

Anexo III.9.15

Modelo General de Optimización de la Red

Estudio Tarifario de la
Compañía de Telecomunicaciones de Chile S.A.
para los Servicios Afectos a Fijación Tarifaria 2009-2014



ÍNDICE MODELO GENERAL DE OPTIMIZACIÓN DE LA RED

I.	Introducción	3
II.	Modelación de la demanda en zonas de edificación continua	3
III.	Optimización del número de MDF	4
IV.	Estructura general del proceso de optimización	7
V.	Algoritmo de optimización	8

I. Introducción

Diseñar la red de una empresa telefónica es un proceso extremadamente complejo. Muchas de sus aristas prácticas no pueden ser incluidas en el diseño de una red eficiente, por diversos motivos: no se conoce con exactitud la distribución geográfica de la demanda en el futuro, no se conocen las restricciones prácticas que habrá en el momento de construir la red en la práctica; no se conocen los precios futuros de cada uno de los elementos ni los modelos de equipamiento que estarán disponibles, las regulaciones y limitaciones legales y urbanísticas, etc. Ello, unido al tamaño del problema, significa que para encontrar los costos de la empresa eficiente se debe realizar aproximaciones y desligarse de la red real, y más bien estimar el costo de los elementos constitutivos de una buena red (equipamiento, infraestructura, redes, servicios, etc.) Asimismo, implica que no es procedente esperar encontrar los costos correspondientes a una red óptima matemática, cuya búsqueda demoraría un tiempo excesivo, sino que es preferible utilizar métodos aproximados (heurísticos), pero que sean capaces de encontrar los costos de una muy buena red en un tiempo razonable. En resumen, como primer criterio para la optimización, se ha considerado que lo que se pretende no es reproducir una red existente, sino que estimar los costos mínimos necesarios para construir una red de una empresa eficiente que parte desde cero, que pueda atender adecuadamente a la demanda de la empresa real en el período 2009-2013.

El cálculo de costos de la red de la empresa eficiente incluye la red de la empresa a lo largo de todo el país. Sin embargo, no tiene sentido optimizar la red nacional como un todo, pues los servicios se prestan dentro de áreas primarias, las cuales constituyen así una división natural del problema. Entonces, en cuanto a la organización geográfica de la red, ésta se ha dividido en zonas primarias, las que a su vez, se subdividen en zonas donde se presta servicio y que tienen edificación continua y zonas en las cuales no hay servicio. En una misma zona primaria, las áreas de edificación continua deben estar interconectadas entre sí mediante un sistema de transmisión. Para el proceso de optimización, entonces, se considera cada una de las zonas primarias por separado. Dentro de cada zona primaria, se consideran las áreas o zonas de edificación continua y los sistemas de transmisión que las interconectan.

II. Modelación de la demanda en zonas de edificación continua

En cada zona de edificación continua, se ha optado por caracterizar la demanda por distintos rangos de densidades (líneas por manzana), los cuales determinan sectores continuos con cierta localización geográfica. Cada uno de estos sectores está formado por una superficie continua. En todo caso, puede haber, en una zona de edificación continua, varios sectores de la

misma densidad, aislados entre sí. En cada sector, la densidad se considera uniforme, es decir, el número de líneas por manzana es homogéneo dentro de cada sector. Cada manzana tiene 100m x 100m. A cada densidad corresponde un tamaño de área de armario. Un ejemplo de esta caracterización, que es general y no depende de la red actual de la empresa, se muestra en la Figura 1 siguiente. En la figura, el mapa muestra distintas densidades como tonos de gris. Sobre el mapa, se ha sobrepuesto algunas zonas de densidad uniforme, delimitadas por líneas rojas.

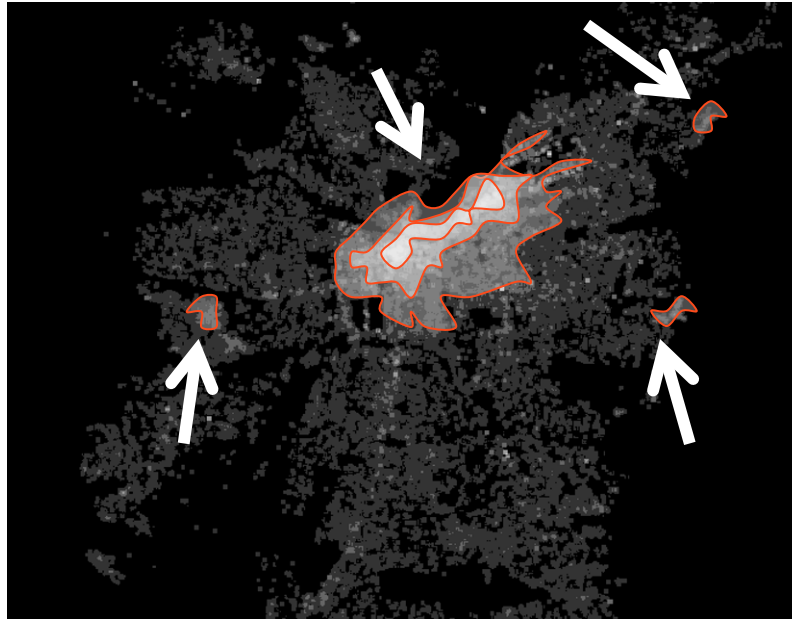


Figura 1: Ejemplo de sectores de densidad uniforme en Santiago (cada uno marcado con una intensidad de gris, delimitada por una línea roja). Cada zona de edificación continua está indicada con una flecha. Estas zonas deben interconectarse mediante sistemas de transmisión.

Las densidades consideradas han sido aquellas 8 más típicas o representativas en las zonas de concesión de la empresa (2, 5, 10, 20, 40, 80, 160 y 225 líneas por manzana). Estas densidades se han determinado mediante una metodología de formación de clusters o grupos homogéneos de densidades.

III. Optimización del número de MDF

Una vez caracterizada la demanda, se pueden identificar, para efecto del modelo de optimización, dos componentes de la red:

- red dentro de cada sector de densidad uniforme y

- red de transmisión que cubre cada zona primaria completa, conectando entre sí los sectores de densidad uniforme.

Dentro de cada sector de densidad uniforme, las áreas de armario tienen un tamaño fijo. Por ello, una vez delineadas las zonas de densidad uniforme, se puede determinar el número exacto de armarios necesarios para cubrir su superficie, número que es fijo y constante, por lo cual no es optimizable. Tampoco lo es el costo de la red secundaria, es decir la red dentro de cada área de armario y que conecta a éste con los abonados.

Por otra parte, cada armario está conectado a un MDF a través de la red primaria, compuesta de cables multipares. Cada MDF está localizado junto a un Access Gateway, el cual recoge el tráfico de telefonía y banda ancha. A su vez, los MDF/Access Gateways están conectados a routers de nodo a través de fibra óptica. Estos routers de nodo se conectan entre sí y con routers de borde a través de redes con topología de anillos (de cierta capacidad máxima), todo ello formando ya parte de la red de transmisión que cubre cada zona primaria. La topología de anillo provee la confiabilidad necesaria a las redes. La arquitectura de la red se muestra en la Figura 2.

Existen diversas configuraciones posibles para dar servicio a la misma demanda, las cuales se diferencian básicamente por el número y emplazamiento de los MDF/Access Gateways (en adelante, nos referiremos a estos equipos solamente como MDF). Al cambiar este número, los diversos costos constitutivos cambian, bajando algunos mientras otros suben. A mayor cantidad de MDF, la red primaria (armarios – MDF) tiene menor costo, pero el equipamiento (MDF, Access Gateways y costos asociados: edificios, terrenos, energía, clima, mantención) tiene un costo creciente, así como también lo es el costo de transmisión de la red de fibra óptica que conecta los routers. Entonces, es razonable suponer que existe un número óptimo de MDF que hace que la red sea de costo mínimo.

La Figura 3 muestra un ejemplo de cómo varía el costo de cada elemento de la red y la suma de todos los costos en función de la cantidad de MDF. En el caso de la red que corresponde a este gráfico, se observa que la cantidad óptima está alrededor de 11 emplazamientos.

Este número óptimo de MDF es el que se busca mediante el proceso de optimización.

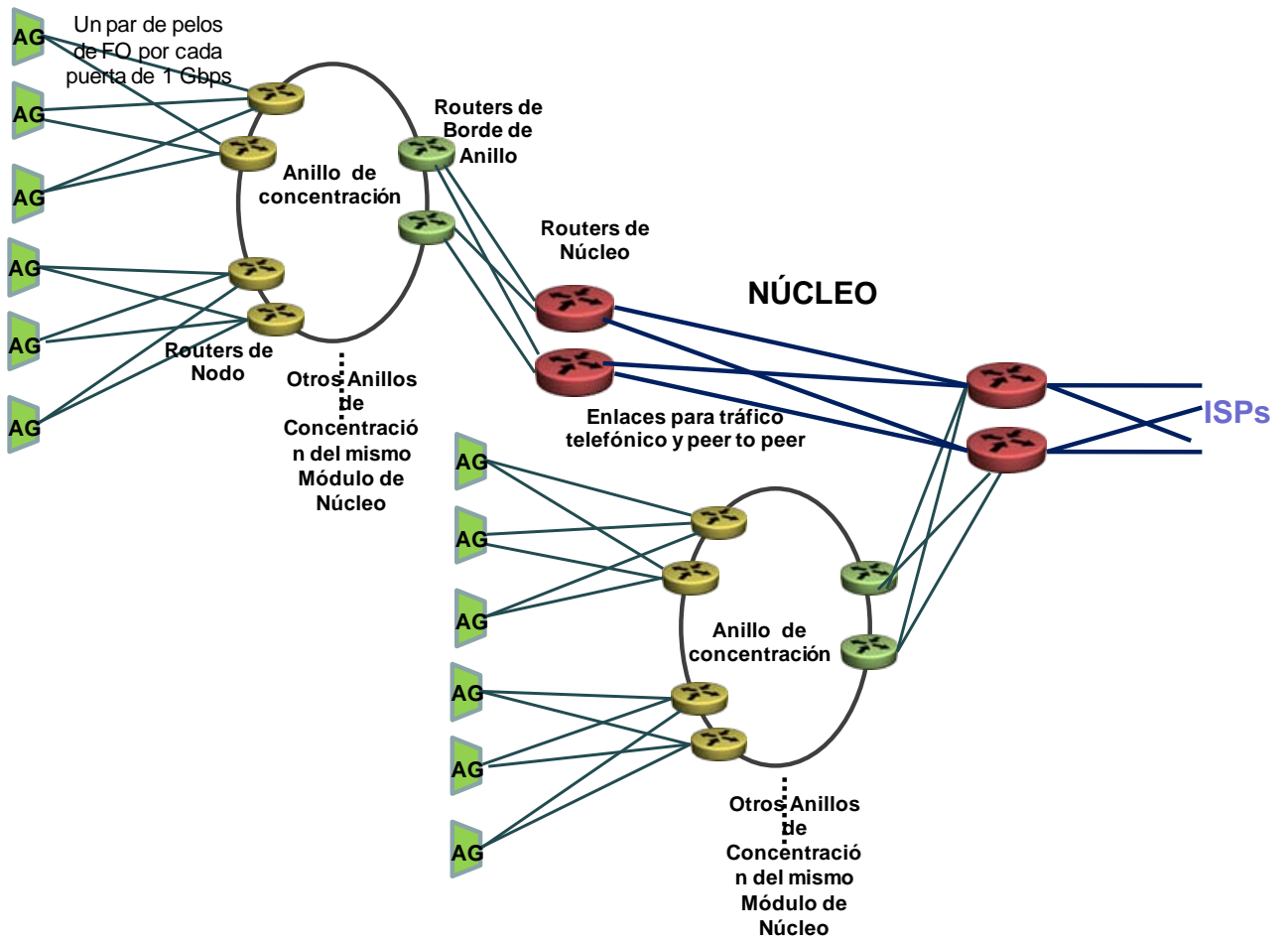


Figura 2: arquitectura de la red

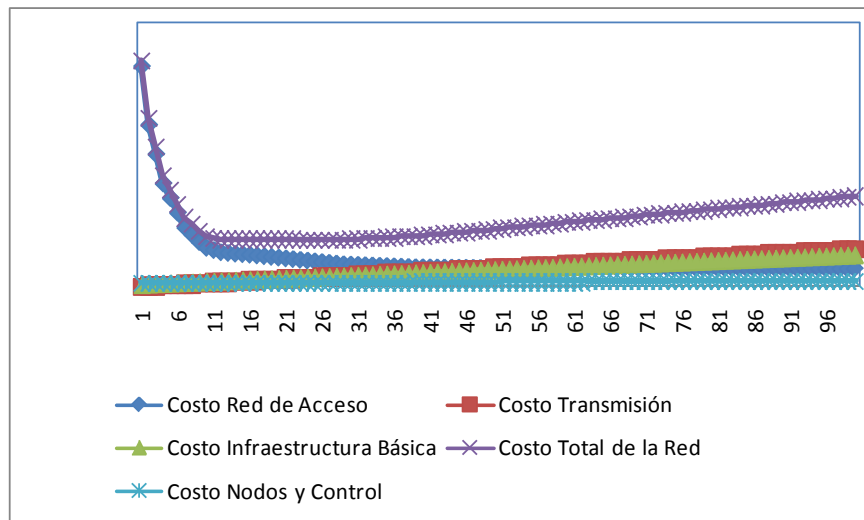


Figura 3: Variación de los costos con el número de MDF

IV. Estructura general del proceso de optimización

Para encontrar el número óptimo de MDF y la configuración de costo mínimo de la red en cada zona primaria, el proceso de optimización debe tomar en cuenta la suma de todos los costos involucrados¹ en cada configuración posible (para cada número posible de MDF).

Debe recordarse que cada zona primaria está compuesta de zonas de edificación continua y que, a su vez, éstas se dividen en sectores de densidad uniforme. Para cada sector de densidad uniforme, existe un número de MDF óptimo, de modo que el proceso de optimización debe encontrar cada uno de estos números óptimos. Por otra parte, el problema no se puede subdividir en sectores y resolver cada sector por separado, pues dichos sectores están unidos por la red de transmisión (red de paquetes), que es común y cubre toda la zona primaria. Así, el proceso de optimización debe determinar integradamente el número óptimo de MDF en todos los sectores de densidad uniforme que componen una zona primaria y el costo de la red que los une.

El algoritmo de optimización prueba distintas configuraciones en un proceso iterativo. En cada iteración, se evalúa la configuración que incluye un número específico de MDF y se calculan los costos de la red completa. Debe notarse que en cada iteración, debe recalcularse los costos de los siguientes elementos:

- red que conecta armarios y MDF: si bien el tamaño de cada zona de armario no cambia, al cambiar el número de MDF cambia el número de armarios por cada MDF y, por consiguiente, el largo de la red primaria (cables multipares). Su costo depende del largo y de la topología, aspecto explicado en el cuerpo principal del documento.
- Cantidad de MDF: en el costo de cada MDF debe considerarse el equipo propiamente tal, dimensionado para atender el número de armarios necesario, el edificio del tamaño correspondiente, el sitio, equipamiento de energía y clima, cuyo costo también depende de las dimensiones del MDF, etc.
- Aquella parte del sistema de transmisión que incluye la fibra entre los MDF y los routers de nodo; y los anillos de concentración con sus routers de nodo y de borde. El costo de esta parte de la red depende del largo de la fibra y de la cantidad de equipamiento necesario en cada configuración. Esta cantidad de equipamiento cambia pues hay límites de capacidad que pueden coparse cuando cambia el número de MDF. Por ejemplo, puede alcanzarse un número máximo de MDF o routers por anillo, dado el ancho de banda máximo de éste. Debe notarse que el costo del núcleo de la red de transmisión de paquetes no cambia al cambiar el número de MDF: Esto se debe a que, por una parte, el número y capacidad de equipos del núcleo depende solamente del

¹ En el cuerpo principal de este documento, se ha especificado el modo de cálculo de costo de cada elemento.

ancho de banda necesario, el cual depende, a su vez, del número de abonados (telefonía y banda ancha) en la zona primaria. Por otra parte, el costo de la red que conecta los equipos del núcleo entre sí (fibra óptica y canalización) no depende en gran medida del número de MDF, pues su extensión y topología no cambia significativamente con el número de MDF. Por ello, el costo del núcleo se calcula una sola vez para todo el proceso.

- Costos de operación y mantención correspondientes a cada componente de la red.

V. Algoritmo de optimización

El algoritmo se aplica por separado a cada una de las zonas primarias. Para la optimización simultánea del número de MDF en todos los sectores del área de edificación continua, se ha preferido utilizar un procedimiento heurístico que se describe a continuación.

En primer lugar, el procedimiento se aplica a cada zona primaria por separado. Dentro de cada zona primaria, se calcula el costo la red completa sin incluir el núcleo ni los sistemas de interconexión de zonas desconectadas de edificación continua. Los costos del núcleo y de los sistemas de interconexión se agregan una vez determinado el número óptimo de MDF en la zona primaria. En la práctica, esto significa que el cálculo de costos se separa por zonas de edificación continua.

Cada zona de edificación continua está compuesta por varios sectores de densidad uniforme. Cada sector de densidad uniforme se supone de una forma cuadrada, aunque conservando su superficie original. Los MDF en cada sector de densidad uniforme se suponen distribuidos en forma uniforme o regular. Estos supuestos facilitan el cálculo del costo de la red primaria y la red de transmisión; sin embargo, para reflejar el hecho que las formas reales son distintas de un cuadrado, los costos que pudiesen depender de la forma de cada sector (canalización de red primaria y costo de fibra óptica en la red de transmisión) se multiplican posteriormente por un factor de forma que lleva dichos costos a valores más reales.

La Figura 4 representa un ejemplo de una zona de edificación continua representada con sus sectores de densidad uniforme en forma de cuadrados. El sector 3, más grande, tiene 7 MDF conectados por la red, el sector 2, intermedio, tiene 5 MDF y el sector 1, más pequeño, tiene 4 MDF. Puede verse en la figura la red de transmisión que conecta a todos los MDF entre sí.

El algoritmo de optimización optimiza el número de MDF de cada sector en forma sucesiva,. El proceso se inicia considerando que cada sector tiene solamente 1 MDF y calculando la red de transmisión necesaria. Una vez que se tiene el costo de la configuración con un solo MDF por

sector, se prosigue tomando un sector específico y variando el número de MDF en ese sector, hasta encontrar el número óptimo, es decir el que resulta en el mínimo costo de la red.

Cada vez que se varía el número de MDF, se debe encontrar el dimensionamiento óptimo de cada uno de estos equipos, de modo de acomodar en forma eficiente los requerimientos de capacidad de tráfico tanto telefónico como de banda ancha (considerando un tráfico telefónico normal y los parámetros de diseño de los accesos de banda ancha y la penetración establecida para el período analizado). Asimismo, se debe recalcular el costo de la red completa, de acuerdo a lo indicado en la sección anterior. Este cálculo nuevamente incluye el diseño de la modularidad óptima de cada uno de los equipos de la red, así como su topología, es decir, el número y capacidad de anillos de concentración, largo de cada anillo, número de routers de nodo y de borde por cada anillo, etc, así como el largo de cada anillo y de la red total.

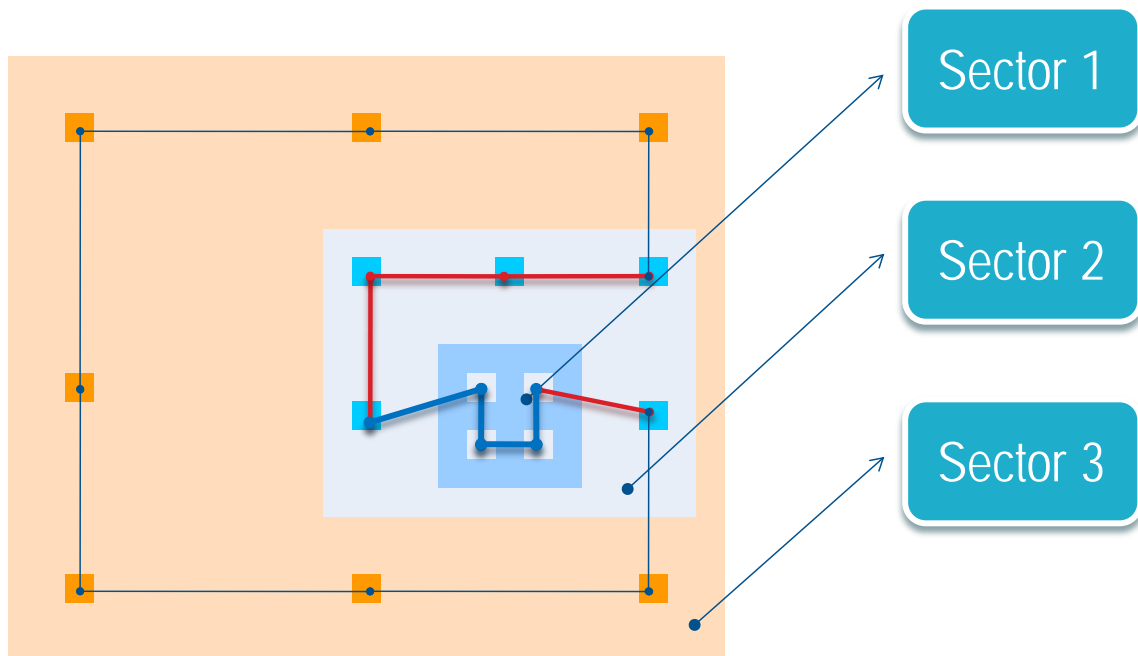


Figura 4: Tres sectores de densidad uniforme conectados por una red de transmisión. Los cuadrados pequeños corresponden a MDF localizados en cada sector.

Para recorrer todos los posibles números de MDF por sector en forma eficiente, se calcula la solución (costo de la red) en que cada sector tiene 1 MDF; luego la solución con el número máximo factible de MDF (número de MDF igual al número de armarios en el sector) y luego se va calculando el número promedio de MDF entre dos soluciones que ya se han encontrado. Por

ejemplo, si el número de armarios es 100 y si se observa la Figura 3, se calcula el costo con 1 MDF, 100 MDF y 50 MDF. Luego con 25 y 75 MDF. En esa etapa, ya se puede deducir que el mínimo de costo está entre 1 y 50. Entonces, se calcula para 13 y 37 (puntos promedio aproximados entre 1 y 25 y entre 25 y 50). Se deduce que el mínimo se encuentra entre 1 y 25, y así sucesivamente, hasta que se llega a números sucesivos (por ejemplo, 10, 11, 12), punto en el cual se escoge el de menor costo.

Antes de fijar ese número de MDF en ese sector particular como el número óptimo de MDF, la solución debe evaluarse, para determinar si se cumple la condición que indica que la tecnología ADSL2+ no opera adecuadamente sobre pares de cobre de más de 1.5 km de largo. Si se cumple, se guarda la solución como óptima. Si la condición no se cumple, se debe aumentar el número de MDF hasta que no haya abonados que queden a más de 1.5 km de distancia del MDF más cercano, considerando la red primaria y secundaria de cobre.

Al cambiar el número de MDF, se va recalculando el costo de la red primaria, a partir de una tabla de costos descrita en el cuerpo principal de este documento, y el costo de la red de transmisión. Esta última tiene un largo que está en relación con el tamaño de un lado del cuadrado que representa a cada sector y su cálculo es similar al de la red primaria.

Una vez que se ha recorrido y optimizado el número de MDF de todos y cada uno de los sectores de densidad uniforme de la zona de edificación continua, se tiene el número total de MDF de ésta. En ese momento puede agregarse los costos de construir el núcleo de la red de paquetes, agregando todos los equipos correspondientes a la red NGN (Media Gateways PTR, Soft Switch, Plataformas, etc). Asimismo, se debe agregar los sistemas de transmisión que conectan zonas de edificación continua desconectadas entre sí, como lo indica la Figura 5.

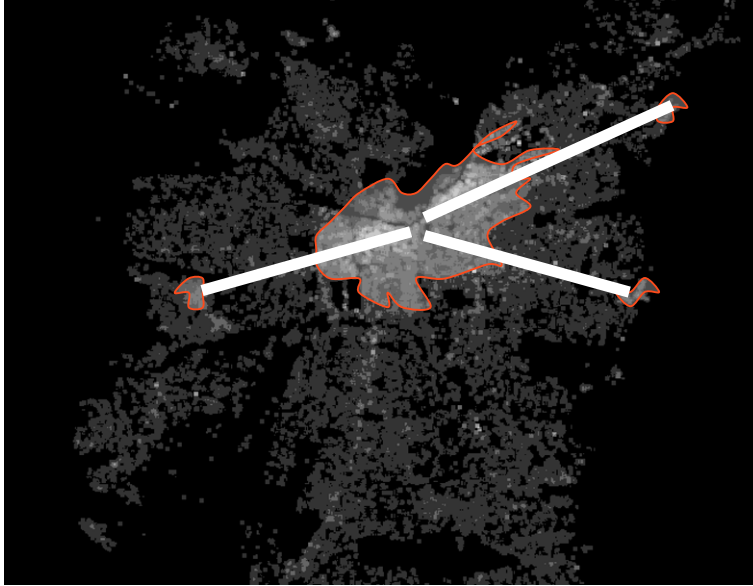


Figura 5: Sistema de transmisión que conecta zonas de edificación continua desconectadas entre sí (ejemplo en Santiago)

Esto completa el proceso de optimización y cálculo de costos de la red.