9,75%	-8,76%
APURIMAC	-85,88%	-85,17%
AREQUIPA	-7,48%	-7,32%
AYACUCHO	-0,10%	-0,07%
CAJAMARCA	-8,67%	-8,33%
CUSCO	-23,83%	-18,49%
HUANCAVELICA	0,00%	0,00%
HUANUCO	0,00%	0,00%
ICA	-11,41%	-11,72%
JUNIN	-5,55%	-4,88%
LA LIBERTAD	-1,56%	-1,36%
LAMBAYEQUE	-9,67%	-10,01%
LIMA	-8,01%	-7,91%
LORETO	0,00%	0,00%
MOQUEGUA	-48,07%	-46,27%
PASCO	0,00%	0,00%
PIURA	1,01%	1,17%
PUNO	1,16%	1,26%
SANMARTIN	-0,52%	-0,34%
TACNA	-31,79%	-30,85%
TUMBES	-17,89%	-17,96%
UCAYALI	0,00%	0,00%

Es importante señalar que ambos modelos determinan el costo de cada departamento, a partir del costo de cada una de las “provincias” que conforman el departamento, por tanto, se determina primero el costo de cada una de las provincias para luego sumarlas y determinar el costo de todo el departamento. Cabe resaltar que para efecto de los modelos de costos, una “provincia” está constituida por una central cabecera y un conjunto de unidades remotas.

A continuación, a manera de ejemplo, se presentan los costos aproximados de la red de transmisión para un departamento del Perú (al que se denominará “Departamento X”), obtenidos mediante el Modelo Optimizado y el Modelo Actual.

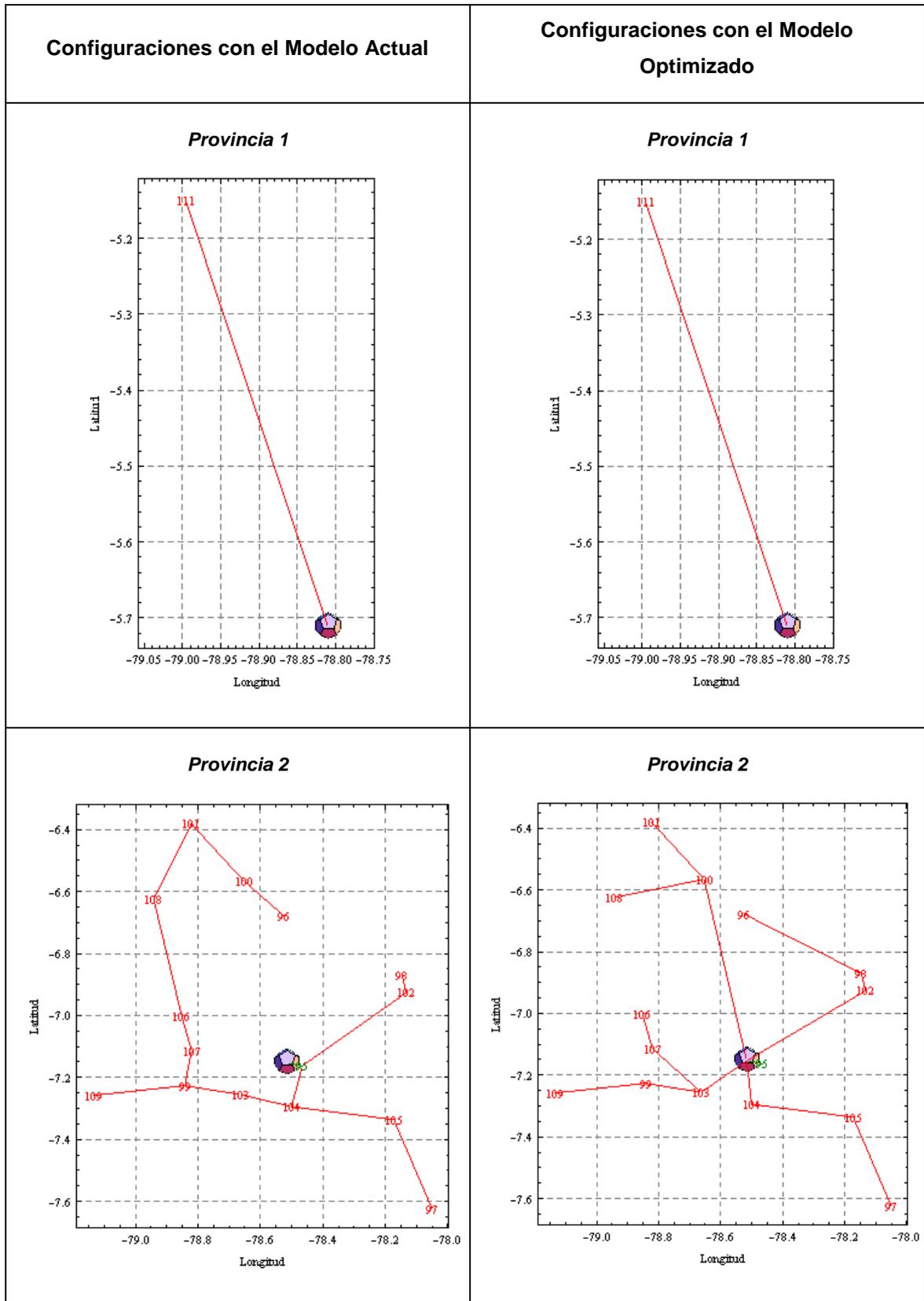
Tabla N° 7.6.- Comparación de Resultados para el Departamento X

INVERSIONES		GASTO ANUAL		DIFERENCIA (%)	
Modelo Actual	Modelo Optimizado	Modelo Actual	Modelo Optimizado	Inversión	Gasto Anual
2 750 000	2 510 000	930 000	850 000	-8,73%	-8,60%

El Departamento X consta de dos “provincias”. La “Provincia 1” consta únicamente de una central cabecera y una unidad remota. Por este motivo, en el primer gráfico de la Figura N° 7.2, tanto la solución del Modelo Actual como la del Modelo Optimizado es la misma. Por el contrario, en la “Provincia 2”, que consta de una central cabecera y un grupo de 15 unidades remotas, se puede apreciar que ambos modelos dan como resultado configuraciones diferentes.

Como se explica en la presente Tesis, esta diferencia se debe a que el Modelo Actual obtiene primero la configuración de la red de transmisión de la provincia, utilizando como único parámetro de evaluación a la distancia entre nodos. Posteriormente realiza el costeo de la configuración obtenida. El Modelo Optimizado, por el contrario, obtiene la configuración de la red de transmisión de la provincia utilizando dos parámetros: la distancia entre nodos y las cargas de tráfico en cada ruta. Utilizando estos parámetros el algoritmo “OPTIMUS” determina el costo de las diferentes configuraciones de la red de transmisión, seleccionando aquella de menor costo.

Figura N° 7.2.- Configuraciones de la Red de Transmisión obtenidas con ambos modelos de costos



VII.4.REFERENCIA A OTROS ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN.

Luego de haber mostrado los resultados del módulo “OPTIMUS” como una herramienta a ser incorporada en el Modelo de Costos del OSIPTEL con la finalidad de lograr los costos más eficientes de la red, cabe hacer mención e indicar las diferencias con algunos algoritmos de optimización convencionales como los de Prim, Dijkstra y *Simulated Annealing*.

En primer lugar se hará una breve descripción de cada uno de estos métodos para, a continuación, indicar la principal diferencia con la propuesta planteada en la presente Tesis.

- **Algoritmo de Prim**^[27].

El algoritmo de Prim (diseñado por el científico computacional Robert C. Prim en 1957) es un algoritmo perteneciente a la teoría de los grafos que busca encontrar un árbol recubridor mínimo (mejor conocido por su traducción en inglés como “*minimum spanning tree*”) en un grafo conexo^[28], no dirigido y cuyas aristas se encuentran etiquetadas.

Entiéndase por grafo a un conjunto no vacío de objetos llamados vértices (o nodos) y pares de vértices, llamados aristas que pueden ser orientados o no. De manera común, un grafo se representa mediante una serie de puntos (que son los vértices) conectados por líneas (que son las aristas).

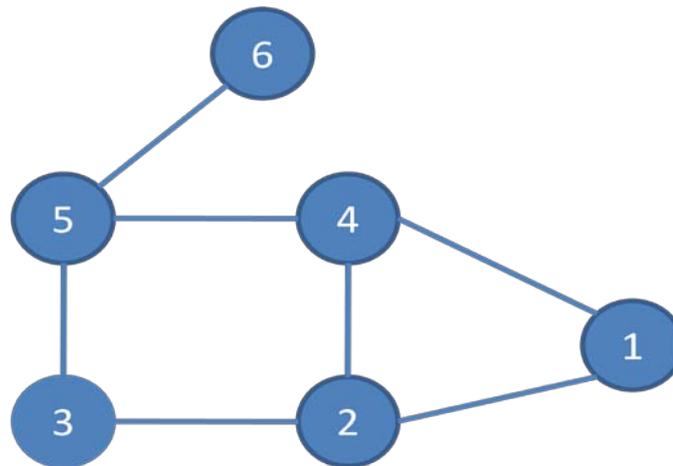
El algoritmo de Prim encuentra un subconjunto de aristas que forman un árbol con todos los vértices, en el cual el peso total de todas las aristas es el mínimo posible.

Si el grafo no es conexo, entonces el algoritmo encontrará el *minimum spanning tree* para uno de los componentes conexos que forman dicho grafo no conexo.

²⁷ Fuente: Wikipedia.com.

²⁸ Un gráfico es conexo si cada par de vértices está conectado por un camino.

Figura N° 7.3.- Diagrama de un grafo con 6 vértices y 7 aristas



Fuente: Wikipedia. Elaboración: propia.

De manera descriptiva, el algoritmo incrementa de forma continua el tamaño de un árbol, comenzando por un vértice inicial al que se le van agregando sucesivamente vértices cuya distancia a los anteriores vértices es la mínima. Lo anterior significa que en cada paso, las aristas a considerar serán aquellas que inciden en vértices que ya pertenecen al árbol. El *mínimum spanning tree* estará completamente construido cuando no queden más vértices por agregar.

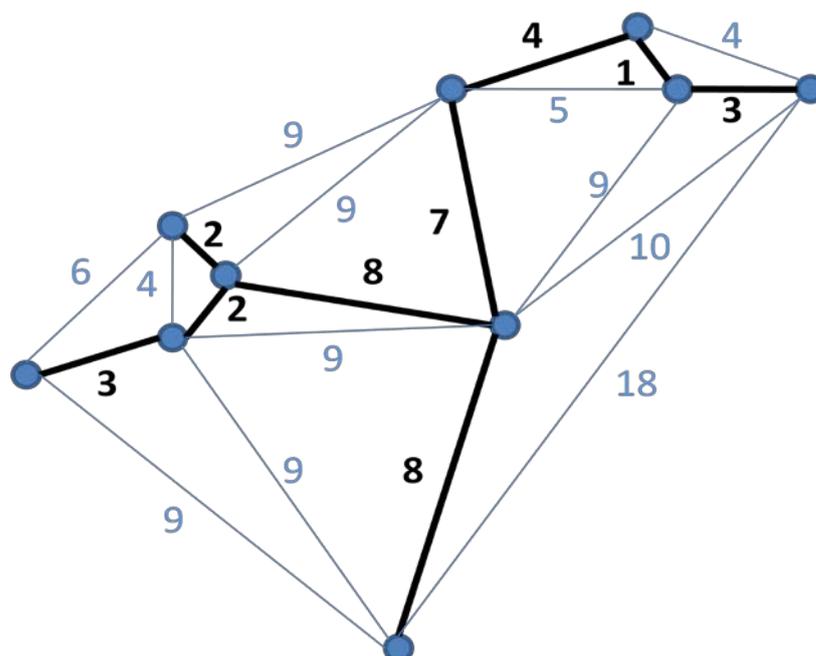
Si se tiene un grafo conexo, un *mínimum spanning tree* de ese grafo es un subgrafo que debe ser un árbol que contenga todos los vértices del grafo inicial.

Cada arista tiene asignado un peso proporcional entre ellos (número representativo de algún objeto, distancia, etc.) y se usa para asignar un peso total al *mínimum spanning tree* sumando todos los pesos de las aristas del árbol en cuestión.

Un *mínimum spanning tree* es un *spanning tree* que pesa menos o igual que otros *spanning trees*.

En la Figura N° 7.4 cada punto representa un vértice y las aristas etiquetadas con su peso podrían representar una longitud.

Figura N° 7.4.- Ejemplo de *Mínimum Spanning Tree*



Fuente: Wikipedia. Elaboración: propia.

Un ejemplo de este tipo de grafos es el aplicado por una compañía de cable que está realizando un tendido en un vecindario. Si existe el límite de tender el cable por ciertos caminos, entonces hará un grafo que represente los puntos conectados por estos caminos.

Pueden existir caminos más caros que otros por ser más largos (aristas con mayores pesos). Un *spanning tree* para este grafo sería un subconjunto de estos caminos que no tenga caminos cerrados pero que mantenga conectadas todas las casas. Puede haber más de un *spanning tree* posible, sin embargo, el *mínimum spanning tree* será aquél que dé el menor costo.

- **Algoritmo de Dijkstra**^[29].

El algoritmo de Dijkstra (descrito por Edsger Dijkstra en 1959) es también conocido como algoritmo de caminos mínimos. Es un algoritmo utilizado para la determinación del camino más corto, dado un vértice origen hacia el resto de vértices, en un grafo dirigido y con pesos en cada arista.

²⁹ Fuente: Wikipedia.com

El concepto de este algoritmo es ir explorando todos los caminos más cortos que parten de un vértice (vértice origen) y que llevan a todos los demás vértices. El algoritmo se detiene cuando se obtiene el camino más corto desde el vértice origen al resto de vértices que componen el grafo.

Este algoritmo se especializa en la búsqueda del costo uniforme, y por tanto, no funciona en grafos con aristas de costo negativo (al elegir siempre el nodo con distancia menor, en la búsqueda pueden quedar excluidos nodos que en próximas iteraciones disminuirían el costo general del camino al pasar por una arista con costo negativo).

- **El algoritmo del *Simulated Annealing*^[30].**

El algoritmo del “recocido simulado” (o “*Simulated Annealing*”) es un algoritmo de búsqueda meta-heurística para problemas de optimización global, es decir, es utilizado para encontrar una buena aproximación al óptimo global de una función en un espacio de búsqueda grande.

El nombre de este algoritmo y su concepción provienen del proceso de recocido del acero, que es una técnica que consiste en calentar y luego enfriar un material, de manera controlada, para aumentar el tamaño de sus cristales y reducir sus defectos. El calor origina la salida de los átomos de sus posiciones iniciales y su movimiento aleatorio. El enfriamiento lento brinda mayores probabilidades de encontrar configuraciones con menor energía que la inicial.

En cada iteración, el algoritmo considera algunos vecinos del estado actual “s”, y de manera probabilística decide entre cambiar el sistema al estado “s” o quedarse en el estado “s”. Las probabilidades se escogen de manera que el sistema tienda finalmente hacia los estados de menor energía. Este paso se repite hasta que se alcanza un estado que sea lo suficientemente bueno para la aplicación o hasta que se cumpla cierto tiempo de procesamiento (computacional) dado. Los vecinos de cada estado se eligen de acuerdo al

³⁰ Fuentes: Wikipedia.com y http://gavab.escet.urjc.es/metaheuristicas/documentos/Tema4_SA.pdf.

problema específico. Usualmente es una pequeña variación en la representación escogida.

Este algoritmo fue propuesto por Kirpatrick y colaboradores en el año 1983, y como ya se indicó, se basa en un algoritmo que simula el enfriamiento de un material, y para entender su aplicación original a continuación se describe su funcionamiento en el caso del enfriamiento del material.

El principio del algoritmo es permitir movimientos que empeoran la función objetivo (movimientos ascendentes) para escapar de óptimos locales. En la búsqueda, se perturba paulatinamente una solución mientras se produce una mejora, de tal manera que el proceso acaba en un óptimo local. Para evitar quedar atrapado en un óptimo local, el algoritmo permite movimientos hacia soluciones peores. Estos movimientos de escape deben controlarse de manera tal que no permita desviar la búsqueda cuando se dirija hacia una buena solución. Para tal fin se utiliza una función de probabilidad que disminuye la probabilidad de movimientos de escape cuando la búsqueda avanza.

La probabilidad de un incremento energético δE a una temperatura T está dada por la siguiente expresión:

$$P[\delta E] = e^{-\delta E/kT} \dots\dots\dots (7.3)$$

Donde:

- k : Es la constante de Boltzmann

Dada una perturbación, si disminuye la energía, ésta se acepta; pero si aumenta la energía, ésta se acepta con una probabilidad dada por la fórmula antes señalada.

Como la constante “ k ” no tiene equivalente en optimización, no suele considerarse. La temperatura “ T ” es un parámetro que controla la probabilidad de movimientos de escape.

Cuando “ T ” sea lo suficientemente pequeña no se producirán movimientos de escape y la búsqueda acabará en un óptimo local.

El resultado teórico del algoritmo indica que la convergencia al óptimo está probada cuando la temperatura se reduce muy lentamente, pero el problema es que los tiempos de procesamiento computacional no son asumibles.

VII.4.1. COMPARACIÓN CON LA PROPUESTA DE LA TESIS.

Como puede apreciarse de la descripción realizada de los tres algoritmos anteriores, cada uno de ellos tiene su particularidad y aplicación específica.

Los dos primeros algoritmos basan su análisis en la distancia entre los puntos, buscando obtener la menor distancia entre ellos. En el caso del último algoritmo, es un algoritmo teórico cuya aplicación en el caso de redes de telecomunicaciones no es común.

De hecho, los modelos propuestos por el operador más importante en el Perú utilizan el algoritmo de Prim como algoritmo para optimizar la configuración de las redes de telecomunicaciones.

En el caso del Modelo de Costos del OSIPTEL al cual se ha hecho referencia en un capítulo anterior, recoge la propuesta del operador, es decir, utiliza el algoritmo de Prim para hallar las configuraciones de la red en cada departamento; sin embargo, tal como ha sido descrito en este capítulo, este algoritmo basa su funcionamiento en el cálculo de las distancias entre vértices.

En el Modelo de Costos del OSIPTEL, los vértices a ser usados por el algoritmo de Prim son los nodos de conmutación (las centrales cabecera y las unidades remotas). Siguiendo su filosofía, el algoritmo de Prim establece una configuración de red basándose en la distancia existente entre los diversos nodos de conmutación. Luego de haber establecido una configuración específica, el siguiente proceso que realiza el modelo es el cálculo de la inversión de las rutas establecidas para tal configuración.

Como se puede apreciar, el Modelo Actual efectúa dos pasos secuenciales. Primero establece una configuración de red haciendo uso del algoritmo de Prim, para lo cual el algoritmo toma como único parámetro la distancia entre

los nodos de conmutación de la red. Luego, para la configuración hallada determina el costo de las rutas.

Dado que el único parámetro para establecer la configuración de la red de transmisión es la distancia entre los nodos de conmutación, luego, al calcular el costo de cada ruta tomando en cuenta las cargas de tráfico que circulan por ella, el costo total para la red de transmisión no necesariamente es el menor, pues el factor de tráfico no es incluido en el momento de establecer la configuración más eficiente.

Esta es la diferencia principal entre la forma de procesar del Modelo de Costos del OSIPTEL, respecto de la propuesta en la presente Tesis mediante la implementación del módulo "OPTIMUS", pues, el módulo propuesto realiza una comparación de los costos de diferentes configuraciones de la red de transmisión, para elegir aquella de menor costo. Para ello, al momento de determinar las diferentes configuraciones de red y el costo de cada una de ellas, el módulo toma en cuenta en el cálculo, tanto las distancias entre nodos de conmutación como las cargas de tráfico que circularían por cada una de las rutas según la configuración que se va analizando, pues, dependiendo de cómo se unan las unidades remotas a la central cabecera, la carga de tráfico que pase a través de las rutas que los une, será diferente, obteniéndose en consecuencia, diferentes costos para cada una de las configuraciones de red de transmisión obtenidas.

Con el proceso desarrollado por el módulo "OPTIMUS" se logra realizar un análisis conjunto de la distancia entre nodos de conmutación, el tráfico que circularía por cada una de las rutas, y el costo total de la configuración de la red de transmisión; obteniéndose resultados que en la mayoría de los casos (como ha sido mostrado en la Tabla N° 7.5) reflejan un costo para la red de transmisión en cada departamento, que es menor al que se obtiene con el Modelo Actual que utiliza el OSIPTEL.

Por tanto, siendo la red de transmisión (o transporte entre nodos de conmutación) uno de los elementos de costo más importantes en la determinación del cargo de interconexión tope por la terminación de

llamadas en la red del servicio de telefonía fija local, la implementación del módulo “OPTIMUS” dentro del Modelo de Costos del OSIPTEL, permitiría realizar un análisis más adecuado de los costos eficientes de la red de transmisión, en el marco de la evaluación de los cargos de interconexión tope.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES

A lo largo de la presente Tesis se ha expuesto la importancia de la regulación de los cargos de interconexión para un adecuado funcionamiento del mercado de las telecomunicaciones, bajo un esquema de competencia.

La labor de fijación de los cargos de interconexión, llevada a cabo por el regulador de las telecomunicaciones en el Perú – OSIPTEL, requiere de la aplicación de esquemas de modelamiento de costos que permitan reflejar los costos eficientes involucrados en la prestación de las instalaciones esenciales requeridas por los operadores.

El uso de modelos de costos *Bottom-Up* como el modelo TELRIC que viene siendo utilizado actualmente para la fijación de los cargos de interconexión tope, constituye uno de los instrumentos esenciales y primordiales para el logro de los objetivos.

Aún cuando este tipo de modelo requiere el uso de información detallada, así como la aplicación de conocimientos de ingeniería sobre dimensionamiento y configuraciones de redes de telecomunicaciones, constituye el método más utilizado y recomendado por la experiencia regulatoria internacional.

Dada la importancia de este tipo de modelo de costos, se considera que el aporte que se brinda a través de la propuesta de mejora del Modelo de Costos del OSIPTEL, contribuirá sin duda a mejorar las labores de cálculo y de evaluación de los costos que sean reportados por los operadores, y por tanto, a determinar un cargo de interconexión tope orientado a costos eficientes.

En la etapa de evaluación del tema de Tesis, se pudo identificar la posibilidad de mejorar el Modelo de Costos del OSIPTEL, en una de las partes más importantes

del modelamiento de costos, como es, la determinación de los costos de la red de transmisión entre unidades remotas y centrales cabecera en cada uno de los departamentos del país. De allí que se planteara como tema de Tesis, la reducción de los costos en una red de telefonía fija en el Perú, mediante la optimización de distancias en la red de transmisión, es decir, la determinación de la configuración de la red de transmisión que genera el menor costo.

Luego del trabajo realizado y en base a los resultados obtenidos, se considera que el objetivo de la Tesis se ha alcanzado, y la propuesta de mejora del Modelo de Costos del OSIPTEL planteada en este documento, es factible de llevarse a cabo.

Como funcionario del organismo regulador, realizar este trabajo me ha incentivado a seguir desarrollándome profesionalmente en el tema de la modelación de las redes de telecomunicaciones y en la determinación de los costos eficientes de las mismas, así como a seguir contribuyendo con mejoras posibles no sólo en el Modelo de Costos del OSIPTEL que ha servido de base para este trabajo, sino también en la elaboración de nuevos modelos de costos para otras instalaciones esenciales o para la interconexión de redes modernas como el caso de las NGN (*Next Generation Networks*).

Finalmente debo señalar que la optimización del Modelo de Costos planteada en la presente Tesis, la presentaré al OSIPTEL como propuesta de mejora, con el objetivo de contribuir con un grano de arena, al fortalecimiento de los procesos regulatorios en el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armstrong, M., C. Doyle, y J. Vickers (1996). *"The Access Pricing Problem: A Synthesis"*. The Journal of Industrial Economics.
- Armstrong, M. (2002). *"The Theory of Access Pricing and Interconnection"*. Handbook of Telecommunications Economics, editado por M. Cave, S. Majumdar e I. Vogelsang, Elsevier Science BV.
- Laffont, J. y J. Tirole (1994). *"Access Pricing and Competition"*. European Economic Review.
- Laffont, J. y J. Tirole (2000). *"Competition in telecommunications"*, Capítulo 5. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts and London, England.
- Nomba, Gille, Simon y Rudelle (2003). *"A Model for Calculating Interconnection Cost in Telecommunications"*. The World Bank, PPIAF.
- OSIPTEL (2005). *"Glosario de Términos en Telecomunicaciones en Perú"*, Temas en Telecomunicaciones N° 18.
- OSIPTEL (2008). Informe N° 501-GPR/2008, que sustenta las propuestas de cargos de interconexión tope por la terminación de llamadas en la red del servicio de telefonía fija. Resolución N° 045-2008-CD/OSIPTEL. Diciembre 2008.
- Texto Único Ordenado de las Normas de Interconexión. Aprobado mediante Resolución del Consejo Directivo del OSIPTEL N° 043-2003-CD/OSIPTEL y publicada en el Diario Oficial El Peruano el 07 de junio de 2003, así como sus modificatorias.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (2004). Informe sobre Interconexión.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **ADM** (*Add-Drop Multiplexer*).- Elemento de una red óptica que permite multiplexar o combinar, diferentes cadenas de datos de bajo ancho de banda en un solo haz de luz. Tiene la capacidad de agregar una o más señales de bajo ancho de banda en una cadena de datos de gran ancho de banda, así como, extraer al mismo tiempo, otras señales de bajo ancho de banda.
- **CAPEX** (*CAPital EXpenditures*).- Son gastos que crean beneficios futuros y son incurridos cuando un negocio gasta dinero en comprar un activo fijo o en añadir valor a un activo existente.
- **DCME** (*Digital Circuit Multiplication Equipment*).- Equipo compresor de voz utilizado generalmente en comunicaciones satelitales.
- **LRIC** (*Long Run Incremental Cost*).- Enfoque económico que propone la estimación de costos incrementales (adicionales) de largo plazo incurridos por un operador al producir un servicio, teniendo en cuenta los costos ya incurridos al producir un conjunto de otros servicios.
- **NGN** (*Next Generation Networks*).- Redes de siguiente generación basadas en la tecnología IP.
- **OPEX** (*OPerational EXpenditures*). Son los costos operativos involucrados en el funcionamiento de un producto, negocio o sistema.
- **PDH** (*Plesiochronous Digital Hierarchy*).- Jerarquía de transmisión utilizada en redes de transporte no sincronizadas, tanto de fibra óptica como de microondas. Permite la transmisión de cadenas de datos que están corriendo nominalmente a la misma velocidad, pero existe cierta variación en la velocidad alrededor de la velocidad nominal.
- **Preciario**.- Lista de precios de los equipos y componentes de la red.

- **SDH** (*Synchronous Digital Hierarchy*).- Jerarquía de transmisión digital cuyas velocidades están expresados en módulos de transporte síncrono (STM) como STM-N; donde N=1 es el nivel más bajo, equivalente a una velocidad de 155,52 Mbps (63 E1s). Los siguientes niveles son múltiplos exactos del nivel más bajo y corresponden a STM-4, STM-16 y STM-64.
- **TELRIC** (*Total Element Long Run Incremental Cost*).- Concepto relacionado con costos incrementales que consiste en determinar individualmente el costo de los componentes principales de la red (componentes desagregados de la red).
- **TSLRIC** (*Total Service Long Run Incremental Cost*).- Concepto relacionado con costos incrementales que está referido al costo incremental promedio generado al incorporar un nuevo servicio, es decir, al incremento en el costo total, como resultado de adicionar el monto total del nuevo servicio a los que actualmente ofrece el operador, manteniendo constantes estos últimos. Mide la diferencia entre producir el servicio y no producirlo.

ANEXO I

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO “OPTIMUS”

Iniciación de los valores de E1s de cada nodo (central cabecera o unidad remota).

```
optimuse1remotehostx=e1remotehostx;  
optimusloadremotehostLocx=loadremotehostLocx;  
optimusloadremotehostLDNx=loadremotehostLDNx;  
optimusloadremotehostLDIx=loadremotehostLDIx;  
optimuse1remotehostalqxA1=e1remotehostalqxA1;  
optimuse1remotehostalqxB1=e1remotehostalqxB1;  
optimuse1remotehostalqxC1=e1remotehostalqxC1;  
optimuse1remotehostalqxLL=e1remotehostalqxLL;  
optimuse1remotehostalqxLP=e1remotehostalqxLP;  
optimuse1remotehostalqxAS=e1remotehostalqxAS;  
optimuse1remotehostalqxBs=e1remotehostalqxBs;  
optimuse1remotehostalqxCs=e1remotehostalqxCs;  
optimuse1remotehostalqxABC2=zerox;  
optimuse1remotehostalqxABCnop=e1remotehostalqxABCnop;  
optimuse1remotehostadslx=e1remotehostadslx;  
optimuse1remotehostitxx=e1remotehostitxx;
```

Función que calcula el costo de un enlace de Fibra:

Inputs: Cantidad de E1s, Distancia, Tecnología (dado que es fibra, puede ser: Aérea, Urbana (Canalizada) o NoUrbana (Enterrada).

Insumos: Límites de E1s en equipos de Fibra, Precios de Equipos para cada Velocidad, de fibra óptica en cada Tecnología, de Terminaciones de Fibra. Factores de Anualización para cada tipo de componente de costo.

```
CalculaFibra[e1s_,dist_,transtechx_,ix_] := Module[{CosteFijox, Velocidadx, CosteTributariosx, n  
umtributariosx, repfibrax, CostePorKmx, AñadidoDist},
```

```
Velocidadx=0;
```

```
If[e1s≠0,
```

```

Do[If[e1s>TxFibraLimites[[i]],Velocidadx=i];,{i,Length[TxFibraLimites]};
  If[Velocidadx<Length[TxFibraLimites],Velocidadx=Velocidadx+1];
];
If[Velocidadx≠0,CosteFijox=TxFibraCosteFijo[[Velocidadx]]*If[Velocidadx==Length[TxFibra
Limites],Ceiling[e1s/TxFibraLimites[[Velocidadx]]],1,1];
  CosteTributariosx=TxFibraCosteTributario[[Velocidadx]];
  CosteFijox=0;
  CosteTributariosx=0;];
numtributariosx=Ceiling[e1s/21];
repfibrax=Floor[dist/If[transtechx==Enterrado,2,1]/hopfibra];
CostePorKmx=If[transtechx==Urbana,TxFibraCosteKmUrban,If[transtechx==Enterrado,T
xFibraCosteKmEnterrado,TxFibraCosteKmAereo]];
AñadidoDist=AñadidoTrxPorKm*distance[ix,idinvertx[[CentralRef]]];
(2CosteFijox+2CosteTributariosxnumtributariosx+CosteFijoxrepfibrax+AñadidoDist)Fact
orTx1+(dist*If[transtechx==Urbana,costedelafibraurbKm,If[transtechx==Enterrado,TxFib
raCosteCableKm,If[transtechx==Aereo,TxFibraCosteCableAereoKm,0]])+2TxFibraCosteTe
rminacion)FactorTx2
If[transtechx==Enterrado^deptx[[ix]]≠LIMA,0.55,1]+CostePorKmxdistIf[transtechx==Ent
errado^deptx[[ix]]≠LIMA,0.55,1] FactorTx3];

```

Función que calcula el costo de un enlace de Radio:

Inputs: Cantidad de E1s, Distancia

Insumos: Límites de E1s en Equipos en Radio, Precios de Equipos para cada Velocidad. Factores de Anualización para cada tipo de componente de costo.

CalculaRadio[e1s_,dist_]:=Module[{CosteFijox,Velocidadx,CosteRepetidoresx,CosteTributariosx,numtributariosx,repradiox},

```

  Velocidadx=0;
  If[e1s≠0,
    Do[If[e1s>TxRadioLimites[[i]],Velocidadx=i];,{i,Length[TxRadioLimites]};
      If[Velocidadx<Length[TxRadioLimites],Velocidadx=Velocidadx+1];
    ];
  repradiox=Floor[dist/hop];
  If[Velocidadx≠0,CosteFijox=TxRadioCosteFijo[[Velocidadx]]*If[Velocidadx==Length[TxRa
dioLimites],Ceiling[e1s/TxRadioLimites[[Velocidadx]]],1,1];
  CosteTributariosx=TxRadioCosteTributario[[Velocidadx]];
  CosteRepetidoresx=TxRadioCosteRep[[Velocidadx]]repradiox;
  CosteFijox=0;

```

```

CosteTributariosx=0;
CosteRepetidoresx=0;];
numtributariosx=Ceiling[e1s/21];
(2CosteFijox+CosteRepetidoresx+2CosteTributariosx numtributariosx)FactorTx1];

```

Función que calcula el costo total de un grupo conformado por la central cabecera y sus unidades remotas:

Inputs: Grupo de Nodos, Canales por Nodo, Tecnología de Transmisión, Cantidad de Nodos, Destino o Conexión de cada Nodo, Identificador de la Cabecera.

```

CostoTotal[nodo_,Channels_,techx_,n_,to_,sw_,ConsideraOptimus_]:=Module[{TC,distx,intechx,ftechx,FC,RC,PC,FactorNoLinealf},

```

```

    TC=0;
    intechx=techx;
    Do[
        distx=distance[nodo[[i]],If[MemberQ[Range[n],to[[i]],nodo[[to[[i]]],sw]];
        If[MemberQ[{Enterrado,Aereo,Urbana},techx[[i]],
            ftechx=techx[[i]];
            FactorNoLinealf=If[ftechx==Urbana,factorNoLinealUrban,factorNoLinealNoUrban];,
            ftechx=Enterrado;
            FactorNoLinealf=factorNoLinealNoUrban;
        ];
        If[ConsideraOptimus==4,
            (*ConsideraOptimus es 4, entonces no hace ningún cambio tecnológico*)
            PC=If[MemberQ[{Enterrado,Aereo,Urbana},transtechx[[nodo[[i]]]],
                CalculaFibra[Channels[[i]],distx/FactorNoLinealf,ftechx,nodo[[i]],
                CalculaRadio[Channels[[i]],distx/factorNoLinealRadio]];
            intechx[[i]]=techx[[i]];
        ];
        TC=TC+PC;,
        {i,n}];
    Join[{TC},{intechx}];

```

Función que asegura que la nueva conexión a preparar hará que todas las centrales se conecten a la cabecera:

Inputs: Número de Nodos, Destino o Conexión de cada Nodo, Nuevo Destino y Nuevo Origen a Verificar.

```

TodosAsw[n_,to_,jx_,kx_]:=Module[{AuxAll,AuxCnx,nix,cont},AuxAll=True;
(*Verifica que todas las unidades remotas lleguen a la cabecera*)
AuxCnx=to;
AuxCnx[[kx]]=jx;
Do[
cont=0;
nix=to[[ix]];
While[nix≠0,
If[nix==ix,AuxAll=False;Break[;]];
nix=AuxCnx[[nix]];
cont=cont+1;
If[cont>n,AuxAll=False;Break[;]];
];
,{ix,n}};
AuxAll];

```

Función que de la lista maestra extrae nodos de una “provincia” y devuelve el grupo de nodos que no está en anillo:

Inputs: Número de Provincia.

```

ExtraeNodos[prov_]:=Select[Range[nx],provx[[#]]==prov^esAnillopx[[#]]==0^remote1x[[#]]==1&]; (*obtiene los nodos sueltos*)

```

```

e1remotehostalqxABC2=zerox;

```

```

e1hosttandemalqxABC2=zerox;

```

```

e1remotehostTOTALx=Ceiling[e1remotehostx+e1remotehostadslx+e1remotehostalqxA1+e1remotehostalqxB1+e1remotehostalqxC1+e1remotehostalqxLL+e1remotehostalqxLP+e1remotehostalqxAS+e1remotehostalqxBs+e1remotehostalqxCS+e1remotehostalqxABC2+e1remotehostalqxABCnop+e1remotehostitxx];

```

Función Principal, que realiza la secuencia descrita en el modelo, devuelve la conexión ideal:

Inputs: Número de Nodos, Nodos, Id. de la cabecera.

```

OptimizeLinks[n_,nodo_,sw_,ConsideraOptimus_]:=Module[{Channels,chg,TC,a,c,from,to,techx,TempChan,TempTo,minx,dist,nj,TempTC,mk,mj,cont,Rp},

```

```

Channels=Table[e1remotehostTOTALx[[nodo[[i]]]],{i,n}];

```

```

a=Table[True,{n}];

```

```

c=Table[999999999.9,{n}];

```

```

from=Table[i,{i,n}];

```

```

techx=Table[transtechx[[nodo[[i]]]],{i,n}];
to=Table[0,{i,n}];
TC=CostoTotal[nodo,Channels,techx,n,to,sw,ConsideraOptimus][[1]];
(*costo de la configuración estrella - Secuencia 0*)
chg=1;
cont=0;
While[chg≠0,
  minx=TC;
  chg=0;
  Do[
    Do[
      If[a[[k]]∧j≠k∧TodosAsw[n,to,j,k],
        dist=distance[nodo[[j]],nodo[[k]]];
        TempChan=Channels;
        TempTo=to;
        TempTo[[k]]=j;
        nj=j;
        (*Acumula E1s en la ruta hacia el Switch*)
        While[nj≠0,
          TempChan[[nj]]=TempChan[[nj]]+TempChan[[k]];
          nj=TempTo[[nj]];
        ];
        TempTC=CostoTotal[nodo,TempChan,techx,n,TempTo,sw,ConsideraOptim
us][[1]];
        If[minx>TempTC,
          minx=TempTC;
          mk=k;
          mj=j;
          If[to[[mk]]≠mj,chg=chg+1;];
        ];
      ],{k,n}];
    ],{j,n}];
  TempChan=Channels;

```

```

TempTo=to;
If[chg>0,
    TempTo[[mk]]=mj;
    While[mj≠0,
        TempChan[[mj]]=TempChan[[mj]]+TempChan[[mk]];
        mj=TempTo[[mj]];
    ];
    Channels=TempChan;
    to=TempTo;
    a[[mk]]=False; (*este nodo ya no entra en la evaluación - ya está conectado a
    otro nodo*)
    TC=CostoTotal[nodo,Channels,techx,n,TempTo,sw,ConsideraOptimus][[1]];
];
cont=cont+1;
];
to=TempTo;
Rp=CostoTotal[nodo,Channels,techx,n,TempTo,sw,ConsideraOptimus];
TC=Rp[[1]];
techx=Rp[[2]];
Join[{TC},{to},{techx}]
];

```

Función que Extrae las coordenadas de un nodo:

Inputs: Id. de nodo.

```

Coord[x1_]:=N[{-((longdegx[[x1]]+(longminx[[x1]]+longsecx[[x1]]/60)/60),-
((latdegx[[x1]]+(latminx[[x1]]+latsecx[[x1]]/60)/60)}];

```

Función que Extrae los datos del grupo de Coordenadas para poder realizar el ploteo del mapa:

Inputs: grupo de Coordenadas.

```

DataCoord[TCoord_]:=Module[{Max,Min,n,Dif},
    n=Length[TCoord];
    Min=TCoord[[1]];
    Max=Min;
    Do[
        If[TCoord[[i,1]]>Max[[1]],

```

```

    Max[[1]]=TCoord[[i,1]];
If[TCoord[[i,2]]>Max[[2]],
    Max[[2]]=TCoord[[i,2]];
If[TCoord[[i,1]]<Min[[1]],
    Min[[1]]=TCoord[[i,1]];
If[TCoord[[i,2]]<Min[[2]],
    Min[[2]]=TCoord[[i,2]];
    ,{i,2,n}];
Dif=Max-Min;
Join[{If[Dif[[1]]==0,0,Dif[[2]]/Dif[[1]]}],{{Min[[1]],Max[[1]],{Min[[2]],Max[[2]]}}}
];

```

Función que dibuja el mapa de ubicación de las conexiones:

Inputs: Número de Provincia.

```

PlotProv[prov_]:=Module[{ListaLineas,ListaCoord,nodos,Marcadores,TecnoColor,DataCrd,AspectRt,CrdRange,MidSumX,MidSumY,MidDifX,MidDifY},
nodos=Select[Range[nx],provx[[#]]==prov^(esAnillopx[[#]]==0^remote1x[[#]]==1)^host1x[[#]]==1]&];
ListaLineas=Table[{If[transtechx[[ix]]==Radio,Red,RGBColor[0,1/2,0]],Arrow[{Coord[ix],Coord[Conexion[[ix]]]}],Inset[If[ix==hostp[[prov]],,ix],Coord[ix]]},{ix,nodos}];
ListaCoord=Table[Coord[ix],{ix,nodos}];Marcadores=Table[If[ix==hostp[[prov]],,ix],{ix,nodos}];
TecnoColor=Table[If[transtechx[[ix]]==Radio,Red,RGBColor[0,1/2,0]],{ix,nodos}];
DataCrd=DataCoord[ListaCoord];
AspectRt=DataCrd[[1]];
CrdRange=DataCrd[[2]];
If[AspectRt>2^AspectRt<1/2,
    MidSumX=Plus@@CrdRange[[1]]/2;
    MidDifX=(CrdRange[[1,2]]-CrdRange[[1,1]])/2;
    MidSumY=Plus@@CrdRange[[2]]/2;
    MidDifY=(CrdRange[[2,2]]-CrdRange[[2,1]])/2;
    If[AspectRt>2,
        MidDifX=MidDifY/2;
        CrdRange[[1,1]]=MidSumX-MidDifX;
        CrdRange[[1,2]]=MidSumX+MidDifX,

```

```

MidDifY=MidDifX/2;
CrdRange[[2,1]]=MidSumY-MidDifY;
CrdRange[[2,2]]=MidSumY+MidDifY;
];
];
MidSumX=Plus@@CrdRange[[1]]/2;
MidDifX=(1+1/10)(CrdRange[[1,2]]-CrdRange[[1,1]])/2;
MidSumY=Plus@@CrdRange[[2]]/2;
MidDifY=(1+1/10)(CrdRange[[2,2]]-CrdRange[[2,1]])/2;
CrdRange[[1,1]]=MidSumX-MidDifX;
CrdRange[[1,2]]=MidSumX+MidDifX;
CrdRange[[2,1]]=MidSumY-MidDifY;
CrdRange[[2,2]]=MidSumY+MidDifY;
AspectRt=MidDifY/MidDifX;
Graphics[ListaLineas,AspectRatio->AspectRt,Axes->False,Frame->True,GridLines-
>Automatic,GridLinesStyle->Directive[Gray,Dashed],PlotLabel->provXTTp[[prov]],AxesLabel-
>{"Longitud","Latitud"},FrameLabel->{"Longitud","Latitud"},Background-
>White,ImageMargins->20,PlotRange->CrdRange]
];

```

Rutina Principal, que llama a la rutina de Optimización para cada listado de nodos:

Insumos: Nodos, Provincias

```

Optimus[ConsideraOptimus_]:=Module[{prov,nodo,numeronodos,Resp,nj,TC,TO,LINKTECH,d
ist},
Do[
  prov=provx[[ix]];
  nodo=ExtraeNodos[prov];
  numeronodos=Length[nodo];
  If[numeronodos>=2,
    Print["Optimus en ",provXTTp[[prov]]," con ",numeronodos," nodos"];
    Resp=OptimizeLinks[numeronodos,nodo,ix,ConsideraOptimus];
    TC=Resp[[1]];(*Costo Total*)
    TO=Resp[[2]];(*Conexiones*)
    LINKTECH=Resp[[3]];(*Tecnología de Enlaces*)
    Do[
      If[TO[[j]]==0,

```

```

Conexion[[nodo[[j]]]=ix,
Conexion[[nodo[[j]]]=nodo[[TO[[j]]];
];
dist=distance[nodo[[j]],Conexion[[nodo[[j]]]];
disthostx[[nodo[[j]]]=dist/factorNoLinealx[[nodo[[j]]];
repfibrax[[nodo[[j]]]=dist/factorNoLinealx[[nodo[[j]]];
nj=TO[[j]];
While[nj≠0,
e1remotehostx[[nodo[[nj]]]=e1remotehostx[[nodo[[nj]]]+optimuse1remo
tehostx[[nodo[[j]]];
loadremotehostLocx[[nodo[[nj]]]=loadremotehostLocx[[nodo[[nj]]]+opti
musloadremotehostLocx[[nodo[[j]]];
loadremotehostLDNx[[nodo[[nj]]]=loadremotehostLDNx[[nodo[[nj]]]+opti
musloadremotehostLDNx[[nodo[[j]]];
loadremotehostLDIx[[nodo[[nj]]]=loadremotehostLDIx[[nodo[[nj]]]+optim
usloadremotehostLDIx[[nodo[[j]]];
e1remotehostalqxA1[[nodo[[nj]]]=e1remotehostalqxA1[[nodo[[nj]]]+opti
muse1remotehostalqxA1[[nodo[[j]]];
e1remotehostalqxB1[[nodo[[nj]]]=e1remotehostalqxB1[[nodo[[nj]]]+opti
muse1remotehostalqxB1[[nodo[[j]]];
e1remotehostalqxC1[[nodo[[nj]]]=e1remotehostalqxC1[[nodo[[nj]]]+opti
muse1remotehostalqxC1[[nodo[[j]]];
e1remotehostalqxLL[[nodo[[nj]]]=e1remotehostalqxLL[[nodo[[nj]]]+optim
use1remotehostalqxLL[[nodo[[j]]];
e1remotehostalqxLP[[nodo[[nj]]]=e1remotehostalqxLP[[nodo[[nj]]]+opti
muse1remotehostalqxLP[[nodo[[j]]];
e1remotehostalqxAS[[nodo[[nj]]]=e1remotehostalqxAS[[nodo[[nj]]]+opti
muse1remotehostalqxAS[[nodo[[j]]];
e1remotehostalqxBs[[nodo[[nj]]]=e1remotehostalqxBs[[nodo[[nj]]]+opti
muse1remotehostalqxBs[[nodo[[j]]];
e1remotehostalqxCs[[nodo[[nj]]]=e1remotehostalqxCs[[nodo[[nj]]]+opti
muse1remotehostalqxCs[[nodo[[j]]];
e1remotehostalqxABC2[[nodo[[nj]]]=e1remotehostalqxABC2[[nodo[[nj]]]
+optimuse1remotehostalqxABC2[[nodo[[j]]];
e1remotehostalqxABCnop[[nodo[[nj]]]=e1remotehostalqxABCnop[[nodo[[
nj]]]+optimuse1remotehostalqxABCnop[[nodo[[j]]];
e1remotehostadsIx[[nodo[[nj]]]=e1remotehostadsIx[[nodo[[nj]]]+optimus
e1remotehostadsIx[[nodo[[j]]];

```

```

e1remotehostitxx[[nodo[[nj]]]]=e1remotehostitxx[[nodo[[nj]]]+optimuse1
remotehostitxx[[nodo[[j]]]];
nj=TO[[nj]];
];
transtechx[[nodo[[j]]]]=LINKTECH[[j]];
If[ConsideraOptimus>=3^transtechx[[nodo[[j]]]]==Enterrado,
    disthostx[[nodo[[j]]]]=2disthostx[[nodo[[j]]]];
];
,{j,numeronodos});
Print[TableForm[Table[{nodo[[j]],y[[nodo[[j]],13]],Conexion[[nodo[[j]]]],y[[Conexi
on[[nodo[[j]]]],13]],techt[[transtechx[[nodo[[j]]]]]},j,numeronodos}],TableSpaci
ng->{0,1},TableHeadings->{None,{"ix Origen","Nombre Central Origen","ix
Destino","Nombre Central Destino","Tecnología de Transmisión"}}]];
Print[PlotProv[prov]];
];,
{ix>Delete[AnilloCabeceras,-1]}}];];

```

(Aqui se ejecuta el procedimiento)

Optimus[ConsideraOptimus];

(*****Fin Módulo "OPTIMUS" para conectar las unidades remotas*****)

ANEXO II

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN QUE ASIGNA LOS FACTORES DE NO LINEALIDAD POR DEPARTAMENTO

```
Print["factorNoLinealx"];
OpenRead["input_FactorNL.txt"];
factorNoLineald=ReadList["input_FactorNL.txt",Number,RecordLists->True];
factorNoLinealx=onex;
EntreCiudades={26,39,44,45,68,69,70,95,135,136,154,156,157,158,159,162,165,170,186,189,190,191,192,193,194,195,196,197,198,199,200,201,202,203,204,205,206,207,208,209,210,220,221,225,226,229,232,233,234,235,236,255,256,273,274,277,281,282,308,309,329,330,357,358,456,457,464,465,467,469,470,475,476,486,487,489,490,501,502,503,505,506,507,508,526,577,580,593,609,610,616};
Do[
If[transtechx[[ix]]==Enterrado\[Or]transtechx[[ix]]==Aereo,
factorNoLinealx[[ix]]=1/factorNoLineald[[deptx[[ix]],1]];
If[transtechx[[ix]]==Urbana,
factorNoLinealx[[ix]]=1/factorNoLineald[[deptx[[ix]],2]];
If[transtechx[[ix]]==Radio,
factorNoLinealx[[ix]]=1/factorNoLineald[[deptx[[ix]],3]];
If[Count[EntreCiudades,ix]>0,
factorNoLinealx[[ix]]=1/factorNoLineald[[deptx[[ix]],1]];,,
{ix,nx}];

Print[TableForm[Table[{ix,idx[[ix]],y[[ix,13]],NumberForm[factorNoLinealx[[ix]],{17,10}},{ix,nx}],TableAlignments->Right,TableSpacing->{0,1},TableHeadings->{None,{"ix","idx"},"Nombre Central","factorNoLinealx"}]]];
```

(* Para cada central se especifica cuál es el factor de ajuste por no linealidad dependiendo de la tecnología de transmisión que se usa en dicho nodo *)

Contenido de la Tabla "input_FactorNL.txt"

	Departamento	Interurbano	Urbano	Radio
1	AYACUCHO	1,26	1,37	1,12
2	HUANCAVELICA	1,26	1,37	1,12
3	HUANUCO	1,26	1,37	1,12
4	ICA	1,28	1,44	1,12
5	JUNIN	1,25	1,37	1,12
6	LIMA	1,2	1,37	1,12
7	LORETO	1,26	1,37	1,12
8	PASCO	1,26	1,37	1,12
9	SAN MARTIN	1,26	1,37	1,12
10	UCAYALI	1,26	1,37	1,12
11	AMAZONAS	1,26	1,37	1,12
12	ANCASH	1,17	1,45	1,12
13	CAJAMARCA	1,28	1,37	1,12
14	LA LIBERTAD	1,32	1,26	1,12
15	LAMBAYEQUE	1,17	1,39	1,12
16	PIURA	1,44	1,35	1,12
17	TUMBES	1,16	1,37	1,12
18	APURIMAC	1,26	1,37	1,12
19	AREQUIPA	1,4	1,4	1,12
20	CUSCO	1,26	1,29	1,12
21	MADRE DE DIOS	1,26	1,37	1,12
22	MOQUEGUA	1,26	1,4	1,12
23	PUNO	1,15	1,37	1,12
24	TACNA	1,26	1,35	1,12