

ANEXO 2. Modelo de costos empresa eficiente móvil 2025

Esquemas de remuneración mayorista de redes móviles

1. Modelo Empresa Eficiente	2
2. Estructura del Modelo	3
2.1. Estructura Lógica	3
2.2. Estructura del Archivo Excel	5
3. Módulo de Demanda de Servicios Móviles Mercado y Empresa Eficiente	7
3.1. Proyecciones de los servicios móviles periodo 2025-2030	7
3.1.1. Abonados Móviles Trimestrales por Operador	8
3.1.2. Tráfico Unitario de Voz Mensual por Abonado (MOU) por Operador y Tipo	8
3.1.3. Tráfico de Voz Mensual por Operador y Tipo (resultado de la ponderación de Abonados x MOU): 9	
3.1.4. Tráfico de Datos Mensual por Operador y Tipo	10
3.1.5. Tráfico de Mensajería Corta SMS Trimestral por Operador	10
3.2. Demanda de servicios móviles de la empresa eficiente periodo 2025-2030	11
4. Diseño de Red Móvil	13
4.1. Arquitectura de Red	13
4.1.1. Arquitectura de Red de Acceso	14
4.1.2. Arquitectura de Red de Transmisión	15
4.1.3. Arquitectura de Red de Núcleo	16
4.2. Dimensionamiento en Hora cargada	18
4.3. Dimensionamiento de Red	19
4.4. Enlaces de Interconexión	25
4.5. Precios Unitarios de Red	26
5. Otros elementos de costos (mark-up)	26
5.1. Recursos Humanos y Remuneraciones	26
5.2. Edificios e Inversiones Administrativas	27
5.3. Costos de Bienes y Servicios	28
5.4. Costos operacionales estaciones base	29
5.5. Tecnologías de información	29
6. Cálculo de Remuneración de Costos	30
6.1. Introducción: Tipos de Cálculos del Valor de Remuneración de Costos	30
6.1.1. Cálculo de Costo Total de Largo Plazo	31
6.1.2. Cálculo del Costo Incremental por Servicio LRIC puro.	32
6.1.3. Cálculo de Costo Incremental de Largo Plazo por Elementos	33
6.2. Depreciación y Valor Residual	35
6.2.1. Depreciación y Valor Residual en el Cálculo del Costo Incremental de Largo Plazo	35
6.2.2. Valor Residual	36

1. Modelo Empresa Eficiente

La metodología de Operador de Red Hipotético Eficiente o Empresa Eficiente consiste en la utilización de un modelo de negocios que determina las tarifas de los servicios sujetos a regulación, de acuerdo con los costos que tendría un operador que provee los servicios con las tecnologías más eficientes disponibles comercialmente en el mercado al momento de tarificar y, que organiza de manera óptima su operación respecto a red de telecomunicaciones y a la organización para la explotación del servicio, lo cual, supone una total desvinculación con la situación real de las empresas reguladas. El modelo permite entregar una base de sustentación de las tarifas de los servicios de telecomunicaciones regulados, de acuerdo con los costos e inversiones necesarias para la provisión de dichos servicios en el año de reposición.

Las tarifas sujetas a regulación se obtienen a partir de las estimaciones las inversiones necesarias para satisfacer la demanda del servicio proyectada para un horizonte de planificación de 5 años y todos los costos de explotación u operación requeridos que permitan proveer los servicios de la forma más eficiente posible.

Si bien, el modelo de empresa eficiente supone una total desvinculación con la situación real de operador o mercado regulado, al momento de realizar la construcción teórica de una empresa modelo, su complejidad repercute en la práctica, frente a las asimetrías de información, resolver algunas veces incorporar como referencia algunos aspectos de la operación de la empresa real, optimizando las situaciones que así lo requieran. El aspecto anterior, puede ser considerado parcial o totalmente, dependiendo de la partida de costos involucrada.

El modelo de empresa eficiente costea la infraestructura de acceso a través de estaciones bases, de transmisión para el transporte de comunicaciones, de CORE para gestionar y cursar los tráficos, e inversiones administrativas necesarias para el funcionamiento de la red móvil, en cada de las zonas de atención geográficas o de cobertura, y además, incorpora la infraestructura necesaria para la recepción de comunicaciones internacionales, cuando corresponda, así como, los costos de explotación vinculados a la operación de la empresa.

El modelo de empresa eficiente es un modelo prospectivo, es decir, se basa en valorar los activos de la empresa según su costo de reposición en la actualidad –al momento de realizar la observación del mercado regulado– y proyecta los costos que incurrirá en un horizonte de planificación de largo plazo en función de la demanda de servicio que enfrenta la empresa, esto significa, que no se considera el costo histórico de adquisición sino el costo de instalación de una nueva red de manera eficiente –costo de reposición–.

El cálculo de tarifas de los servicios regulados se realiza mediante la asignación de costos de acuerdo con proporciones de uso de los elementos de red, y mediante el uso de distintas metodologías de cálculo utilizadas: Costos Medios, Costos Marginales o Costos Incrementales de Largo Plazo –Long Run Incremental Costs–. Asimismo, este método proporciona un marco analítico con el que mediante tecnologías avanzadas y las operaciones más eficaces, se obtiene una estimación de costos en un mercado competitivo.

En este sentido, este modelo diseña y simula la red eficiente, de mínimo costo, con las características básicas generalmente aceptadas desde el punto de vista de ingeniería existentes en el momento del

Anexo 2: Manual modelo de costos empresa eficiente móvil 2025.	Código: 2000-41-7-9	Página 2 de 36
	Revisado por: Diseño Regulatorio	Fecha de revisión: 04/12/2025
	Aprobado por: Coordinación de Diseño Regulatorio	Fecha de vigencia: 11/02/2025

diseño del modelo, por lo que, el mismo arrojará valores simulados, y eficientes, que variarán en mayor o menor medida, de los que caracterizan la estructura real de costos de los operadores, no permitiendo, por ejemplo, incluir ineficiencias o sobredimensionamientos innecesarios incurridos en el pasado o por razones históricas.

2. Estructura del Modelo

El modelo de Empresa Eficiente cuenta a lo largo de su diseño y modelación, con estructuras lógicas y de modelación que tratan de funcionar de forma tal de hacerlo comprensible para alguien ajeno al equipo desarrollador del modelo.

La construcción del modelo de costos de empresa eficiente se desarrolla en forma modular, incluyendo, al menos, los siguientes aspectos: Tasa de Costo de Capital, Estimación de la Demanda de los Servicios Móviles, Diseño de Red Móvil e Inversiones en Infraestructura de Telecomunicaciones, Inversiones Administrativas, Recursos Humanos – Remuneraciones, Gastos Operacionales, Depreciación – Valor Residual, Ecuación de Autofinanciamiento y Módulo de Cálculo Tarifario.

En términos generales un modelo de estas características, con los grados de libertad que esta cuenta resulta difícil de comprender. El objetivo principal de este manual es lograr entender las funcionalidades modeladas, para que un usuario de este comprenda la mecánica de funcionamiento de los módulos y como se interrelacionan para lograr obtener los resultados finales.

De esta forma, en este capítulo introductorio se mostrarán los siguientes elementos:

- Estructura lógica del Modelo
- Estructura del Archivo Excel
- Principales Elementos del Modelo

En términos de la estructura del manual, este cuenta con seis capítulos, incluida la introducción y el presente capítulo. En el Capítulo 3, se describe el módulo de demanda de servicios móviles mercado y empresa eficiente utilizados en el modelo. En el Capítulo 4, se abordan el diseño, arquitectura, tecnologías, dimensionamientos de la red móvil (acceso, transmisión, núcleo e interconexión). En el Capítulo 5 se describen los módulos de los otros elementos de costos (mark-up). Finalmente, en el Capítulo 6 se exponen las metodologías del cálculo de remuneración de costos utilizadas en el modelo de empresa eficiente.

2.1. Estructura Lógica

Dentro de la modelación propuesta existen los siguientes conceptos básicos para comprender la lógica del modelo, correspondiente a:

- **Costo de Reposición:** Este modelo, al igual que la mayoría de los modelos regulatorios alrededor del mundo, supone una reposición completa de los activos necesarios para brindar los servicios en el período de análisis.
- **Red Eficiente:** Para la elaboración del modelo se consideran las modificaciones de red sobre las redes existentes para adoptar activos que se adaptan a las necesidades y requerimientos de

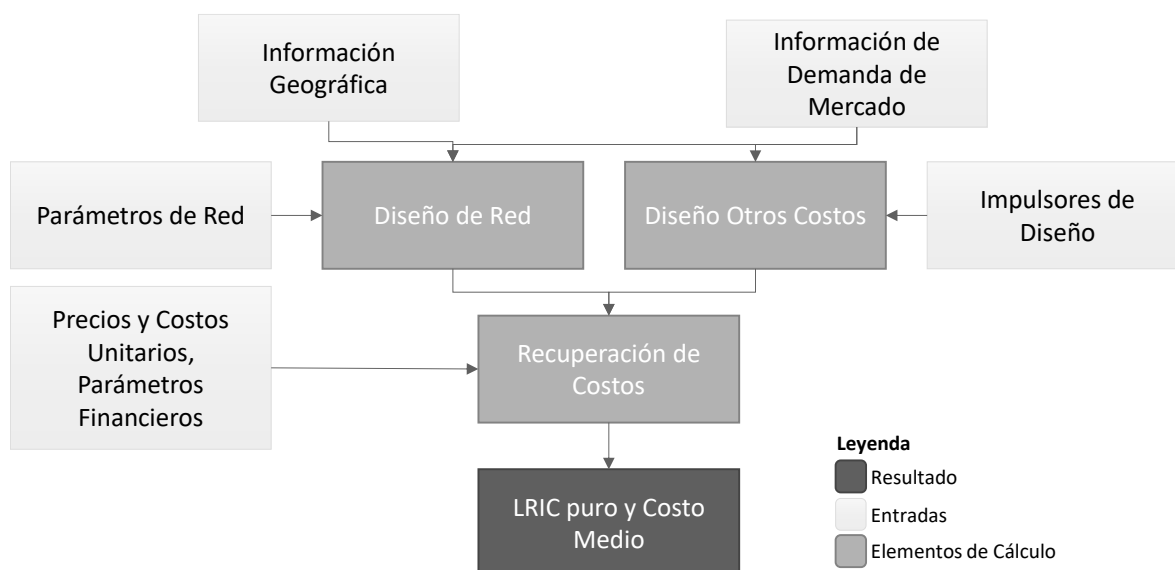
Anexo 2: Manual modelo de costos empresa eficiente móvil 2025.	Código: 2000-41-7-9	Página 3 de 36
	Revisado por: Diseño Regulatorio	Fecha de revisión: 04/12/2025
	Aprobado por: Coordinación de Diseño Regulatorio	Fecha de vigencia: 11/02/2025

una red actual, con tecnología probada y existente a nivel comercial en Colombia, no replicando activos que eventualmente dejaron de ser comercializados hace varios años.

- **Oferta de Mercado:** El modelo respeta la oferta de mercado actual, es decir, las tecnologías de red presentes que emanan de los usuarios y las proyecta en base al comportamiento histórico de la oferta.
- **Proyección de Demanda:** El modelo realiza una proyección a 5 años de la demanda por servicios actual y al final de este período la Empresa Eficiente es liquidada a su valor residual en ese momento.

En términos simples y resumidos el modelo cuenta con grandes elementos lógicos que permiten su modelación, los que se agrupan en los elementos que se muestran en la siguiente ilustración.

Ilustración 1: Estructura lógica del modelo



Fuente: Elaboración propia.

La funcionalidad de cada elemento es la siguiente:

- La información geográfica consiste en la información relacionada con la geografía de Colombia, donde se recoge entre otros elementos información departamental y municipal. Para el caso del diseño de red de acceso se subdivide en base a la cobertura y a la densidad de tráfico al interior del municipio entre distintos geotipos a ser servidos.
- La información de demanda de mercado se basa en tráficos reales aportados por cada operador los cuales son proyectados a 5 años en el futuro.
- Los parámetros de red consideran las capacidades y características técnicas de los equipos de red de forma tal de poder suministrar todos los servicios de la empresa eficiente.

- Los impulsores de diseño participan en diseño eficiente de los otros elementos de costo, corresponden a tasas y rendimientos observados en el mercado colombiano en base a la información entregada por los operadores.
- El módulo de diseño de red se alimenta de la información de demanda de mercado, parámetros técnicos e información geográfica principalmente de cobertura y se ocupan criterios que afectan el rendimiento de los equipos para poder modelar el desempeño de una empresa real.
- Los otros módulos de diseño contemplan el diseño de recursos humanos, edificios técnicos y administrativos, sistemas de información y otros bienes y servicios, los cuales se nutren de la demanda y su dispersión geográfica, y en base a los impulsores proyectan las cantidades necesarias de estos elementos.
- En la recuperación de costos se toman las unidades físicas de los elementos necesarios, y se multiplican por su precio, y con la vida útil y los parámetros financieros se calcula la remuneración a recuperar por cada uno de los servicios.
- Finalmente, luego de calculada la remuneración de costos se obtienen los valores a costo medio e incremental de los servicios.

2.2. Estructura del Archivo Excel

El archivo Excel se estructura de forma similar al diseño lógico del modelo con mayor nivel de detalle en algunos puntos. El archivo tiene las siguientes hojas:

- **Estilos:** La hoja de estilos tiene los estilos que son utilizados en el modelo, los que resultan de utilidad para que cuando sea leído este se puedan orientar sobre los que son datos, parámetros o elementos de cálculo y resultados.
- **Portada:** En esta hoja se encuentra una descripción funcional a través de un diagrama de flujo de las partes del modelo.
- **Parámetros:** En esta hoja se encuentran los parámetros principales y financieros del modelo, como el WACC, la tasa de impuestos, los tipos de cambios utilizados, los días de capital de trabajo. Dentro de las listas se encuentran las listas de departamentos, y la definición de zonas en base a geotipos.
- **Proyección:** En esta hoja se encuentra la información histórica y la información que será utilizada para la proyección del mercado.
- **Demanda:** En esta hoja se presenta una vista organizada de la proyección de demanda para que sea utilizada como punto de entrada de los cálculos que siguen en el modelo.
- **Geo:** En esta hoja se encuentran la modelación geográfica por municipios que permite asociar el comportamiento geográfico a los parámetros de la modelación.
- **Param.Red.M:** En esta hoja se entran los principales parámetros del diseño de red para cada una de las capas de red, entre otros la cobertura de la empresa eficiente, el uso de espectro, la distribución de tráfico por tecnología (GSM. UTMS y LTE), parámetros asociados con cada una de las tecnologías, backhaul, transmisión en el núcleo, núcleo de red e interconexiones.
- **Fact.Util:** En esta hoja se encuentran los factores de utilización y las consideraciones para la puesta en marcha de los elementos de red, así como las utilidades máximas de estos elementos.
- **Dda.Red.M:** En esta hoja se encuentran los parámetros para caracterizar el diseño en hora cargada u hora pico de la red, y algunas características inherentes al tráfico que permiten transformar la demanda en volúmenes en demandas de flujos como lo son los erlangs y Mbps. En esta hoja además se modela la congestión de los canales de señalización de las interfaces

Anexo 2: Manual modelo de costos empresa eficiente móvil 2025.	Código: 2000-41-7-9	Página 5 de 36
	Revisado por: Diseño Regulatorio	Fecha de revisión: 04/12/2025
	Aprobado por: Coordinación de Diseño Regulatorio	Fecha de vigencia: 11/02/2025

de radio de forma tal de establecer equivalencias entre voz y datos para LTE en particular. La entrada a esta hoja proviene principalmente de la hoja de demanda, y algunas de las transformaciones utilizan las tasas de los parámetros de red.

- **Dis.Red.M:** En esta hoja se encuentra el diseño de la red móvil desde la red de acceso, la transmisión, núcleo e interconexiones. Se alimenta de la demanda de red y parámetros de diseño, toma en consideración los factores de utilización, la salida son los elementos de red necesarios para satisfacer la demanda.
- **Sal.Red:** La hoja de Salida de red es un paso intermedio ya que el diseño de red genera más de 350 salidas de costos de inversión y gastos, las cuales se pueden agrupar en menos de 100 categorías que comparten la misma vida útil y características de uso de la red. En esta hoja también se encuentra el detalle de los costos de red y de infraestructura de estaciones base.
- **Tablas Erlang:** En esta hoja se encuentran las tablas erlang B, y sus modificaciones para ser utilizadas en UMTS R99 y GSM en presencia de tráfico y señalización GPRS.
- **RRHH:** En esta hoja se presenta una vista de la estructura orgánica de la empresa, su dotación, despidos y contrataciones para el periodo en función de crecimientos asociados a cada labor, que determinan los costos de remuneraciones y beneficios asociados, para que sea utilizada como punto de entrada de los cálculos que siguen en el modelo.
- **BBSS:** En esta hoja se presentan los costos de bienes y servicios, que determina los costos operacionales no red, modelados en función de drivers y su crecimiento, para que sea utilizada como punto de entrada de los cálculos que siguen en el modelo.
- **Edificios:** En esta hoja se presentan los costos asociados a los bienes inmuebles (administrativos, técnicos, comerciales), que determina los costos operacionales no red, modelados en función de costos unitarios y su crecimiento, para que sea utilizada como punto de entrada de los cálculos que siguen en el modelo.
- **Sitios:** En esta hoja se presentan los costos asociados a los sitios de las estaciones bases modelados por geotipo en función de los gastos operacionales (alquiler sitio, energía, gasto predial, seguridad física y ciudadana, alumbrado público y O&M no técnico), para que sea utilizada como punto de entrada de los cálculos que siguen en el modelo.
- **Espectro:** En esta hoja se presentan los costos asociados a la valorización de las bandas de espectro que utiliza la empresa eficiente.
- **TI:** En esta hoja se presenta una vista organizada de las tecnologías de información bajo arquitectura full stack, que permite determinar los Sistemas (BRM/EBS/CRM/OSM) y subsistemas requeridos por la empresa para el periodo, determinando con ello los costos (HW/SW/Plataformas), para que sea utilizada como punto de entrada de los cálculos que siguen en el modelo.
- **KPI_Zonas:** En esta hoja se presentan los KPI de la modelación de las zonas del modelo de empresa eficiente.
- **BD.Costos:** Es el centro de control del cálculo del cálculo tarifario, se encuentran parámetros como la vida útil de la inversión, los costos de inversión, los gastos anuales,
- **Asignadores:** en esta hoja se calculan los asignadores por uso para el costo medio, los asignadores están elaborados en base a las demandas que fueron utilizadas como base del diseño.
- **LRIC_Puro:** En esta hoja se encuentran las variaciones al tráfico de entrada al modelo que permiten calcular los costos incrementales puros, además de esto se encuentran los resultados de cada uno de los servicios a ser tarificados.
- **Cálculo CMLP:** En esta hoja se realiza el cálculo de los costos medios de largo plazo, además de esto se encuentran los resultados de cada uno de los servicios a ser tarificados.

- **Cálculo Tarifario:** En esta hoja se realiza el cálculo financiero del modelo, obteniéndose los costos de inversión, gastos, depreciación y valores residuales que permiten establecer el costo medio del modelo, el cual es base para el cálculo de todas las tarifas que arroja el modelo.

3. Módulo de Demanda de Servicios Móviles Mercado y Empresa Eficiente

En el archivo Excel, el módulo de estimación de demanda de servicios móviles de mercado y de empresa eficiente se estructura en dos hojas:

- Proyecciones de servicios móviles de mercado (hoja 'Proyección').
- Demanda de servicios móviles de la empresa eficiente (hoja 'Demanda').

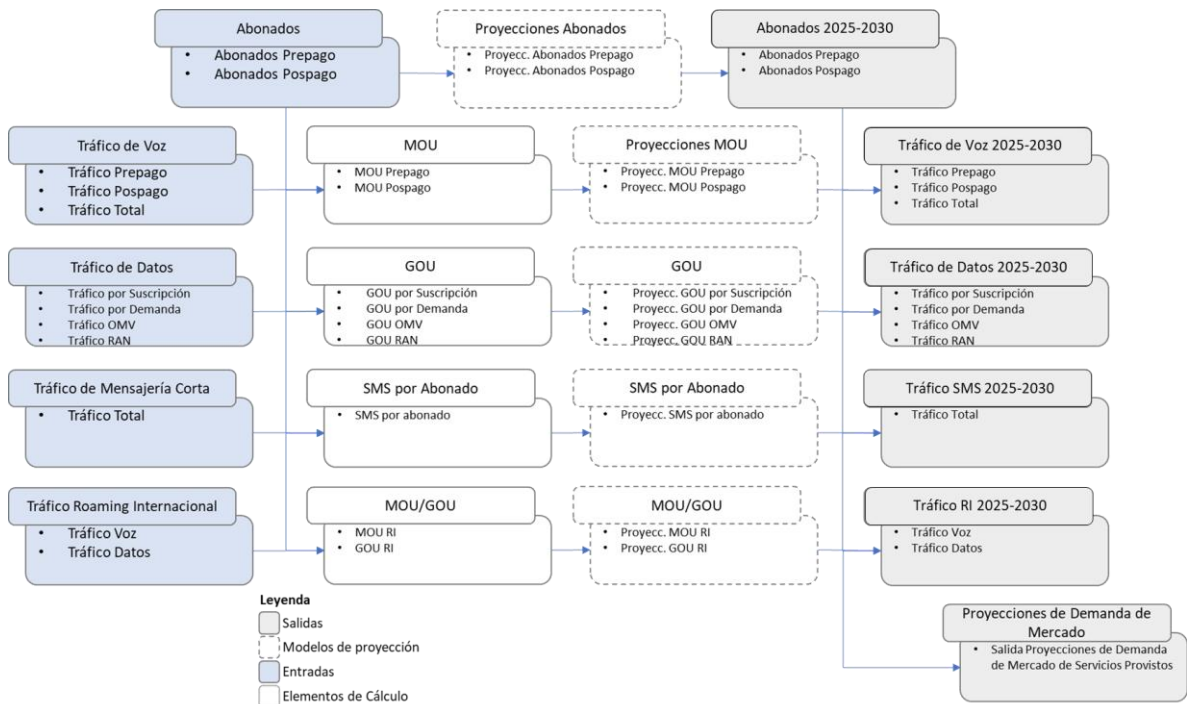
3.1. Proyecciones de los servicios móviles periodo 2025-2030

Las proyecciones de demanda de los servicios móviles para el mercado colombiano, para el periodo 2025-2030, utilizan estimaciones independientes de cada una de las variables requeridas para la modelación. De esta forma, se han estimado las siguientes variables por cada uno de los operadores que componen el mercado móvil a diciembre de 2025.

- Abonados
- Tráficos de Voz
- Tráficos de Mensajería Corta
- Tráficos de Datos
- Tráficos Roaming Automático Nacional
- Tráficos Operador Móvil Virtual
- Tráficos Roaming Internacional

Anexo 2: Manual modelo de costos empresa eficiente móvil 2025.	Código: 2000-41-7-9	Página 7 de 36
	Revisado por: Diseño Regulatorio	Fecha de revisión: 04/12/2025
	Aprobado por: Coordinación de Diseño Regulatorio	Fecha de vigencia: 11/02/2025

Ilustración 2: Módulo Proyección (hoja 'Proyección').



Fuente: Elaboración propia.

3.1.1. Abonados Móviles Trimestrales por Operador

En el caso de las estimaciones de abonados móviles para el segmento de prepago y pospago se utiliza la metodología siguiente:

- Para los abonados se calculan los comportamientos históricos de abonados para cada trimestre para los segmentos de Prepago y Pospago.
- Se proyectan las series de datos históricos para el horizonte de proyección 2025 al 2030, de forma independiente.
- Con los resultados se obtienen ambas variables correspondientes:
 - Abonados Pospago
 - Abonados Prepago
 - Abonados Totales (adición de Prepago y Pospago).

3.1.2. Tráfico Unitario de Voz Mensual por Abonado (MOU¹) por Operador y Tipo

En el caso de las estimaciones de tráfico de voz para el segmento de prepago y pospago se utiliza la metodología siguiente:

¹ MOU: Minute on Used.

- Para cada tipo de tráfico (Móvil a Móvil OnNet, Móvil a Móvil OffNet, Móvil a Fijo de Entrada y Salida, Móvil a Larga Distancia) se calculan los comportamientos históricos de minutos en uso por abonado para cada mes (MOU), para los segmentos de Prepago y Pospago.
- Se proyecta la serie de datos históricos para el horizonte de proyección determinados, de forma independiente.

Las series resultantes corresponden a las siguientes:

- MOU Móvil a Móvil (Pospago)
- MOU Móvil a otra Móvil (Pospago)
- MOU Móvil a misma Móvil (Pospago)
- MOU Móvil a Fijo (Pospago)
- MOU Móvil a Larga Distancia (Pospago)
- MOU Fijo a Móvil (Pospago)
- MOU Móvil a Móvil (Prepago)
- MOU Móvil a otra Móvil (Prepago)
- MOU Móvil a misma Móvil (Prepago)
- MOU Móvil a Fijo (Prepago)
- MOU Móvil a Larga Distancia (Prepago)
- MOU Fijo a Móvil (Prepago)

3.1.3. Tráfico de Voz Mensual por Operador y Tipo (resultado de la ponderación de Abonados x MOU):

- Con los Abonados y MOU proyectados se obtienen los tráficos totales como resultado de la ponderación de ambas variables correspondientes por cada tipo de segmento.

Las series resultantes corresponden a las siguientes:

- Tráfico Móvil a Móvil (Pospago)
- Tráfico Móvil a otra Móvil (Pospago)
- Tráfico Móvil a misma Móvil (Pospago)
- Tráfico Móvil a Fijo (Pospago)
- Tráfico Móvil a Larga Distancia (Pospago)
- Tráfico Fijo a Móvil (Pospago)
- Tráfico Móvil a Móvil (Prepago)
- Tráfico Móvil a otra Móvil (Prepago)
- Tráfico Móvil a misma Móvil (Prepago)
- Tráfico Móvil a Fijo (Prepago)
- Tráfico Móvil a Larga Distancia (Prepago)
- Tráfico Fijo a Móvil (Pospago)
- Tráfico Móvil a Móvil (Pospago + Prepago)
- Tráfico Móvil a otra Móvil (Pospago + Prepago)
- Tráfico Móvil a misma Móvil (Pospago + Prepago)
- Tráfico Móvil a Fijo (Pospago + Prepago)
- Tráfico Móvil a Larga Distancia (Pospago + Prepago)

Anexo 2: Manual modelo de costos empresa eficiente móvil 2025.	Código: 2000-41-7-9	Página 9 de 36
	Revisado por: Diseño Regulatorio	Fecha de revisión: 04/12/2025
	Aprobado por: Coordinación de Diseño Regulatorio	Fecha de vigencia: 11/02/2025

- Tráfico Fijo a Móvil (Pospago + Prepago)

3.1.4. Tráfico de Datos Mensual por Operador y Tipo

En el caso de las estimaciones de tráfico de datos para el segmento de prepago y pospago se utiliza la metodología siguiente:

- Para la estimación de tráfico de datos se calculan los comportamientos históricos de GB de consumo por abonado para cada mes (GOU), para los segmentos por Suscripción y por Demanda.
- Se proyecta la serie de datos históricos GOU, para el horizonte de proyección determinados, de forma independiente.
- Para determinar los abonados de los segmentos por Suscripción y por Demanda se determinan la penetración y su proyección para los Abonados de Servicios de Datos por Suscripción sobre Abonados Pospago y para los Abonados de Servicios de Datos por Demanda sobre Abonados Prepago.
- Con los Abonados de Datos y GOU proyectados se obtienen los tráficos totales como resultado de la ponderación de ambas variables correspondientes por cada tipo de segmento.

Las series resultantes corresponden a las siguientes:

- Penetración de Abonados de Servicios de Datos por Suscripción sobre Abonados Pospago
- Penetración de Abonados de Servicios de Datos por Demanda sobre Abonados Prepago
- Abonados de Datos por Suscripción
- Abonados de Datos por Demanda
- GOU Datos por Suscripción
- GOU Datos por Demanda
- Tráfico de Datos por Suscripción
- Tráfico de Datos por Demanda
- Tráfico de Datos Total

3.1.5. Tráfico de Mensajería Corta SMS Trimestral por Operador

En el caso de las estimaciones de tráfico de mensajería corta SMS se utiliza metodología de proyección de cada serie de SMS asociada a los servicios de abonados, RAN, OMV y mensajería corta (A2P). Las series de resultante son las siguientes:

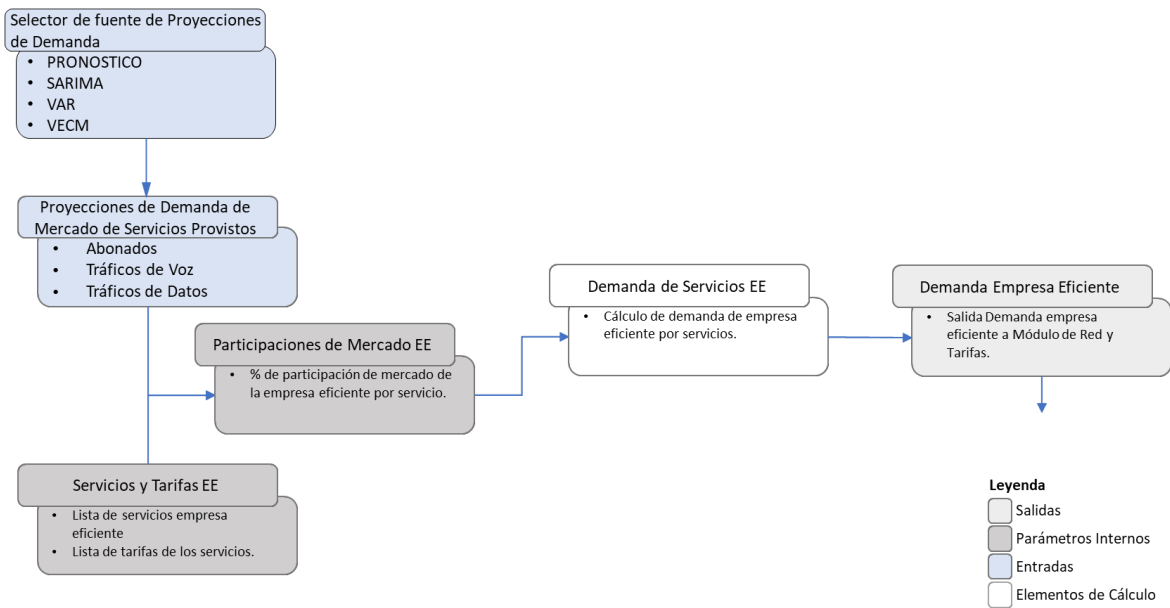
- Tráfico SMS (Red+OMV)
- Tráfico SMS Roaming Automático Nacional
- Tráfico SMS Operador Móvil Virtual
- Tráfico Código Cortos Originados
- Tráfico Código Cortos Terminados

3.2. Demanda de servicios móviles de la empresa eficiente periodo 2025-2030

La demanda de servicios móviles de la empresa eficiente, para el periodo 2025-2030, se determinan desde las proyecciones de demanda de mercado de los servicios provistos por los operadores móviles presentes a diciembre de 2025. El modelo permite adoptar la participación de mercado de la empresa eficiente de forma paramétrica, permitiendo conocer la demanda de los distintos servicios para el periodo, lo cual se obtiene a partir de dos fuentes:

- Proyecciones de demanda de mercado de los servicios provistos obtenida en la hoja ‘Proyección’, en base a una estimación de función de PRONOSTICO estadístico de orden lineal que calcula un valor futuro en base a valores históricos existentes mediante un algoritmo suavizado exponencial triple (Exponential Triple Smoothing -ETS-).
- Proyecciones de demanda de mercado de los servicios provistos obtenida de fuente externas al Modelo. Estas proyecciones se basan en modelos de estimación estadística: SARIMA, VAR y VECM.

Ilustración 3: Módulo Demanda (hoja ‘Demanda’).



Fuente: Elaboración propia.

Las series resultantes corresponden a las siguientes:

- **Servicio de telefonía móvil**
 - Abonados
 - Abonados pospago
 - Abonados prepago
 - Tráfico Voz Móvil Salida

- Tráfico Móvil a Móvil (Salida)
- Tráfico Móvil a otra Móvil (Salida)
- Tráfico Móvil a misma Móvil (Salida)
 - Tráfico Móvil a Fijo (Salida)
 - Tráfico Móvil a Larga Distancia (Salida)
- Tráfico Voz Móvil Entrada
 - Tráfico Móvil a Móvil (Entrada)
 - Tráfico Fijo a Móvil (Entrada)
 - Tráfico Móvil a Larga Distancia (Entrada)
- Tráfico Voz Móvil Salida Pospago
 - Tráfico Móvil a Móvil (Salida) Pospago
 - Tráfico Móvil a otra Móvil (Salida) Pospago
- Tráfico Móvil a misma Móvil (Salida) Pospago
 - Tráfico Móvil a Fijo (Salida) Pospago
 - Tráfico Móvil a Larga Distancia (Salida) Pospago
- Tráfico Voz Móvil Entrada Pospago
 - Tráfico Móvil a Móvil (Entrada) Pospago
 - Tráfico Fijo a Móvil (Entrada) Pospago
 - Tráfico Móvil a Larga Distancia (Entrada) Pospago
- Tráfico Voz Móvil Salida Prepago
 - Tráfico Móvil a Móvil (Salida) Prepago
 - Tráfico Móvil a otra Móvil (Salida) Prepago
- Tráfico Móvil a misma Móvil (Salida) Prepago
 - Tráfico Móvil a Fijo (Salida) Prepago
 - Tráfico Móvil a Larga Distancia (Salida) Prepago
- Tráfico Voz Móvil Entrada Prepago
 - Tráfico Móvil a Móvil (Entrada) Prepago
 - Tráfico Fijo a Móvil (Entrada) Prepago
 - Tráfico Móvil a Larga Distancia (Entrada) Prepago
- **Servicio de acceso a Internet móvil**
 - Abonados de datos
 - Abonados por demanda
 - Abonados por suscripción
 - Tráfico de Datos Total
 - Tráfico de Datos por Suscripción
 - Tráfico de Datos por Demanda
- **Servicio de mensajería SMS**
 - Tráfico SMS Entrada
 - Tráfico SMS Salida
 - Tráfico SMS OnNet
 - Mensajes cortos recibidos y originados
- **Voz Operador Móvil Virtual**
 - OMV Voz Entrada
 - OMV Voz Salida

- OMV Voz OnNet
- **SMS Operador Móvil Virtual**
 - OMV sms
 - Datos Operador Móvil Virtual
 - OMV Datos
- **Voz Roaming Automático Nacional**
 - RAN Voz Entrada
 - RAN Voz Salida
- **SMS Roaming Automático Nacional**
 - RAN sms
- **Datos Roaming Automático Nacional**
 - RAN Datos
- **Voz Roaming Internacional**
 - Roaming Internacional Voz Salida
 - Roaming Internacional Voz Entrada
- **SMS Roaming Internacional**
 - Roaming Internacional sms
- **Datos Roaming Internacional**
 - Roaming Internacional Datos

4. Diseño de Red Móvil

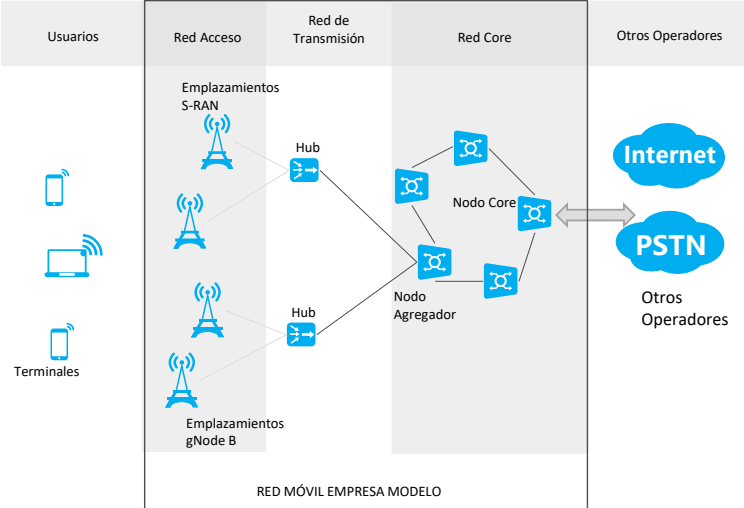
Este capítulo resume las características principales de la red móvil modelada, analizando la arquitectura física de red.

4.1. Arquitectura de Red

El enfoque de modelación corresponde a un modelo bottom up, con scorched-node modelado a través de factores de utilización. Al decir que es bottom up, es que la red se construye a partir de la satisfacción de la demanda, la cual se expresa como demanda de tráfico y demanda de cobertura. La red de está organizada en cuatro niveles, los emplazamientos de radio, la red de transmisión compuesta por los hubs, los nodos de agregación y los nodos de Core, tal como se aprecia en la Ilustración 4.

Anexo 2: Manual modelo de costos empresa eficiente móvil 2025.	Código: 2000-41-7-9	Página 13 de 36
	Revisado por: Diseño Regulatorio	Fecha de revisión: 04/12/2025
	Aprobado por: Coordinación de Diseño Regulatorio	Fecha de vigencia: 11/02/2025

Ilustración 4: Arquitectura de red móvil simplificada



Fuente: Elaboración propia.

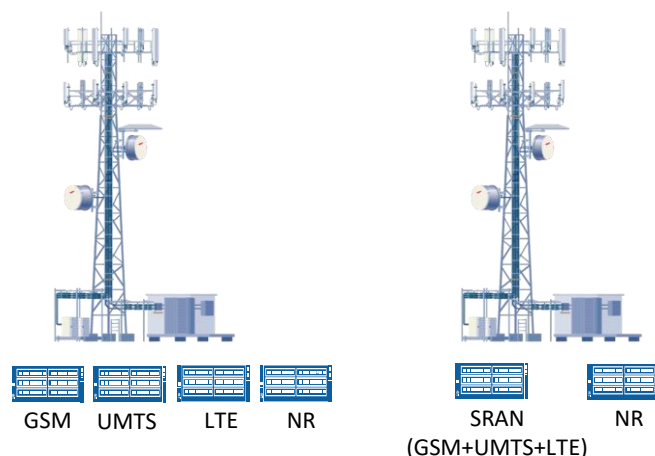
De la Ilustración 4, se desprende que no son materia de modelación los terminales de los usuarios, otros operadores de red y la provisión del contenido de internet, quedando sólo el ámbito de la red propia contenida en el modelo.

4.1.1.1. Arquitectura de Red de Acceso

La red de acceso desplegada es una red de acceso móvil con tecnología GSM (2G), UMTS (3G) y LTE (4G) y NR (5G), centrada en el uso de la arquitectura Single Radio Access Network (SRAN) más bandas base, unidades de radio y radiantes 5G. La tecnología de Single RAN, está presente en el mercado desde hace 10 años al menos, ésta permite la instalación de un solo equipo banda base (Base Band Units, BBU) con la capacidad de prestar servicios en las tres tecnologías de radio desplegadas², su diseño y configuración son flexibles, para aumentar esta también se consideran sistemas de radio (Radio Units, RU) y radiantes que sean capaces de administrar múltiples bandas de frecuencia. Para el caso de 5G por ser una tecnología de alto desempeño y de aún baja penetración, utiliza bandas base propias y unidades de radio, que se configuran como upgrades y en una etapa de densificación como estaciones base exclusivas 5G.

² Sin incluir 5G.

Ilustración 5: Comparación entre la red de acceso Single RAN + NR, vs el caso de una red legada con upgrade LTE y upgrade NR



Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista de despliegue de redes la opción planteada resulta la más conveniente para enfrentar una demanda tecnológica en evolución en un escenario de costos de reposición, si sólo se evaluara la inclusión de elementos incrementales y reposición de equipamiento antiguo sin valor residual, la selección de tecnología eficiente sería otra.

4.1.2. Arquitectura de Red de Transmisión

El tráfico de la red de acceso es recogido por hubs de concentración de tráfico antes de ser llevado a los nodos de agregación. Los hubs agregan el tráfico en una estructura piramidal, donde un hub concentra varios emplazamientos de radio, y a su vez algunos de los emplazamientos de radio tienen probabilidad de ser hub, luego estos hubs se conectan a los nodos de agregación, ubicados en las capitales departamentales, que a su vez se conectan al Núcleo (Core). Los parámetros que definir en los hubs son los siguientes:

- **Proporción de Sitios Conectados a un Hub:** Son los sitios que están conectados a los hubs, estos pueden diferir por cada geotipo, es de esperar que en los sitios de alta densidad de tráfico sean menos los sitios conectados a un hub y estén coubicados en un hub.
- **Número Máximo de Sitios Conectados a un Hub:** El número máximo de sitios conectados por hub es uno de los valores de entrada a la arquitectura de transmisión, un valor usual es 5 sitios por hub.
- **Proporción de Sitios Coubicados en un Hub:** La proporción de sitios coubicados en hub se transforman en los sitios para los cuales no será necesaria la transmisión de última milla, es valor no es necesariamente el complemento de la proporción de sitios conectados, ya que a no estar conectado a un hub, al no estar en un hub, se crea un enlace directo desde el sitio a un nodo de agregación sin que este pase por un hub (los tres conceptos deben sumar 100% de los sitios).
- **Hubs por cada enlace de transmisión al CORE:** Esta opción permite la creación de un anillo o malla en los hubs, el valor por defecto es 1, esto quiere decir que los hubs se conectan por

enlaces dedicados y respaldados directamente con los agregadores, si se elige un número mayor se crearán enlaces adicionales para simular una estructura de anillo.

El despliegue de la tecnología de banda ancha móvil requiere altas tasas de transferencia dentro de la red de transmisión desde los sitios, por lo que tecnologías completamente basadas en microondas como en procesos anteriores ya no son factibles en términos de eficiencia económica, dentro del modelo es posible seleccionar para cada tipo de geotipo las siguientes opciones:

- **Protocolos de Transmisión:** se puede seleccionar entre ATM/SDH/PDH y Ethernet. Para todos los sitios se seleccionó ethernet como valor por defecto, incluyendo los dos tipos de enlaces, los de los sitios a los hubs o de los hubs al CORE.
- **Tecnología Utilizada:** se puede optar por Arriendo, Microondas Propio y Fibra Propia. Para el diseño de la empresa eficiente se consideraron enlaces propios de microondas y fibra óptica, las cuales por zona variaban desde 0% a 100% de enlaces de MMOO. Los enlaces satelitales fueron modelados como enlaces arrendados, representados como enlaces directos a nodos CORE y representan un 0,2% de los enlaces³.
- Para los enlaces entre los Hub y el CORE, las opciones son utilizar enlaces arrendados con capacidad o enlaces de fibra oscura, la opción de enlaces de fibra oscura sólo queda operativa cuando los "Hubs por cada enlace de transmisión al CORE" toma un valor distinto a 1, en caso de seleccionarse la fibra oscura se toma como referencia la longitud media del anillo de fibra que está en la tabla "Backhaul de enlace hub-core". El precio de los enlaces está compuesto por un costo administrativo de poner en marcha el enlace y el precio del router, y un costo anual por arriendo del enlace.

Para el tráfico en el núcleo se consideraron sólo enlaces dedicados (alquilados), a pesar de que no es representativo de la realidad colombiana, la cual es principalmente propia. Lo anterior constituyó una decisión regulatoria, ya que dado el volumen del tráfico de datos y el uso de la metodología de LRIC puro, llevarían que para el caso de la voz el aporte de esta partida de costos sea inexistente si se construyese una red de fibra óptica⁴, a pesar de que sea una práctica utilizada por otros reguladores de la región y el mundo.

4.1.3. Arquitectura de Red de Núcleo

La arquitectura de la red núcleo es resultado de la modelación, donde ésta puede variar a través de la elección de los vectores de dominio de los equipos se determina la zona de servicio o influencia de cada uno, esto se hace de forma paramétrica. Dentro del modelo aparecen nombrados como "Topología de Sitios de Control y Conmutación" y "Topología de Interconexión", ambas tablas idealmente deben guardar coherencia. Por ejemplo, es de esperar que los nodos del núcleo principales ubicados en las ciudades de Medellín, Barranquilla, Bogotá y Cali, coincidan con los nodos de terminación de red, si no es así, el modelo crea un enlace cuando los elementos no se encuentran coubicados, por ejemplo, si un RNC no está coubicado con un MGW se crea un enlace para llevar el servicio y se crea otro enlace para transportar el control hacia un MSCS.

³ Estos fueron incluidos vía costo diluido entre todos los enlaces de las zonas.

⁴ Esto debido a que la red de fibra óptica es muy poco sensible al tráfico.

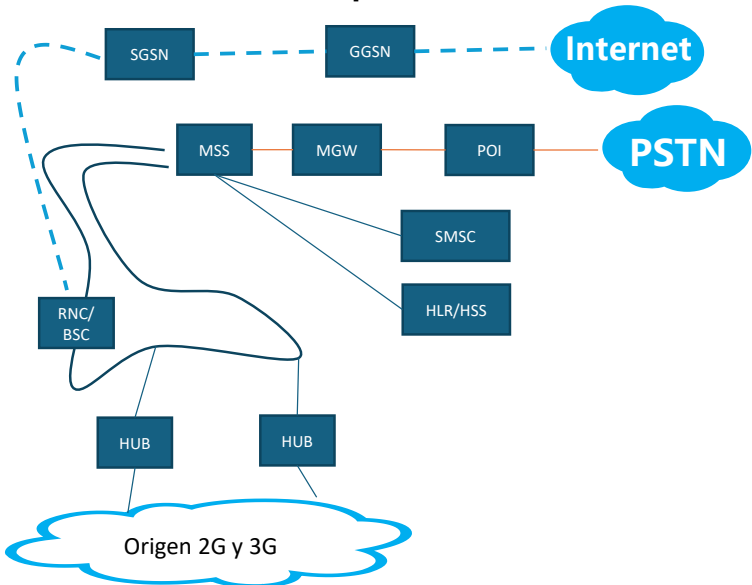
Anexo 2: Manual modelo de costos empresa eficiente móvil 2025.	Código: 2000-41-7-9	Página 16 de 36
	Revisado por: Diseño Regulatorio	Fecha de revisión: 04/12/2025
	Aprobado por: Coordinación de Diseño Regulatorio	Fecha de vigencia: 11/02/2025

Dada la división geográfica del modelo, basada en departamentos, cada capital regional actúa como un nodo de agregación, o un nodo de núcleo, el cuál recibe el tráfico desde cada uno de los hubs de la red de transmisión y dirigirlo hacia el nodo Core o punto de interconexión más cercano.

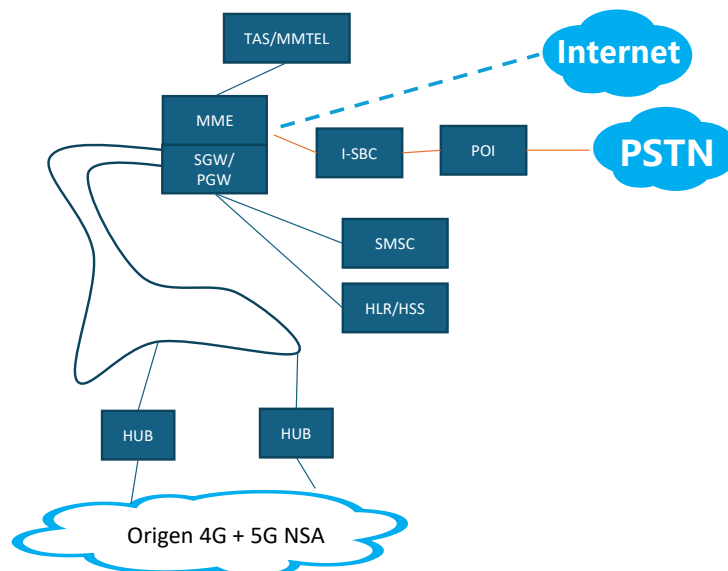
Por parte de la arquitectura de los nodos del núcleo en particular, se respetó la existencia de redes legadas, por lo que el núcleo presenta componentes 2G y 3G, así como componentes 4G y de una red IMS. De esta forma dentro del núcleo están conviviendo una red conmutación de circuitos (CS), una red de conmutación de paquetes(PS), una red de conmutación de paquetes evolucionada (EPS) y una red IP Multimedia Subsystem (IMS). La alternativa técnica más utilizada en la actualidad para una red nueva es la utilización de componentes virtualizados para el CORE, en el caso colombiano para las redes más antiguas aún no es la tecnología de mayor capacidad instalada, pero ya alcanza el nivel necesario para ser considerada una tecnología presente en el mercado, por lo que en esta ocasión si fue considerada. Desde el punto de vista de diseño virtualizar ofrece un manejo de licencias dinámico y con menores modularidades que los equipos monolíticos, lo que permite una mejor adecuación a los escenarios de demanda.

En el modelo el tráfico entre MGW (Media Gateway) y los I-SBC (Session Border Controler de Interconexión) resulta particularmente alto ya que el transporte del tráfico al punto más cercano de destino corre por cuenta de la empresa eficiente.

Ilustración 6: Visión General Simplificada del CORE 2G+3G modelado



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 7: Visión General del CORE 4G+ 5G NSA modelado

Fuente: Elaboración propia.

En términos generales las funcionalidades de red que participan en la empresa eficiente se pueden observar en la Ilustración 6 e Ilustración 7, las cuales representan arquitecturas muy simplificadas⁵, ambas redes están comunicadas a nivel de los MGW y SBC, de forma tal de poder desbordar el tráfico de una red a otra. Los MGW, SBC, RNC y BSC estar organizados como un pool de equipos comunicados entre sí, para satisfacer la demanda. Las representaciones de las ilustraciones no pretenden ser exhaustivas, sirven de guía al lector para interiorizarse en la arquitectura de red.

4.2. Dimensionamiento en Hora cargada

El módulo de demanda representa la proyección del volumen de tráfico del mercado a lo largo del tiempo. Sin embargo, para el dimensionamiento de las redes de telecomunicaciones es necesario conocer el flujo de tráfico transportado en el momento de mayor carga de la red, ese período es denominado la hora cargada. Este flujo de tráfico es determinado a partir de los volúmenes de tráfico determinados en el módulo de demanda, y los cálculos son realizados en la hoja 'Dda.Red.M'.

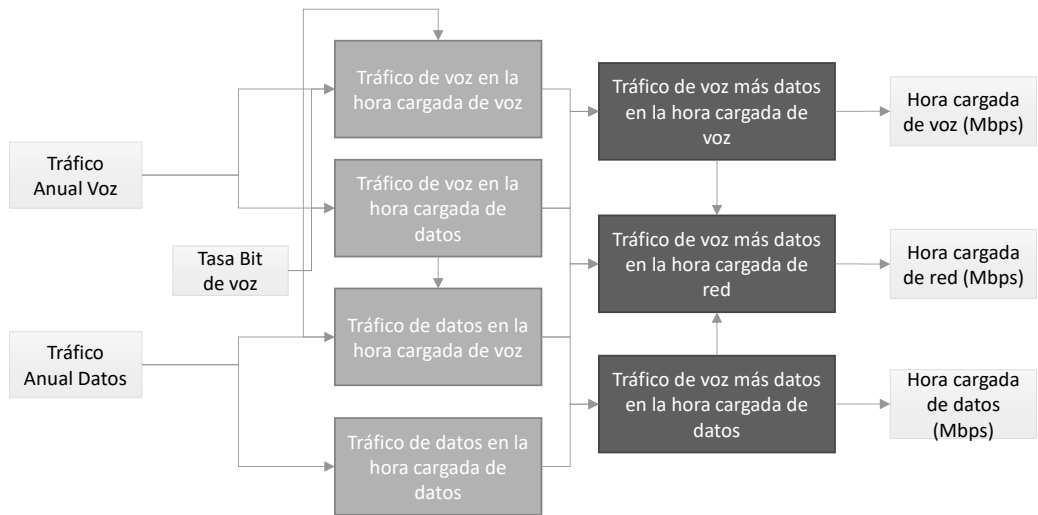
La distribución del tráfico dentro de la red no es uniforme, en ella priman dos efectos, un efecto horario, el cual tiene un patrón horario bastante predecible, donde proporcionalmente la hora punta de la voz suele ser más intensa que la de los datos. El segundo efecto es denominado "movilidad geográfica" que afecta principalmente a los elementos de radio, y está dado por el movimiento de las personas durante el día y entre días, en la red de acceso, por ejemplo, en las grandes ciudades las zonas céntricas suelen

⁵ Las arquitecturas muestran omisiones por simplificación al núcleo de voz VoLTE, y a los elementos que permiten el intercambio de tráfico y señalización para el Roaming y los Operadores móviles virtuales, dichos elementos se encuentran en forma explícita en el modelo.



tener tráfico intenso durante los horarios laborales, pero esas mismas zonas los fines de semana no suelen tener tráfico.

Ilustración 8: Transformación de la demanda anual a tráfico en la hora cargada



Fuente: Elaboración propia.

De la Ilustración 8, donde se muestra en forma esquemática el cálculo de tráfico en la hora cargada), se puede deducir que existen tres líneas de cálculo asociadas a la hora cargada, una asociada a voz, otra a datos y otra al sistema, la asociada a voz participará en el cálculo de los elementos donde exclusivamente sirvan a voz, dentro de la misma lógica opera el factor de hora cargada de datos. La tercera línea de cálculo sirve para los elementos compartidos entre voz y datos, para calcular sus máximos requerimientos.

4.3. Dimensionamiento de Red

Para el dimensionamiento de los elementos de red se tomará en consideración el tráfico en hora cargada, tanto de las componentes que se encuentran más cerca de los usuarios o de la red de acceso, como de las componentes más lejanas como el núcleo de la red. Si bien se podría detallar la cadena de cálculos que permiten alcanzar los costos, resulta más ilustrativo para el lector explicar las partidas de elementos físicos objetivos y la lógica de dimensionamiento subyacente para ellos, de forma tal que el seguir la secuencia lógica de cálculos en la planilla Excel los lleve a comprobar los supuestos que se mostrarán a continuación:

Elemento	Ámbito	Propósito	Resultado de Modelación	Parámetros Principales
Estación Base S-RAN	Nacional, todo el país	Permite el despliegue de red 2G, 3G y 4G para cobertura y capacidad de la red	Se obtienen los elementos de red necesarios 2G, 3G y 4G para cada geotipo y zona	Capacidades físicas, TRX por Sector, Portadoras 3G por sector y portadoras 4G por sector
Estación Base NR	Nacional, todo el país	Permite el despliegue de red	Se obtienen los elementos de red	Portadoras 5G por sector, sectorización.

Elemento	Ámbito	Propósito	Resultado de Modelación	Parámetros Principales
TRX	En cada estación S-RAN con 2G	5G para cobertura y capacidad de la red Proveer la capacidad de tráfico 2G, en caso de que este exista	necesarios 5G para cada geotipo y zona Obtener el número requerido de TRX para soportar el tráfico 2G, entre el límite físico y por espectro por sector.	Número mínimo de TRX por estación base; factor de utilización de TRX; canales GSM; factor de reuso de espectro GSM; canales reservados para GPRS; canales reservados para señalización; probabilidad de bloqueo GSM
Portadoras UMTS	En cada estación S-RAN con 3G	Activar un par de 5MHz de espectro 3G	Número requerido de portadoras para transportar el tráfico 3G R99 y el tráfico HSPA	Elementos de canal (CE) requeridos para transportar voz y datos en R99; número máximo de CE por portadora; factor de utilización 3G; número de sitios de cobertura 3G; portadoras reservadas para R99.
Elementos de Canal (CE) UMTS	En cada estación S-RAN con 3G	Proveer la capacidad 3G para el tráfico R99	número requerido para transportar tráfico 3G R99 teniendo en cuenta un número dado de canales UMTS reservados para R99 por estación S-RAN	Tasa de canal UMTS R99; UMTS R99 soft-handover; UMTS R99 softer-handover; canales de señalización por portadora R99; número mínimo y máximos de canales de tráfico por portadora; probabilidad de bloqueo interfaz de radios; factor de utilización de portadora; capacidad de los kits en CE.
Portadoras LTE	En cada estación S-RAN con 4G	activar un par de 5MHz de espectro en tecnología 4G	número requerido de pares de 5 MHz para transportar el tráfico 4G	factor entre tasa pico y tasa efectiva LTE; nivel de desarrollo LTE desplegado, por portadora; mínimo despliegue de portadoras LTE; factor de utilización 4G en la estación S-RAN; sitios de cobertura LTE.
Portadoras 5G	En cada estación base NRAN	activar un par de 10MHz de espectro en tecnología 5G	número requerido de pares de 10 MHz para transportar el tráfico 5G	factor entre tasa pico y tasa efectiva NR; nivel de desarrollo NR desplegado, por portadora; mínimo despliegue de portadoras BR; factor de utilización 5G en la estación NRAN; sitios de cobertura 5G.
Banda Base 3G	En cada estación S-RAN con 3G	activar la tecnología 3G en las estaciones S-RAN para proveer	área a cubrir, radio de celda y	Cobertura: teniendo en cuenta la cobertura real de los operadores del

Elemento	Ámbito	Propósito	Resultado de Modelación	Parámetros Principales
		cobertura y capacidad 3G	volúmenes de tráfico 3G	mercado; Sectorización: número de sectores en cada sitio 3G; Radio de celda: calculado en la calibración de red; Capacidad de cada tarjeta: en términos de portadoras, elementos de canal etc.
Banda Base 4G	En cada estación S-RAN con 4G	activar la tecnología 4G en las estaciones S-RAN para proveer cobertura y capacidad 4G	área a cubrir, radio de celda y volúmenes de tráfico 4G	Cobertura: teniendo en cuenta la cobertura real de los operadores del mercado; Sectorización: número de sectores en cada sitio 4G; Radio de celda: calculado en la calibración de red; Capacidad de cada tarjeta: en términos de portadoras, tráfico etc.
Banda Base 5G	En cada estación NRAN con 5G	activar la tecnología 5G en las estaciones NRAN para proveer cobertura y capacidad 5G	área a cubrir, radio de celda y volúmenes de tráfico 5G	Cobertura: teniendo en cuenta la cobertura real de los operadores del mercado; Sectorización: número de sectores en cada sitio 5G; Radio de celda: calculado en la calibración de red; Capacidad de cada tarjeta: en términos de portadoras, tráfico etc.
RU 2G y 3G	En cada estación S-RAN con 3G	Activar las unidades de radio para las tecnologías 2G y 3G	Frecuencia y ancho de banda de frecuencia para emitir por sector	Ancho de banda utilizado por las estaciones base 2G y 3G; banda de frecuencia utilizada; número de estaciones base.
RU 4G	En cada estación S-RAN con 4G	Activar las unidades de radio para las tecnologías 4G	Frecuencia y ancho de banda de frecuencia para emitir por sector	Ancho de banda utilizado por las estaciones base 4G; banda de frecuencia utilizada; número de estaciones base.
RU 5G	En cada estación NRAN con 5G	Activar las unidades de radio para la tecnología 5G, es la forma de modelar el aumento de costo que implica desplegar más bandas de propagación.	Frecuencia y ancho de banda de frecuencia para emitir por sector	Ancho de banda utilizado por las estaciones base 5G; banda de frecuencia utilizada; número de estaciones base.

Elemento	Ámbito	Propósito	Resultado de Modelación	Parámetros Principales
Incremento de velocidad 3G	En cada estación S-RAN con 3G	proveer capacidad incremental para tráfico HSPA, es la forma de modelar el sobre costo por infraestructura con mayor capacidad espectral	desarrollo HSPA establecida como parámetro; número de portadoras HSPA activadas para el desarrollo elegido, dimensionados para transportar el tráfico 3G HSPA con un mínimo de despliegue	factor entre tasa pico y tasa efectiva HSPA; nivel de desarrollo HSDPA desplegado, por portadora; mínimo despliegue de portadoras HSDPA; factor de utilización 3G en la estación S~RAN; nivel de desarrollo HSUPA desplegado, por portadora.
Incremento de velocidad 4G⁶	En cada estación S-RAN con 4G	proveer capacidad incremental para tráfico LTE, es la forma de modelar el sobre costo por infraestructura con mayor capacidad espectral	desarrollo LTE establecida como parámetro; número de portadoras LTE activadas para el desarrollo elegido, dimensionados para transportar el tráfico 4G LTE con un mínimo de despliegue	factor entre tasa pico y tasa efectiva LTE; nivel de desarrollo LTE desplegado, por portadora; mínimo despliegue de portadoras LTE; factor de utilización 4G en la estación S~RAN.
Sitios Físicos	en todo el país	permitir el despliegue de las estaciones base S-RAN y estaciones NRAN, las cuales en principio están ubicadas en el mismo sitio, luego en etapas de densificación 5G aparecen nuevos sitios.	número de sitios de estaciones S-RAN y NRAN necesarias para cobertura y capacidad de la red.	Proporción de sitios disponibles para cobunicaciones multitecnología GSM/UMTS; Proporción de sitios disponibles para cobunicaciones multitecnología LTE; Proporción de sitios disponibles para cobunicaciones multitecnología NR Proporción emplazamientos propios-
Enlaces de Backhaul de Última Milla (UM)	un enlace por sitio radio físico	enlazar el sitio radio físico con <i>hubs</i>	un enlace por sitio físico radio, a sus <i>siglas en</i> menos que el sitio este coubicado con un <i>hub</i> , dimensionado para la capacidad provista por el sitio	distribución de los enlaces entre microondas, fibra y enlaces dedicados; velocidad Ethernet de los enlaces microondas y líneas alquiladas; factor de utilización de enlaces
Enlaces de Hub a CORE (HC)	un enlace por <i>hub</i>	enlazar el <i>hub</i> con los nodos de agregación	un enlace por <i>hub</i> dimensionado para la capacidad provista por el <i>hub</i>	distribución de los enlaces entre fibra y enlaces dedicados; velocidad Ethernet de las líneas

⁶ No existen el modelo elementos que permitan cambiar la de velocidad en 5G, ya que se está manejando sólo una configuración de estación base, por lo que la banda base incluye este costo.

Elemento	Ámbito	Propósito	Resultado de Modelación	Parámetros Principales
				alquiladas; velocidad Ethernet de la fibra; factor de utilización de enlaces.
Transmisión en el CORE	en cada uno de los nodos Core	transporta el tráfico entre los nodos Core	tráfico total en el Core a Core	protocolo de transmisión seleccionado para voz; protocolo de transmisión seleccionado para datos; velocidad Ethernet <i>Core-a-Core</i> : factor de utilización en la transmisión <i>Core-to-Core</i> :
Enlaces de Interconexión	en cada uno de los nodos Core	Transporta el tráfico de la red fuera del operador	Número de enlace por tecnología de interconexión en señalización SIP y SS7	Tráfico de red separado por tecnología de origen; Topología de red; ubicación de los POI o PTR; criterios de tipo de señalización a elegir; factor de utilización de la interconexión; unidad de capacidad de las interconexiones por tipo de señalización.
Sitios BSC	en los nodos de agregación en función de la configuración definida	control de las estaciones S-RAN con 2G, en caso que estas existan	número de TRX en la red	capacidad en TRXs; factor de utilización.
Sitios RNC	en los nodos de agregación en función de la configuración definida	control de las estaciones S-RAN con 3G	carga pico en Mbit/s considerando el tráfico R99 para voz y datos, <i>soft~handover</i> datos HSPA	capacidad en Mbit/s; factor de utilización.
MSS	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	gestionar la conmutación de red 2G / 3G	número de intentos de llamada en la hora cargada (BHCA por sus siglas en inglés)	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
MGW	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	permite la interoperabilidad entre las redes 2G, 3G y otras redes	número de hora cargada Erlang (BHE)	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
SGSN	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	se encarga de la gestión (capas de control y usuario) del tráfico de datos desde / hacia las estaciones base S-RAN	usuarios simultáneamente enlazados (SAU)	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.

Elemento	Ámbito	Propósito	Resultado de Modelación	Parámetros Principales
GGSN	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	se encarga de la interconexión del tráfico de datos desde / hacia otras plataformas de servicios y redes externas	sesiones PDP simultáneas	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
MME	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	se encarga del control de los sitios 4G y de la señalización de la red 4G	tráfico en la hora cargada de sistema (voz y datos) (Mbit/s)	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
SGW	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	gestiona el plano de usuario, así como otras funciones como el traspaso entre sitios 4G	tráfico en la hora cargada de sistema (voz y datos) (Mbit/s)	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
HLR/HSS, EIR, AUC	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	registrar suscriptores en la red, comprobar qué servicios pueden usar y ofrecer varios servicios de valor añadido	número de suscriptores	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
SCP+SMP (IN)	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	Servicios de la red inteligente	número de suscriptores	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
SMSC	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	gestionar y entregar el tráfico de SMS	número de SMS por segundo en la hora cargada	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
MMSC	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	gestionar y entregar el tráfico de MMS	un MMSC ya que el tráfico de MMS es bajo	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
Puertos MGW	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	Habilitación de puertos para los MGW	número de hora cargada Erlang (BHE)	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
I-SBC	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	permite la interoperabilidad entre la red 4G y otras redes	tráfico en la hora cargada de sistema (voz y datos) (Mbit/s)	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
IMS TAS y Call Server	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	Servidor de aplicaciones para llamadas	número de intentos de llamada en la hora cargada (BHCA por sus siglas en inglés)	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
SPS (SSR/DRA/STP)	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	Elemento de red que funciona como un ruteador de señalización SIP, Diameter y un	número de intentos de llamada en la hora cargada (BHCA por sus siglas en inglés)	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.

Elemento	Ámbito	Propósito	Resultado de Modelación	Parámetros Principales
		punto de traspaso de señal.		
MGCF	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	Elemento para facilitar el control de las llamadas entre redes PS y CS, que se interconectan con las redes IMS	número de intentos de llamada en la hora cargada (BHCA por sus siglas en inglés)	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
PCC (PGW/PCFR)	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	Elemento de control de la política de toma de decisiones	sesiones PDP simultáneas	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.
CG	en los nodos <i>core (variable de decisión)</i>	Ser la Base de datos de los CDR	Se modela a través de los CDR/s	Capacidad; factor de utilización; número mínimo; redundancia.

4.4. Enlaces de Interconexión

Para el cálculo de enlaces de interconexión se consideran 3 tipos de enlaces:

- Enlaces a POI o PTR móviles
- Enlaces a POI o PTR fijos
- Enlaces a POI o PTR para tráfico internacional de voz

Además de lo anterior, el tráfico de estos enlaces puede ser a través de SIP o SS7 (llamado indistintamente PCM en el modelo).

El tráfico va desde los MGW y los I-SBC hacia las interconexiones, los cuales contemplan todas las funcionalidades necesarias para brindar interconexión, tránsito y roaming, tanto en sus componentes de tráfico como señalización, entre otras. En el diseño de dichos elementos participan el tráfico de la red para los MGW, y las sesiones SIP e ISUP entre otros criterios.

Para el cálculo de los enlaces se asume que el tráfico desde los MGW es en base a circuitos, por lo que, si es necesario que este termine en protocolo IP, será necesario hacer adecuaciones en el cálculo para transformar el valor. De igual manera el tráfico a través de los I-SBC es tráfico IP, por lo que es necesario llevarlo a canales si se interconecta con redes de voz en circuitos y no de paquetes.

Dadas estas variaciones se tienen 12 cálculos diferentes, 3 por cada tipo de enlace, 2 por tipo de origen nodo real o virtualizado (MGW o I-SBC) y 2 por tipo de destino, ya sean en SS7 o SIP los destinos.

Para el cálculo de número de enlaces es necesario considerar la topología de la red propia y de la red de destino, ya que es necesario transportar el tráfico desde su origen a la red de destino. Para ello se tomó en consideración los principales puntos de interconexión de Colombia, los que se resumen en:

- 5 localidades para la interconexión móvil, en las ciudades de Medellín, Barranquilla, Bogotá, Bucaramanga y Cali.
- 5 localidades para la interconexión fija, en las ciudades de Medellín, Barranquilla, Bogotá, Bucaramanga y Cali.

- 1 localidad para la interconexión internacional en la ciudad de Bogotá.

En cada interconexión móvil a su vez se contempló la posibilidad de interconectarse con 4 compañías móviles. En el caso de la interconexión fija varía según la ciudad entre 6 y 10 compañías. Para el caso de la interconexión internación al se consideró un solo operador como es usual.

De esta forma los enlaces físicos que determinan la topología de red se generarán por 3 factores:

- Número de ciudades donde se brinda de la interconexión.
- Número de compañías a las que hay que interconectar.
- Número de centros de interconexión por ciudad, que para el caso de Bogotá son al menos 2, estos se encuentran modelados en base a las necesidades de tráfico.

De esta forma el objetivo es obtener el tráfico por enlace físico, de forma tal de determinar las E1 o MIC de interconexión SS7 y los enlaces de 1 Gbps.

4.5. Precios Unitarios de Red

Los precios unitarios de red representan los precios de la red en el año de referencia, es decir el año 2024, para cada uno de los elementos de red, tanto en sus componentes de inversión (Capex) como de gastos (Opex). No se consideró la evolución del Capex los precios en el tiempo, a pesar de que es un hecho conocido la "erosión" de precios realizada por los proveedores cuando se trata de equipamiento relativamente antiguo. De igual forma el Opex no considera una evolución en precio a través de los años, a pesar de que costos recurrentes como el de soporte suele ser más alto los primeros dos años de operación y luego suele decrecer. El efecto de antigüedad de los equipos en la operación es recogido a través de, un relativamente alto, costo de mantenimiento de hardware uniforme en el período de regulación, de forma tal de cubrir el costo de reemplazo.

El Capex o inversión en equipos considera, la compra, instalación, internación, servicios y puesta en marcha de los equipos, el Opex representa costos directos como los arriendos y otros relativos al precio de los equipos como porcentajes de su inversión.

Los precios unitarios de red presentados por los operadores variaron en forma significativa por cada elemento y sub-elemento de red presentado, lo anterior se pudo deber a que los costos dependen de la relación contractual de los operadores con los fabricantes. Debido a la anterior se utilizaron precios que en promedio representarían los costos de los elementos por capa de red, por ejemplo, se verificó el precio por estación base equipada, el costo del núcleo por abonado, entre otros. Dicha comparación incluyó a los costos presentados por los operadores, los costos de referencia de otros procesos tarifarios en la región y el mundo.

5. Otros elementos de costos (mark-up)

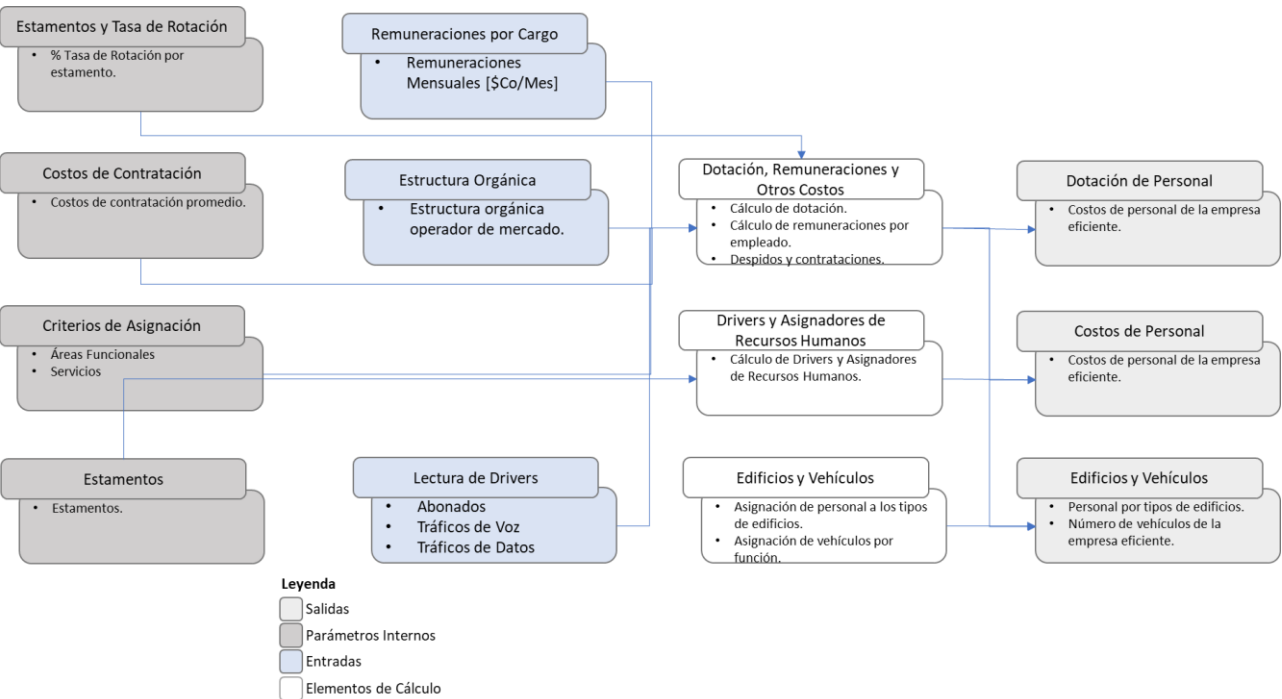
5.1. Recursos Humanos y Remuneraciones

La dotación de personal de la empresa eficiente requerida para la provisión de los servicios móviles para el periodo 2025-2030, se determina a partir de la estructura orgánica propia de un operador en el mercado colombiano escalada a nivel de operación del tamaño de la empresa eficiente, y proyectada

Anexo 2: Manual modelo de costos empresa eficiente móvil 2025.	Código: 2000-41-7-9	Página 26 de 36
	Revisado por: Diseño Regulatorio	Fecha de revisión: 04/12/2025
	Aprobado por: Coordinación de Diseño Regulatorio	Fecha de vigencia: 11/02/2025

mediante drivers de crecimiento a nivel de cargos. Las remuneraciones y los beneficios laborales se determinan en función de los cargos y estamentos presentes en la orgánica.

Ilustración 9: Módulo Recursos Humanos (hoja 'RRHH').

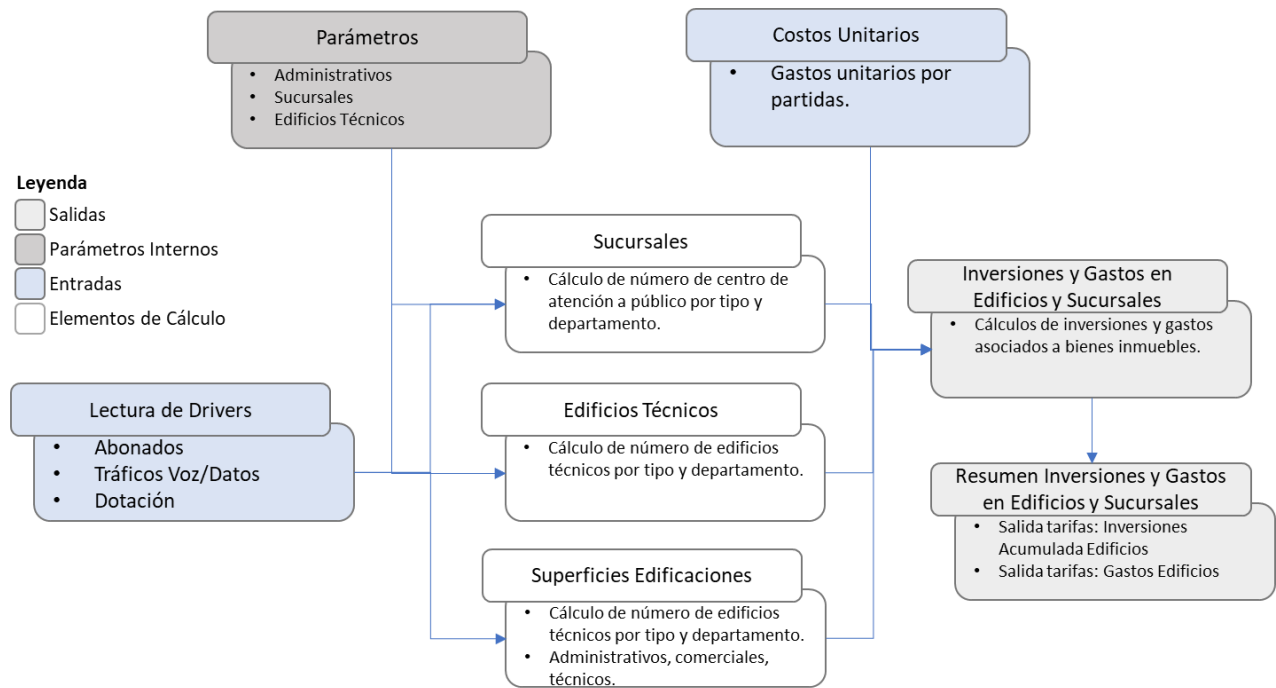


Fuente: Elaboración propia.

5.2. Edificios e Inversiones Administrativas

Los costos de los bienes inmuebles requeridos por el personal de la empresa eficiente y las operaciones técnicas y comerciales requeridas para la provisión de los servicios móviles para el periodo 2025-2030, se determinan a partir de la modelación de los centros de atención a público a nivel departamental, así como, la determinación de edificios técnicos (equipos y/o personal), lo que sumado a los requerimientos de oficinas administrativas para albergar el desarrollo del total de actividades de las distintas áreas laborales de la empresa eficiente, permite determinar los costos e inversiones administrativas.

Ilustración 10: Módulo Edificios e Inversiones Administrativas (hoja 'Edificios').

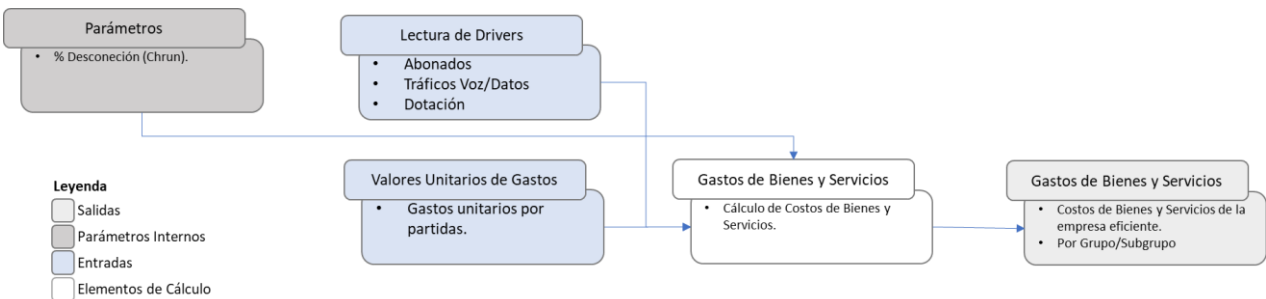


Fuente: Elaboración propia.

5.3. Costos de Bienes y Servicios

Los costos de los bienes y servicios requeridos para el adecuado desarrollo de las actividades de empresa eficiente para la provisión de los servicios móviles para el periodo 2025-2030, se determinan a partir de la modelación de los costos unitarios observados en el mercado colombiano, permitiendo obtener los costos para el periodo.

Ilustración 11: Módulo Bienes y Servicios (hoja 'BBSS').

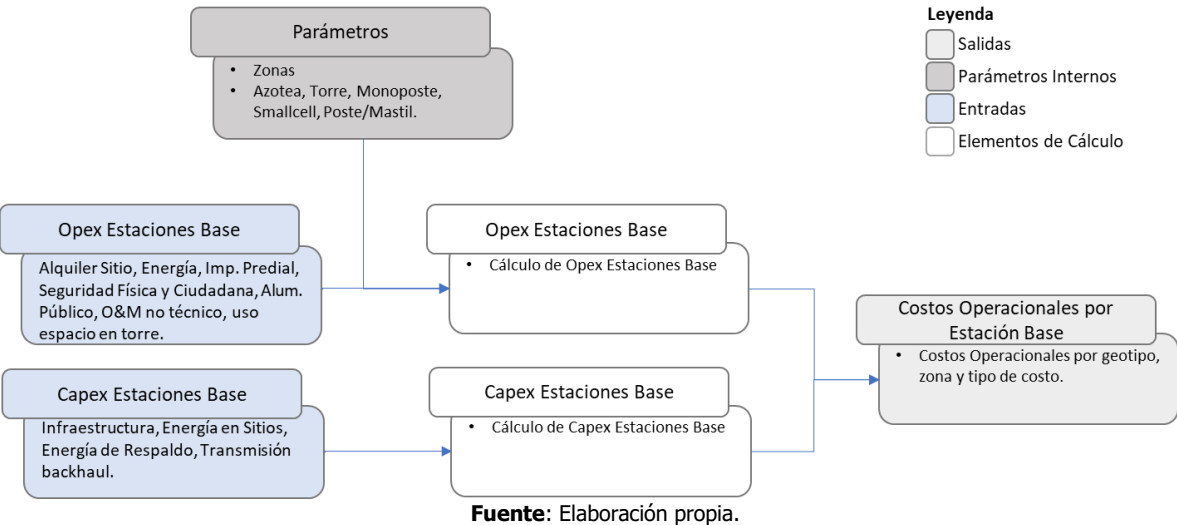


Fuente: Elaboración propia.

5.4. Costos operacionales estaciones base

Los costos operacionales de las estaciones base se determinan por geotipo y zona geográfica, para diferentes configuración y territorio: Alquiler Sitio, Energía, Impuesto Predial, Seguridad Física y Ciudadana, Alumbrado Público, O&M no técnico.

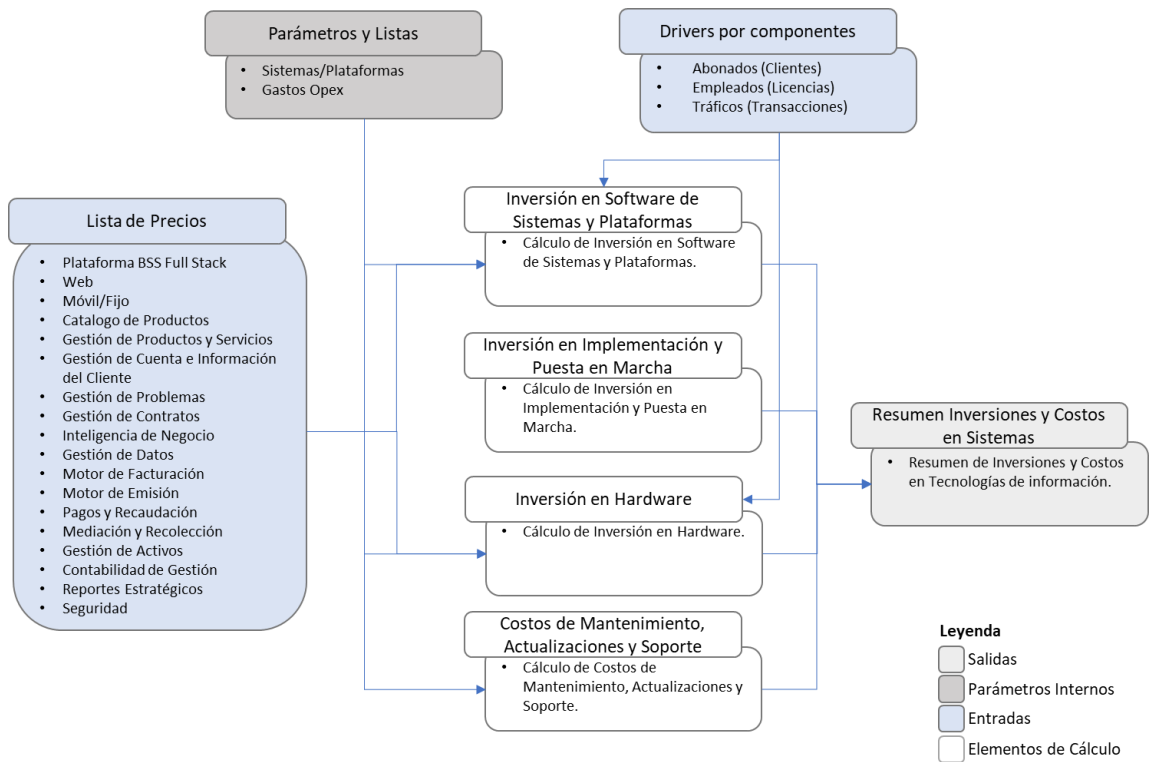
Ilustración 12: Costos operacionales estaciones base (hoja 'Sitios').



5.5. Tecnologías de información

En este módulo se determina los costos de las plataformas HW/SW requeridos por la empresa eficiente para el desarrollo de las actividades propias de la actividad, bajo arquitectura full stack.

Ilustración 13: Módulo de Tecnologías de Información (hoja 'TI').



Fuente: Elaboración propia.

6. Cálculo de Remuneración de Costos

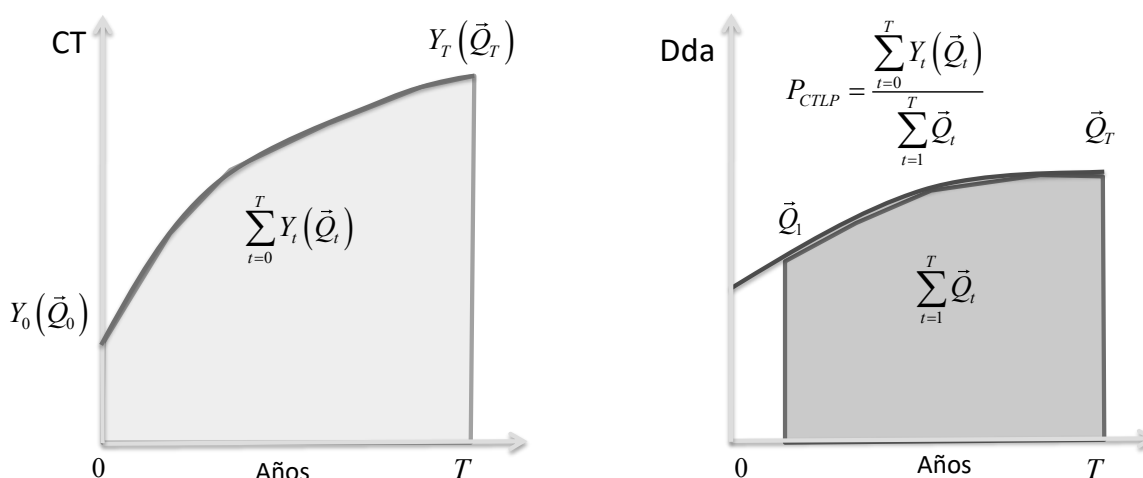
6.1. Introducción: Tipos de Cálculos del Valor de Remuneración de Costos

Para el cálculo de la remuneración de los costos existen diversas alternativas de cálculo. Dentro de las alternativas utilizadas por la CRC existen dos principales: (i) a través del **Costo de Total de Largo Plazo** (CTLP) de forma tal de representar los costos medios; (ii) a través del **Costo Incremental por Servicio** para representar el costo incremental de un servicio, también conocido como LRIC puro. Además de las alternativas anteriormente expuestas existen los cálculos: (iii) a través del Costo Incremental de Largo Plazo más un markup, el cual se utiliza para determinar el valor de un proyecto de expansión; (iv) o a través del cálculo del Costos Marginales de Largo Plazo con el fin de establecer una cota inferior para el LRIC Puro (Vogelsang, 2003), o simplemente para utilizarlo para fijar precios. Sólo para motivos explicativos en este manual se hará referencia al cálculo de estas cuatro formas de cálculo de remuneración de costos. Es necesario recalcar que para el caso de las primeras dos, se mostrará la forma de cálculo implantada en Colombia, la cual puede diferir en algunos detalles de las versiones de implementación de otros países, más todas las implementaciones buscan representar los mismos conceptos.

6.1.1. Cálculo de Costo Total de Largo Plazo

La primera alternativa de cálculo es a través del **Costo de Total de Largo Plazo (CTLP)**, donde el costo del cargo a recuperar se obtiene en términos metodológicos de la división entre los costos totales⁷ y la demanda total (ver Ilustración 14), es decir incluyendo reposición desde cero y los incrementos de esta.

Ilustración 14: Esquema de Cálculo de Costo Total de Largo Plazo⁸.



Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del costo total de largo plazo es necesario contar con los siguientes datos presentes en el modelo, por firma:

- $I_{n,t}$: Costo de Inversión en el año t para el elemento de tipo n.
- $G_{n,t}$: Costo operacional en el año t para el elemento de tipo n.
- $Q_{n,t}$: Demanda en términos de los activos para el activo n para el año t.
- $D_{n,t}$: Depreciación por elemento de tipo n en el año t. {cero, lineal, acelerada, geométrica}
- tax : Tasa de Tributación
- VR_n : Valor Residual del elemento n.
- $Y_{n,t}$: Costo Total de Largo Plazo asociado al año t y el elemento n (Valor a Determinar)
- K_0 : Costo de capital WACC.

De esta forma el Costo Total de Largo Plazo se obtiene de la suma de tres factores, el costo de la inversión, la depreciación por la tasa de tributación y los gastos ponderados por el complemento de la tasa de tributación, lo cual se lleva a valor presente y se le resta el valor residual de los elementos, en el año final. De acuerdo a la siguiente ecuación:

⁷ Es decir, incluyendo la reposición de la empresa desde cero y su incremento de costos motivados por la demanda futura

⁸ Las fórmulas presentadas en las siguientes ilustraciones son sólo para dar cuenta de las relaciones de cálculo.

$$-\sum_{t=0}^5 \frac{I_{n,t}}{(1+K_0)^t} + \sum_{t=0}^5 \frac{(Y_{n,t} - G_{n,t}) \cdot (1 - tax) + D_{n,t} \cdot tax}{(1+K_0)^t} + \frac{VR}{(1+K_0)^5} = 0$$

Para obtener el valor del Cargo de Acceso, o del Costo que se requiere remunerar es necesario dividir por la demanda total (es decir incluyendo reposición) a través de los 5 años de evaluación, respectivamente para estimar la tarifa correspondiente al CTLP:

$$P_j = KT_j \sum_{n \in N} FR_{j,n} \left[\sum_{t=0}^5 \frac{Y_{n,t}}{(1+K_0)^t} \middle/ \sum_{t=1}^5 \frac{Q_{n,t}}{(1+K_0)^t} \right]$$

Donde:

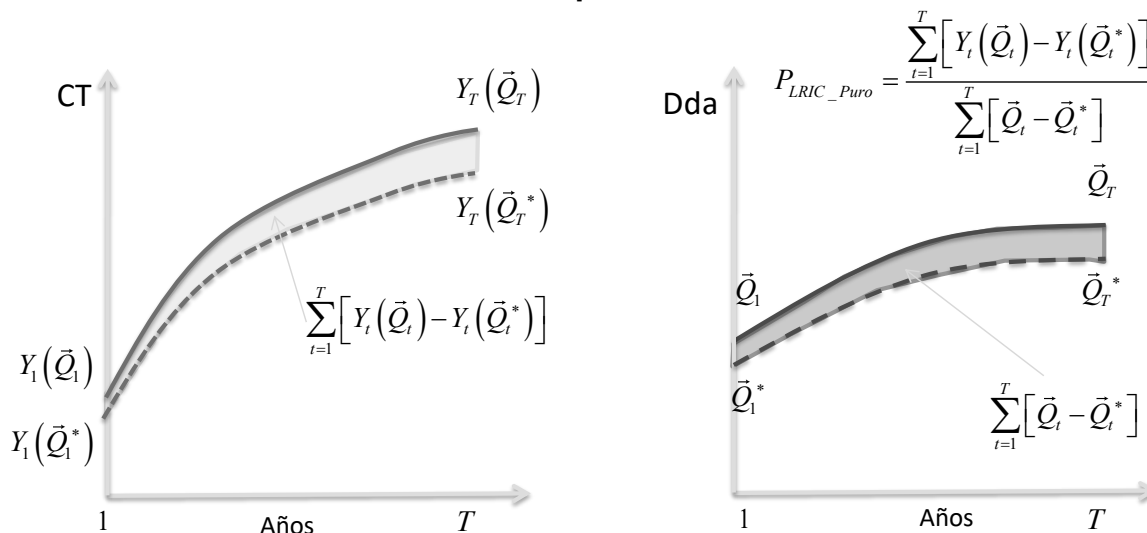
- P_j : Costo a Remunerar por el Servicio j
- KT_j : Factor de Capital de Trabajo para el servicio j .
- $FR_{j,n}$: Factor de Ruteo, o factor de equivalencia entre uso de los elementos y su demanda de diseño por servicio, para el elemento n y el servicio j .

6.1.2. Cálculo del Costo Incremental por Servicio LRIC puro

La segunda variación metodológica es a través del cálculo del cargo de acceso a través del **Costo Incremental por Servicio (CI)**, también conocido como LRIC puro, en esta variación se obtiene a través de la comparación entre una empresa que provee el servicio de voz de acceso⁹ y una empresa que no lo provee (ver *Ilustración 15*), determinando así los costos incrementales necesarios para brindar el servicio, es importante notar que esta variación es muy cercana a la recomendada por la Comisión Europea (EC, 2009), con la excepción de considerar además de los costos directos de red, los directamente relacionados con las tareas administrativas ligadas con el servicio de acceso.

⁹ o el servicio del cual se desee obtener la remuneración de costos.

Ilustración 15: Esquema de Cálculo de Costo Incremental por Servicio, Total Service LRIC pure



Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del LRIC puro la estrategia a seguir es muy simple, ya que se requieren sólo seis series de valores para el cálculo de esta tarifa, que se detallan a continuación:

- $Y_{n,t}$: Costo Total de Largo Plazo asociado al año t y el elemento n.
- $Q_{n,t}$: Demanda en términos de los activos para el activo n para el año t.
- $FR_{j,n}$: Factor de Ruteo para el elemento n y respecto al servicio j, obtenido con la demanda que contempla todos los servicios.
- $Y_{n,t}^j$: Costo Total de Largo Plazo asociado al año t y el elemento n, eliminando el servicio j.
- $Q_{n,t}^j$: Demanda en términos de los activos para el activo n para el año t, eliminando el servicio j.

De esta forma el valor del costo a remunerar por para el servicio a través de costo incremental por el servicio está dado por la siguiente fórmula.

$$p_{puro,j} = KT_j \sum_{n \in N} FR_{j,n} \left[\frac{\sum_{t=0}^5 \frac{Y_{n,t} - Y_{n,t}^j}{(1 + K_0)^t}}{\sum_{t=1}^5 \frac{Q_{n,t} - Q_{n,t}^j}{(1 + K_0)^t}} \right]$$

Donde:

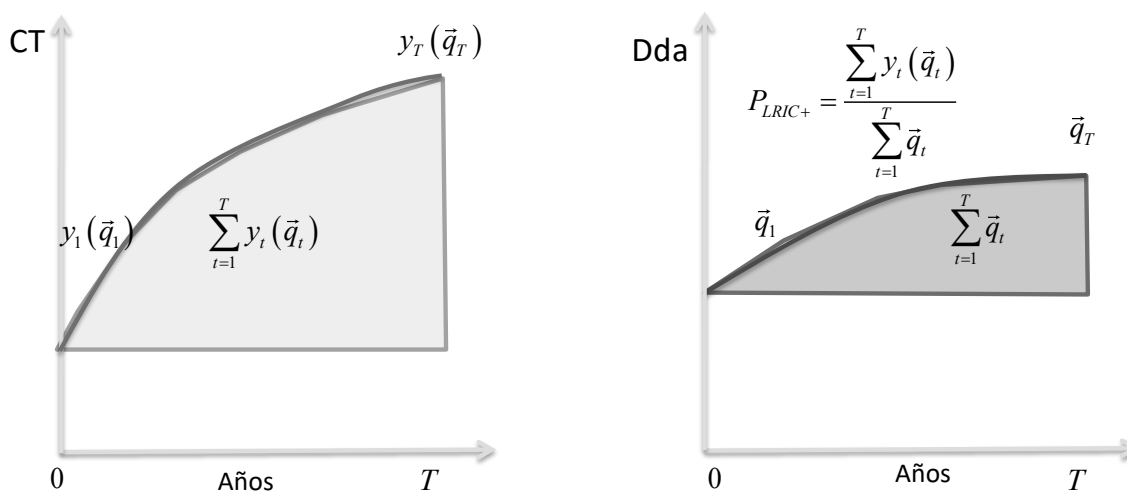
- $p_{puro,j}$: Costo a Remunerar por el Servicio j a través del Costo incremental por servicio, LRIC puro.

6.1.3. Cálculo de Costo Incremental de Largo Plazo por Elementos

La alternativa planteada al cálculo del CTLP es a través del **Costo Incremental de Largo Plazo (CILP)**, el cual a diferencia de éste no considera en el cálculo del cargo de acceso los costos y demanda de reposición, por lo que el valor es obtenido en forma conceptual sólo a través de los incrementos de costos y demanda a través de los años (ver *Ilustración 16*), esta metodología es similar (en términos

metodológicos) a la utilizada por el regulador del Reino Unido OFCOM antes del año 2009 y 2010 (Ofcom, 2010).

Ilustración 16: Esquema de Cálculo de Costo Incremental de Largo Plazo, Total Element LRIC+



Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del costo total de largo plazo es necesario contar con los siguientes datos presentes en el modelo:

- $i_{n,t}$: Costo de Inversión Incremental con respecto al año 0 en el año t para el elemento de tipo n.
- $g_{n,t}$: Costo operacional Incremental con respecto al año 0 en el año t para el elemento de tipo n.
- $q_{n,t}$: Demanda Incremental en términos de los activos para el activo n para el año t.
- $d_{n,t}$: Depreciación Incremental con respecto al año 0 por elemento de tipo n en el año t.
- tax : Tasa de Tributación
- vr_n : Valor Residual Incremental con respecto al año 0 del elemento n.
- $y_{n,t}$: Costo Incremental de Largo Plazo asociado al año t y el elemento n (Valor a Determinar).
- vu_n : Vida útil del elemento n.

Para la obtención de los valores anteriores en base a los valores totales se siguen las siguientes formulaciones:

$$i_{n,t} = \max \{0, I_{n,t} - I_{n,0}\}$$

$$i_{n,t} = \max \{0, I_{n,t} - I_{n,0}\}$$

$$g_{n,t} = \max \{0, G_{n,t} - G_{n,0}\}$$

$$g_{n,t} = \max \{0, G_{n,t} - G_{n,0}\}$$

$$q_{n,t} = \max \{0, Q_{n,t} - Q_{n,0}\}$$

$$q_{n,t} = \max \{0, Q_{n,t} - Q_{n,0}\}$$

De esta forma el Costo Incremental de Largo Plazo se obtiene de la suma de tres factores, el costo de la inversión, la depreciación por la tasa de tributación y los gastos ponderados por el complemento de la tasa de tributación, lo cual se lleva a valor presente y se le resta el valor residual de los elementos, en el año final. De acuerdo con la siguiente ecuación:

$$-\sum_{t=0}^5 \frac{i_{n,t}}{(1+K_0)^t} + \sum_{t=0}^5 \frac{(y_{n,t} - g_{n,t}) \cdot (1 - tax) + d_{n,t} \cdot tax}{(1+K_0)^t} + \frac{vr}{(1+K_0)^5} = 0$$

Para obtener el valor del Cargo de Acceso es necesario dividir por la demanda incremental a través de los 5 años de evaluación respectivamente para estimar la tarifa correspondiente al CILP:

$$p_j = KT_j \sum_{n \in N} FR_{j,n} \left[\sum_{t=0}^5 \frac{y_{n,t}}{(1+K_0)^t} \middle/ \sum_{t=1}^5 \frac{q_{n,t}}{(1+K_0)^t} \right]$$

Donde:

p_j : Costo a Remunerar por el Servicio j con costos incrementales de largo plazo, por elementos.

6.2. Depreciación y Valor Residual

6.2.1. Depreciación y Valor Residual en el Cálculo del Costo Incremental de Largo Plazo

Para la depreciación lineal se sigue la siguiente fórmula:

$$d_{t,n} = \frac{1}{vu_n} \cdot \frac{(1+K_0)^{vu_n} K_0}{(1+K_0)^{vu_n} - 1} \cdot \sum_{s=\max\{0, t-1-vu_n\}}^{t-1} i_{s,n}, \forall t \geq 1$$

Para la depreciación acelerada:

$$d_{t,n} = \frac{1}{\lfloor vu_n / 3 \rfloor} \cdot \frac{(1+K_0)^{\lfloor vu_n / 3 \rfloor} - 1}{(1+K_0)^{vu_n / 3} - 1} \cdot \frac{(1+K_0)^{vu_n}}{(1+K_0)^{vu_n} - 1} \cdot \sum_{s=\max\{0, t-1-vu_n\}}^{t-1} t_{s,n}, \forall t \geq 1$$

Para la depreciación geométrica, se sigue la siguiente fórmula:

$$d_{t,n} = TD_t \cdot \frac{(1+K_0)^{\lfloor vu_n / 3 \rfloor} - 1}{(1+K_0)^{\lfloor vu_n / 3 \rfloor}} \cdot \frac{(1+K_0)^{vu_n}}{(1+K_0)^{vu_n} - 1} \cdot \sum_{s=\max\{0, t-1-vu_n\}}^{t-1} i_{s,n}, \forall t \geq 1$$

$$TD_t = \left(1 - \sum_{s=0}^{t-1} TD_s\right) \cdot k_{geo} \quad , TD_0 = k_{geo}$$

Por otra parte, el valor residual se calcula a partir de la siguiente fórmula:

Donde:

$I_{s,n}$	: Es la inversión en el año s
$D_{i,n}$	: Es el valor de la depreciación en el año i
k_{geo}	: Valor del factor asociado a la depreciación geométrica (el valor utilizado por defecto es 30%)
lf	: Vida útil del elemento a ser depreciado
TD_i	: Tendencia de Depreciación Utilizada.

6.2.2. Valor Residual

El valor residual en este caso corresponde a la simple estimación del valor libro, es decir el valor actual del número de cuotas que resten por pagar del activo o elemento en cuestión. Respondiendo a la siguiente ecuación:

$$VR_n = (1 + K_0)^5 \cdot \left(\sum_{i=1}^5 \frac{I_{i,n}}{(1 + K_0)^i} - \sum_{i=1}^5 \frac{1}{lf} \cdot \frac{(1 + K_0)^{lf} K_0}{(1 + K_0)^{lf} - 1} \cdot \sum_{s=\max\{0, i-1-lf\}}^{i-1} I_{s,n} \right)$$