

**DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED
PARA COMUNICAR CENTRALES DE
GENERACIÓN BASADO EN LA DISTANCIA
MÁS CORTA**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED
PARA COMUNICAR CENTRALES DE
GENERACIÓN BASADO EN LA DISTANCIA
MÁS CORTA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: ALEXIS GABRIEL DE LA TORRE BERMEO

TUTOR: MILTON GONZALO RUIZ MALDONADO

Quito -Ecuador

2023

Alexis Gabriel De La Torre Bermeo

DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED PARA COMUNICAR CENTRALES DE GENERACIÓN BASADO EN LA DISTANCIA MÁS CORTA

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2023

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



Alexis Gabriel De La Torre Bermeo (Y'1998 – M'09). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio Municipal “Fernández Madrid” de la ciudad de Quito. Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el diseño de la infraestructura de red para comunicar centrales de generación basado en la distancia más corta. adel11@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Milton Gonzalo Ruiz Maldonado (Y'1987-M'01). Milton Ruiz se graduó de la Universidad Politécnica Salesiana en 2012 como Ingeniero Electrónico y en 2015 como Ingeniero Eléctrico; Recibió su MSc. en Redes de Comunicaciones en la Pontificia Universidad católica del Ecuador; Sus intereses de investigación están en comunicaciones verdes, infraestructura de medición avanzada, red inteligente, redes inalámbricas, gestión de energía. Es profesor de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador y parte del Grupo de Investigación GIREI. mruizm@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2023 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO - ECUADOR

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marlon Saúl Guevara Mora con documento de identificación N° 1725082216 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 23 de octubre del año 2023

Atentamente,



Alexis Gabriel De La Torre Bermeo
1725082216

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Alexis Gabriel De La Torre Bermeo con documento de identificación N° 1725082216, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Diseño de la infraestructura de red para comunicar centrales de generación basado en la distancia más corta”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de octubre del año 2023

Atentamente,



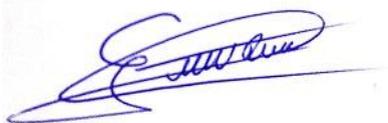
Alexis Gabriel De La Torre Bermeo
1725082216

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Gonzalo Ruiz Maldonado con documento de identificación N° 1714409065, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED PARA COMUNICAR CENTRALES DE GENERACIÓN BASADO EN LA DISTANCIA MÁS CORTA, realizado por Alexis Gabriel De La Torre Bermeo con documento de identificación N° 1725082216, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de octubre del año 2023

Atentamente,



Ing. Milton Gonzalo Ruiz Maldonado, MSc
1714409065

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Marco teórico	3
2.1	Comunicación por fibra óptica.	3
2.2	Componentes de una red óptica.....	4
2.3	Estándares de Fibra monomodo y multimodo.....	4
2.3.1	Fibras ópticas Monomodo	4
2.3.2	Fibras ópticas Multimodo.....	4
2.4	Tecnologías de Fibra Óptica para redes de transmisión eléctrica	5
2.5	Selección de fibra óptica.....	5
3	Diseño de la red entre centrales de generación	5
4	Cálculos	7
4.1	Cálculo y dimensión de la red de comunicaciones.....	7
5	Análisis de Resultados	12
6	Conclusiones	13
7	Referencias	14
7.1	Matriz de Estado del Arte	17
7.2	Resumen de Indicadores	20
8	Anexos.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Georreferenciación de centrales de generación SNI 2018.....	6
Figura 2. Mapeo de centrales de generación del SNI 2018.....	6
Figura 3. Rutas mínimas de comunicación para centrales de generación.....	7
Figura 4. Georreferenciación de ruta mínima de comunicación Sopladora-Hidrosanbartolo....	7
Figura 5. Mapeo de rutas mínimas de comunicación para centrales de generación.	7
Figura 6. Red nacional de fibra óptica CELEC E.P (CELEC E.P,2012) [1].	13
Figura 7. Red nacional propuesta de fibra óptica óptima.....	13
Figura 8. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte	20
Figura 9. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	21
Figura 10. Indicador de solución - Estado del arte.....	22

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Presupuesto de potencias.....	8
Ecuación 2. Presupuesto de potencias simplificado.....	8
Ecuación 3. Ancho de banda.....	9
Ecuación 4. Capacidad del canal.....	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de la L/T Sopladora – Hidrosanbartolo.....	6
Tabla 2. Rutas entre centrales de generación	7
Tabla 3. Longitud de transmisión máxima con fibra óptica sin amplificaciones.....	8
Tabla 4. Amplitud de ancho de banda calculado en MHz	9
Tabla 5. Capacidad del canal en Mbps.....	9
Tabla 6. Tipos de fibra óptica a colocar en rutas mínimas de comunicación.	10
Tabla 7. Comparación de distancias máximas de transmisión.....	12
Tabla 8. Comparación de ancho de banda de la fibra	12
Tabla 9. Comparación capacidad del canal.....	12
Tabla 10. Optimización L/T Sopladora - Hidrosanbartolo	12
Tabla 11: Matriz de estado del arte.	17
Tabla 12. Centrales de generación SNI año 2018.	23

DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED PARA COMUNICAR CENTRALES DE GENERACIÓN BASADO EN LA DISTANCIA MÁS CORTA

Resumen

El presente documento está enfocado en el diseño óptimo de una red de comunicaciones de fibra óptica. Se analiza las características, componentes de una red, estándares multimodo, monomodo y diferentes tipos de tecnologías de fibra óptica. Para analizar los problemas de cobertura se georreferencia las centrales de generación conectadas al SNI en el año 2018 con sus respectivas coordenadas de latitud y longitud. Se crea el árbol de mínima expansión con las diferentes rutas que pasan por todas las centrales dando un camino mínimo mediante algoritmo de rutas más cortas (Dijkstra). Las fibras ópticas analizadas según el estándar ITU-T 659.1 para aplicaciones multicanal de corta y larga distancia son de tipo G.652 y G.655 que se implementan en el cable de guarda OPGW que se encuentra en la parte superior de las torres de transmisión eléctrica.

Palabras Clave: Transmisión óptica, Canal óptico, Receptores ópticos, OPGW, Comunicaciones por medio de fibra óptica, atenuación, Fibras ópticas monomodo, Fibras ópticas multimodo, Estándares de fibra óptica.

Abstract

This document is focused on the optimal design of a fiber optic communications network. The characteristics, components of a network, multimode standards, single mode, and different types of fiber optic technologies are analyzed. To analyze coverage problems, the generation plants connected to the SNI in 2018 are georeferenced with their respective latitude and longitude coordinates. The minimum spanning tree is created with the different routes that pass through all the exchanges, giving a minimum path using the shortest path algorithm (Dijkstra). The optical fibers analyzed according to the ITU-T 659.1 standard for short and long distance multi-channel applications are of the G.652 and G.655 types that are implemented in the OPGW guard cable found at the top of the transmission towers electric.

Keywords: Optical transmission, Optical channel, Optical receivers, OPGW, Communications through optical fiber, attenuation, Single mode optical fibers, Multimode optical fibers, Optical fiber standards.

1 Introducción

Las redes eléctricas inteligentes se encuentran constantemente en crecimiento, transformándola a una red dinámica y dúctil. Cuyo objetivo primordial es fortalecer el suministro eléctrico fiable, permitiendo así a los usuarios el manejo de su consumo eléctrico, con la finalidad de que se aproveche las energías renovables y la eficiencia en los sistemas. Una parte relevante de las redes eléctricas es el uso de tecnologías de comunicaciones y medios de transmisión, con ello se puede tener varios beneficios como eficiencia energética, calidad de energía, calidad de transmisión, calidad de distribución, disponibilidad y un ambiente sostenible todo al beneficio del usuario y su buen vivir.

En [1] se plantea un diseño de red de telecomunicaciones en mediciones en redes inteligentes, dimensionando y calculando la red de telecomunicaciones considerando parámetros como latencia, costos y tecnologías.

En [2] se diseñó una red de comunicación óptica analizando el problema de cobertura con las subestaciones por medio de un algoritmo de mínima expansión, cuya finalidad es limitar la distancia entre subestaciones.

En [3] se implementó el modelo óptimo en plantas de generación y subestaciones eléctricas que busca mejorar las comunicaciones y el tiempo de envío de datos aplicando la transformada de Wavelet, obteniendo una señal comprimida de la información.

En [4] realizaron un modelo de entrenamiento para el desarrollo práctico de fibra óptica, que consta de una estructura física que contiene conectores de panel óptico, cables de fibra óptica monomodo y multimodo, transmisión y recepción óptica.

En [5] la ciudad de Gualaceo se llevó a cabo la adopción del modelo matemático de optimización de red PON, que es la red de acceso y capa física que trabaja para implementar el diseño de red de acceso de

fibra óptica subdesarrollada en ciudades del Ecuador.

La transmisión y el envío de datos por fibra óptica es un instrumento de envío de información que consta de señales de entrada, amplificadores para evitar la caída de señal, ecualizadores ópticos, fuentes de luz que viajen por medio de un canal óptico para llegar a un receptor y dar por último una señal de salida [6].

En [7] se aplica el desarrollo de redes de telecomunicación con soluciones habitacionales considerando estándares internacionales para el despliegue de la red de fibra óptica.

Las redes WAN busca el libre acceso a ubicaciones remotas donde no se pueden acceder con facilidad, la red WAN buscan la eficacia de las comunicaciones, por ello se optimiza presentando diferentes soluciones de Software [8].

En [9] se investiga el desarrollo de la fibra óptica para permitir la expansión y la cobertura de Corporación Nacional de Telecomunicaciones requiere la transmisión de datos para proporcionar y garantizar la transmisión de la información.

En [10] se diseñó la distribución de fibra óptica mediante tecnologías FTTH y estándar GPON para cubrir la demanda de los usuarios y la continuidad de las comunicaciones y estabilidad del servicio.

En [11] mediante el software Matlab se implementó un diseño una red inalámbrica con topología multi-hop con Dijkstra se realizó la distribución de la señal a través de los caminos más cortos, que presenta una propuesta viable de bajo costo y confiabilidad de su monitoreo.

En [12] el objetivo es el diseño un módulo didáctico para el sistema SCADA que monitore en tiempo real sistema eléctrico de potencia y compare el flujo de potencias en el software ETAP.

El algoritmo de Dijkstra se aplica para mapas digitales, redes de comunicación, redes telefónicas y redes de transmisión a medida que las redes van creciendo para

ello Dijkstra se implementa en la ejecución para grafos densos y dispersos [13].

En el presente estudio se implementará el proyecto de infraestructura de red de comunicación vía cable de fibra óptica (OPGW), para comunicar centrales de generación por el método de distancias más cortas (Dijkstra).

2 Marco teórico

Para el funcionamiento de las comunicaciones por medio de fibra óptica, se analiza los tipos de tecnologías y sus estándares.

2.1 Comunicación por fibra óptica.

En las comunicaciones ópticas se usan señales de luz como portadoras de información, utilizando fibras de vidrio o plástico que poseen ondas luminosas que guían las señales de luz. Se sigue el siguiente proceso:

- Generación de señal óptica con transmisor.
- Transmisión de señal óptica a través de la red, asegurando que la señal no se distorsione ni se atenué.
- Recepción de la señal óptica, es decir conversión a una señal eléctrica.

Para tener un proceso de transmisión continua las señales son transmitidas por las fibras para luego ser detectadas por el receptor, que son transformadas en señales electromagnéticas. Por ello en cada tramo empalmado se colocan correctores ópticos y en sus extremos amplificadores para mejorar la calidad de señal. Se debe tener en cuenta la pérdida de canal y dispersión de la señal que representan la atenuación existente entre transmisor y receptor.

En la fibra óptica se tiene altas capacidades, permitiendo a la red de comunicaciones actualizaciones y mejoras, estas capacidades dependen de la potencia óptica del receptor. En la actualidad los sistemas de comunicación permiten tasas de datos que superan los 10 [Gb/s] o 10 [GHz] por una longitud de onda. Hay que tomar en cuenta que pueden alcanzar una velocidad

que supere 40 [Gb/s], incluso estas pueden llegar al orden de los Tera usando multiplexación por longitud de onda (WSM).

La reducción de potencia óptica con la distancia que recorre y la existencia de una distancia limitada que puede detectarse mediante pulsos de luz. La atenuación puede generarse por fenómenos de dispersión y de absorción, esto hace que los rayos de luz se reflejen o se absorban por el revestimiento. La unidad en la que se mide la atenuación es decibel por longitud de onda de fibra (dB/Km), entonces la atenuación se deberá a la longitud de onda utilizada. Para minimizar el desaprovechamiento de potencia óptica, en las redes de comunicación se debe a cada 100 [Km] – 1000 [Km] instalarse repetidores o regeneradores de señal [1].

La interferencia electromagnética en la fibra óptica posee la cualidad de ser eléctricamente no conductora, por lo tanto, la información transmitida a través de la red está libre de interferencias electromagnéticas y diafonía de fibras ópticas cercanas [1].

Rendimiento como medida de calidad del envío de datos, el rendimiento de la potencia óptica está determinado por la transmisión de datos; es decir como la señal eléctrica transformada que va desde el receptor se adapta a la entra del transmisor [1].

La seguridad de las fibras ópticas se debe a que no están expuestas a la radiación electromagnética y aseguran la protección de datos, es por ello que las fibras ópticas, por su alto nivel de seguridad, son ideales para comunicación con necesidades de alta transmisión de información [1].

Costo, aunque los cables de fibra óptica tienen grandes ventajas en redes de comunicación, el costo de fibra óptica, instalación y detección podemos reflejarlo en precios crecientes en el mercado [1].

2.2 Componentes de una red óptica

En la red de comunicación de fibra óptica consta principalmente de los siguientes componentes:

El transmisor se refiere a la fuente de señal de luz, por lo general puede ser un LED iluminado por el movimiento de electrones en el material semiconductor, así como por un diodo láser (LD) que amplifica las señales de luz por emisión estimulada de radiación. Agregando también circuitos electrónicos que generen señales de transmisión.

El canal óptico se trata del medio por el cual viaja las señales ópticas entre transmisor y receptor. Se compone principalmente de fibras ópticas, un amplificador óptico que expande la señal directamente sin tener que transformarla en señal eléctrica y finalmente un compensador de dispersión cromática que corrige los defectos de las señales ópticas transmitidas a largas distancias.

Los receptores permiten que la información que llega por medio de la fibra óptica se transforme nuevamente a señales eléctricas, para posteriormente procesarlos y decodificarlos. Esta etapa consta de detectores electrónicos de corta distancia (PIN) o larga distancia (APD) y recuperadores de señal óptica como amplificadores, filtros, comparadores, entre otros.

Los repetidores en esta etapa se recibe señales bajas o degradadas y lo que hace es amplificarlas, lo que sucede es que el equipo recibe señal óptica baja, este la convierte en señal eléctrica la regenera y se vuelve a retransmitir nuevamente como una señal óptica.

2.3 Estándares de Fibra monomodo y multimodo

Para fibra monomodo es necesario únicamente el uso de un solo haz de luz. Lo cual hace que tenga características de baja latencia, pero muy poca atenuación de señal. Con un ancho de banda

prácticamente limitado, se ve limitado por emisor y receptor. Utilizado para envío de información a grandes distancias, por ello es ideal para redes de área extensa (WAN).

Mientras que la fibra multimodo es similar al cable monomodo, este posee un núcleo mucho más grande, permitiendo el paso de varios haces de luz, siendo idónea para redes que requieren recorrer distancias más cortas. Utilizado en redes de área local (LAN) donde se transmite grandes cantidades de ancho de banda a distancias más cortas.

2.3.1 Fibras ópticas Monomodo

Se caracteriza por la transmisión en línea recta realizada a diferentes densidades de dopaje en el núcleo (, adoptando varias recomendaciones según el ITU.T G.652, G.653, G.654, G.655, G.656 y G.657 [14].

La recomendación ITU.T G.652 esta adecuada en características tanto geométricas, mecánicas y transmisoras para fibras monomodo con longitud de onda dispersa a un valor de 1310 [nm], pero puede usarse también a 1550 [nm] [15].

Aunque la recomendación G.655 especifica un valor distinto de cero para las fibras de dispersión desplazadas, tiene un coeficiente de dispersión cromática siempre positivo, por ende, es mayor y diferente que cero en longitudes de onda a 1550 [nm]. La dispersión disminuye los efectos no lineales, llegando a manejar longitudes de onda de 1625 [nm] y por menos de 1460 [nm] es decir inferiores [16].

2.3.2 Fibras ópticas Multimodo

Según establece ITU G.651.1 que rige a las fibras multimodo accede al uso de redes ethernet de 1 [Gbs] con un alcance límite de 550 [m] de longitud, con dispositivos transceptores de 850nm o 1300nm, recomendando un índice gradual de 50/125 [μm]. Por ende, la señal de luz viaja en una onda sinusoidal a lo largo de una distancia de entre 10 a 20 [km] con una velocidad de transmisión de 34 a 140 [Mbps][14], [17]

2.4 Tecnologías de Fibra Óptica para redes de transmisión eléctrica

La red eléctrica se utiliza para transmitir y distribuir la energía sobre la que se lleva a cabo el proceso. Este proceso inicia con la generación en donde habrá centrales eléctricas (hidráulicas, fotovoltaicas, eólicas, térmicas) que se derivan en subestaciones y redes eléctricas secundarias. Su trabajo debe ser monitoreado y controlado, para lo cual se utilizan varios medios de comunicación, siendo los más comunes los cables ópticos colocados en postes de transmisión y distribución. La red de fibra óptica se construye sobre el suelo y bajo tierra, conectadas por torres y racks. Para facilitar esto se utilizan diferentes tipos de cable [18].

Tipos de cables aéreos para distribución eléctrica:

- Cable de tierra óptico (OPGW).
- Conductor de fase óptica (OPPC).
- Completamente dieléctrico y auto soportado (ADSS).
- Cable adjunto de alimentación óptica (OPAC).

El cable de tipo OPGW se encuentra sobre las líneas de transmisión, también se lo puede caracterizar por su resistencia y confiabilidad lo que genera redes estables [19]. Al igual el cable OPPC cumple características similares que el OPGW, con la diferencia que este es utilizado cuando las líneas no poseen conexión a tierra. Mientras que el cable ADSS posee características técnicas que le permiten tolerar variedad de condiciones ambientales externas, se coloca debajo de las líneas eléctricas, evite dañar la línea de alta tensión por campo eléctrico debido a la descarga. Su construcción dieléctrica posibilita su instalación cerca de las líneas [19]. El cable OPAC son de características dieléctricas, pequeños y más livianos, debido a la limitación de su tamaño, tiene menos fibras que otros [18].

2.5 Selección de fibra óptica

La red de comunicación se basa en el cable blindado de fibra óptica (OPGW), también nombrado cable de guarda de instalación aérea formado con fibra óptica según el estándar IEEE. El cable de guarda se da uso en redes de transmisión y distribución eléctricas con la función para conectar a tierra y la red de comunicación.

Los cables de guarda (OPGW) se encuentran en las estructuras de alta tensión, compuesta por dos partes la parte conductora se encarga de unir las puestas a tierra con la parte adyacente de las estructuras, con la finalidad de protegerlas de las descargas atmosféricas. La parte de fibra del cable se utiliza para el envío de datos a altas velocidades, lo que contribuye al sistema de protección y mando eléctrico de líneas. Los cables (OPGW) suelen al tipo de fibra monomodo de mínima pérdida de señales de transmisión, facilitando el envío de información a largas distancias con una velocidad alta al igual.

Los tipos más comunes de fibras ópticas son G.652, G652b Y G.655. Además, se utilizó un cable de fibra óptica autoportante ADSS no metálico [2].

Las fibras G.652 y G.652b, diseñadas en base de una longitud de onda de dispersión cero y un valor optimizado cercano a 1310 [nm], para que trabaje dentro de este rango. Mientras que la fibra G.655 son fibras de desplazamiento no dispersivas, que contienen G.655. Su dispersión llega a 1550 [nm] cercana a cero, esta es una fibra mejorada que suprime la mezcla de cuatro ondas [2].

3 Diseño de la red entre centrales de generación

En **tabla 1**, se caracteriza la línea de transmisión entre las centrales de generación Hidropaute-Sopladora y Hidrosanbartolo.

Tabla 1. Caracterización de la L/T Sopladora – Hidrosanbartolo

Caracterización de la L/T Sopladora - Hidrosanbartolo						
Centrales de Generación	Provincia	Potencia	Distancia	Nivel de voltaje de L/T	Ubicación	
					Latitud	Longitud
CELEC-Hidropaute Sopladora	Azuay	487 [MW]	19 [km]	230 [kV]	- 2.593378101	- 78.44629815
Hidrosanbartolo	Morona Santiago	49.98 [MW]			- 2.723969998	- 78.37179973

El problema para resolver es la conexión entre todas las centrales eléctricas de la industria energética activas en el año 2018, para ello se han planteado rutas de comunicación que comunican las centrales más cercanas. En la **figura 1** se muestran todas las centrales de generación a tomar en cuenta en cuadrados según su ubicación de longitud y latitud. Ploteado en el software **Matlab**.



Figura 1. Georreferenciación de centrales de generación SNI 2018

En la **figura 2** se realiza el diagrama de flujos del mapeo de centrales de generación del plan maestro de electricidad Anexo 4.1 incorporadas al SNI. Armamos una matriz con los datos de longitud y latitud de las centrales de generación, llamamos desde Excel los datos de longitud y latitud para así plotearlos en las coordenadas geográficas del Ecuador con una base topográfica del mapa y armamos una matriz adyacente de conexiones. Con los datos de latitud y longitud de las centrales realizamos una matriz de distancias entre todas las centrales.

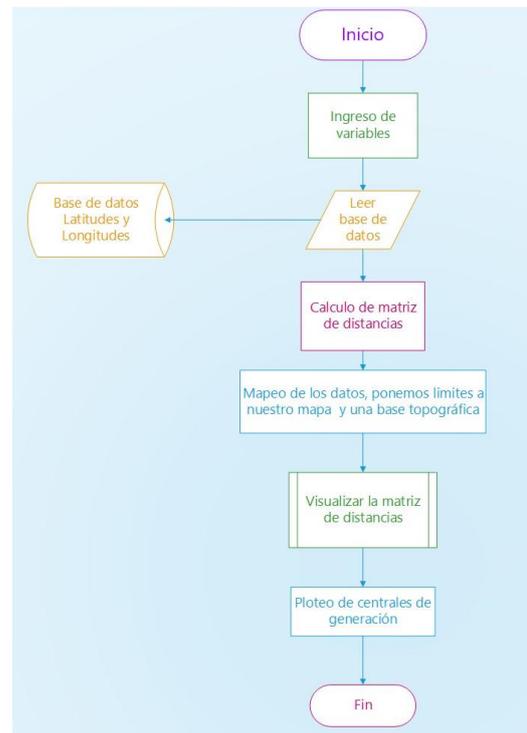


Figura 2. Mapeo de centrales de generación del SNI 2018.

En la **figura 3** observamos la disposición de red de fibra óptica para torres de transmisión y centrales como nodos, las líneas los caminos a seguir por las rutas más cortas según la matriz de distancias calculada.



Figura 3. Rutas mínimas de comunicación para centrales de generación.

En la **figura 4** se georreferencia la ruta mínima entre las centrales Sopladora – Hidrosanbartolo, donde la ruta de comunicaciones se optimiza a una nueva distancia de 16,74 [km] remplazando a los 19 [km] que actualmente posee este tramo.

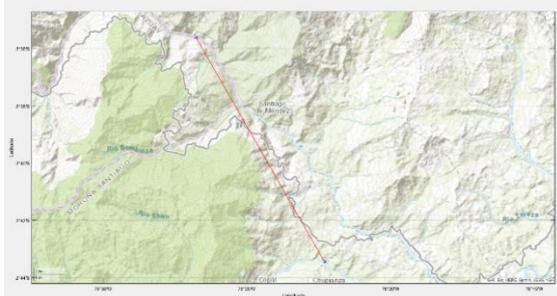


Figura 4. Georreferenciación de ruta mínima de comunicación Sopladora-Hidrosanbartolo.

En la **figura 5** se realiza el diagrama de flujos en donde graficamos ya las rutas mínimas de comunicación. Entrada de variables según las rutas más cortas. Mapeamos todos los caminos siguiendo las rutas mínimas obtenidas por el algoritmo de Dijkstra.

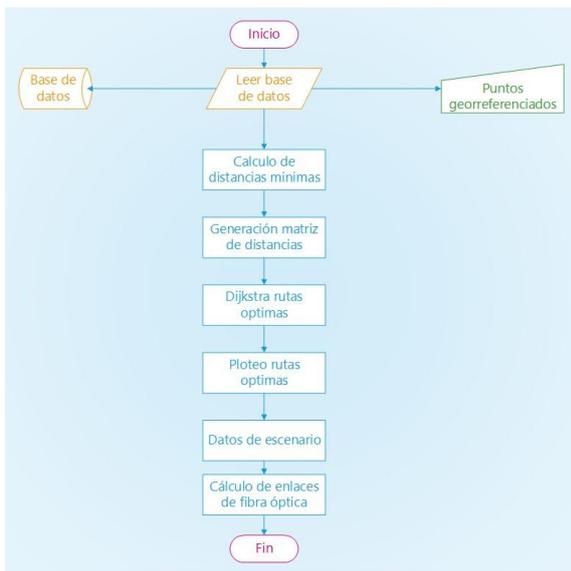


Figura 5. Mapeo de rutas mínimas de comunicación para centrales de generación.

4 Cálculos

4.1 Cálculo y dimensión de la red de comunicaciones

A la hora de calcular, determinar el tamaño y elegir el tipo de fibra óptica, es necesario tener en cuenta la distancia entre los centrales generadores de cada ruta. En la **tabla 2**, se encuentra las rutas mínimas localizadas por el algoritmo de Dijkstra, con las rutas planteadas se optimiza la distancia recorrida a un total de 2536 [km] de recorrido de red de fibra óptica, la red de fibra óptica actual de CELEC recorre una distancia de 5600 [km] entre centrales de generación de todo el país. Todo esto debido a que el algoritmo (Dijkstra) explora todas las rutas posibles que parten de un vértice origen hacia el resto de los vértices del grafo obteniendo como resultado el camino más corto.

Tabla 2. Rutas entre centrales de generación

Ruta	Descripción	Distancia [Km]
1	CELEC-Termopichincha Jivino II Sucumbíos CELEC-Termopichincha Santa Rosa Pichincha	235
2	Electrisol Pichincha Pedro Moncayo CELEC-Termopichincha Santa Rosa Pichincha	180
3	CELEC-Termoesmeraldas La Propicia Esmeraldas CELEC-Termopichincha Santa Rosa Pichincha	203
4	Brineforcorp Manabí CELEC-Termopichincha Santa Rosa Pichincha	251
5	CELEC-Termomanabí Miraflores Manabí CELEC-Termopichincha	324

		Santa Rosa Pichincha	
6	Termoguayas Generation S.A. Termoguayas Guayas	CELEC-Hidroazogues Alazán Cañar	318
7	CELEC-Termogasmachala Machala II El Oro	Hidrotambo Bolívar	196
8	CELEC-Gensur Delsitanisagua Zamora Chinchipe	CELEC-Hidroazogues Alazán Cañar	266
9	Hidroabanico Abanico Morona Santiago	CELEC-Hidroazogues Alazán Cañar	108
10	CELEC-Hidroazogues Alazán Cañar	CELEC-Hidroagoyán San Francisco Tungurahua	136
11	Ecoluz Loreto Napo	CELEC-Hidroagoyán San Francisco Tungurahua	147
12	CELEC-Hidroagoyán San Francisco Tungurahua	Gasgreen El Inga Pichincha	172
Total:			2536

Para la línea de transmisión de Sopladora – Hidrosanbartolo la línea de transmisión actual recorre 19 [km], con el cálculo de rutas mínimas se optimizo la red a una distancia de 16.74 [km] para la comunicación por medio de fibra óptica.

Se basa en el estándar ITU-T G.959.1 de aplicaciones multicanal que se utiliza en redes de transmisión óptica de corta y larga distancia, que toma las fibras de tipo G.652

y G.655 sus diferentes criterios para segmentarlos en tramos de la red.

En el estándar ITU-T G.959.1 se decreta que en la praxis a 1550 [nm] la atenuación es 11 [dB] a una distancia de 40 [km] y una atenuación de 22 [dB] a una distancia de 80 [km]. En 1310 [nm] la atenuación es de 11 [dB] en un segmento de 20 [km] y de 22 [dB] en un segmento de 40 [km].

En el cálculo de potencias de transmisión y recepción se utiliza la **ecuación 1**:

Ecuación 1. Presupuesto de potencias

$$P_T - \alpha_C * N - \alpha * D - \alpha_e * N_e - M_C - M_e \geq P_R \quad [1]$$

Dónde:

P_T = Potencia del transmisor [dBm]

α_C = Atenuación de conexión en interfaz [dB]

N = Número de conexiones de extremo a extremo del enlace

α = Atenuación de distancia de fibra óptica [dB/km]

D = Distancia de fibra óptica [km]

α_e = Atenuación de fusiones [dB]

N_e = Número de fusiones

M_C = Límite de seguridad de fibra óptica [dB]

M_e = Límite de interfaz óptico del transmisor [dB]

P_R = Potencia mínima del receptor [dBm]

En **ecuación 2**, encontramos el presupuesto de potencias de transmisión y recepción simplificado:

Ecuación 2. Presupuesto de potencias simplificado

$$P_T - \alpha * D \geq P_R \quad [1].$$

La distancia máxima depende únicamente de la potencia de transmisión y la potencia recepción a la que va una señal óptica. En base a el estándar ITU-T G.959.1 para distancias largas y cortas. En la **tabla 3**, se realizan los cálculos para corta y larga distancia de máxima transmisión.

Tabla 3. Longitud de transmisión máxima con fibra óptica sin amplificaciones

Detalle	Fórmula	Resultado
Mínima distancia	$-5dBm$ $-0,275dBm * D$ $\geq -11dBm$	$D = 22 km$
Mínima distancia	$5dBm$ $-0,275dBm * D$ $\geq -11dBm$	$D = 58 km$
Máxima distancia	$0dBm$ $-0,275dBm * D$ $\geq -22dBm$	$D = 80 km$
Máxima distancia	$7dBm$ $-0,275dBm * D$ $\geq -22dBm$	$D = 105 km$

Tabla 5. Capacidad del canal en Mbps

Detalle	Fórmula	Resultado
Mínima distancia	$C = 2 * 1336 * \log_2 2$	$C = 2672 Mbps$
Máxima distancia	$C = 2 * 280 * \log_2 2$	$C = 560 Mbps$

Para la **ecuación 3**, determinamos la distancia del enlace, su coeficiente de dispersión ancho de banda y espectral.

Ecuación 3. Ancho de banda

$$AB = \frac{0,5}{D * W_C * \Delta\lambda} [1].$$

Dónde:

D = Distancia máxima de un enlace [km]

W_C = Coeficiente de dispersión cromática [ps/nm*km]

$\Delta\lambda$ = Ancho del láser (1 hasta 5) [nm]

En la **tabla 4**, se realiza el cálculo de amplitud de ancho de banda en corta y larga distancia, según los datos obtenidos en la **tabla 3**.

Tabla 4. Amplitud de ancho de banda calculado en MHz

Detalle	Fórmula	Resultado
Mínima distancia	$AB = \frac{0,5}{22 [km] * 17 \left[\frac{ps}{km * nm} \right] * 1 [nm]}$	$AB = 1336 MHz$
Máxima distancia	$AB = \frac{0,5}{105 [km] * 17 \left[\frac{ps}{km * nm} \right] * 1 [nm]}$	$AB = 280 MHz$

En la ecuación 4, determinamos la capacidad que posee el canal utilizando el teorema de Nyquist para un canal idóneo.

Ecuación 4. Capacidad del canal

$$C = 2AB * \log_2 n [1].$$

Donde:

AB = Amplitud de ancho de banda [Hz]

n = Número de categorías posibles de la señal

En tabla 5, se calcula la capacidad del canal en corta y larga distancia con los datos de la tabla 4.

En la **tabla 6**, se encuentra los resultados según las rutas tomadas en la tabla 1 y se describe el tipo de fibra a utilizar, su

dispersión cromática, ancho de banda, capacidad y potencia de transmisión.

Tabla 6. Tipos de fibra óptica a colocar en rutas mínimas de comunicación.

	Tramo		Distancia [km]	Tipo de fibra	Dispersión Cromática [ps/nm]	Ancho de banda [MHz]	Capacidad [Mbps]	Potencias [dBm]
Ruta N°1	54, 30 y 62	58	34	G.652	800	865	1730	-14
	58	27	59	G.655	420	499	997	-11
	27	1	37	G.652	800	795	1590	-15
	1	55	45.5	G.652	800	646	1293	-18
	55	60	23	G.652	800	1279	2558	-11
	60	61	23	G.652	800	1279	2558	-11
	61	25	23	G.652	800	1279	2558	-11
Ruta N°2	75	72	48	G.652	800	613	1225	-18
	72 y 79	78	43	G.652	800	684	1368	-17
	78 y 41	71	37	G.652	800	795	1590	-15
	71 y 39	33	29	G.652	800	1014	2028	-13
	33, 44, 43, 29 y 38	25	22.5	G.652	800	1307	2614	-11
Ruta N°3	56, 14 y 19	23	117	G.655	840	251	503	-25
	23	52	26	G.652	800	1131	2262	-12
	52	25	60	G.655	420	490	980	-12
Ruta N°4	69	64	76.5	G.655	420	384	769	-16
	64	25	175	G.655	840	168	336	-41
Ruta N°5	34, 46, 77 y 13	5	109.5	G.655	840	269	537	-23
	5	20	32.5	G.652	800	905	1810	-14
	20	51	28.5	G.652	800	1032	2064	-13
	51	31	44	G.652	800	668	1337	-17
	31	25	109	G.655	840	270	540	-23
Ruta N°6	22 y 32	37	89	G.652	1600	330	661	-24
	37, 45, 10, 24 y 11	15	25	G.652	800	1176	2353	-12

	15 y 17	18	25.5	G.652	800	1153	2307	-12
	18	73 y 74	30.5	G.652	800	964	1929	-13
	74	57	56	G.652	800	525	1050	-20
	57	59	92	G.652	1600	320	639	-25
Ruta N°7	16 y 12	4	39.5	G.652	800	745	1489	-16
	4	57	156.5	G.655	840	188	376	-36
	7	70	37	G.652	800	795	1590	-15
Ruta N°8	70, 49 y 48	76	35	G.652	800	840	1681	-15
	76	50 y 42	138	G.655	840	213	426	-31
	42 y 47	59	56	G.652	800	525	1050	-20
Ruta N°9	36 y 28	26	68	G.655	420	433	865	-14
	26 y 3	8, 2 y 59	40	G.652	800	735	1471	-16
Ruta N°10	59	53	85	G.652	1600	346	692	-23
	53 y 65	6	51	G.652	800	577	1153	-19
Ruta N°11	67	35	45	G.652	800	654	1307	-17
	35	40	78.5	G.652	1600	375	749	-22
	40	9 y 6	23	G.652	800	1279	2558	-11
Ruta N°12	6	80	39.5	G.652	800	745	1489	-16
	80 y 66	21	39.5	G.652	800	745	1489	-16
	21	63	72	G.655	420	408	817	-15
	63 y 68	61	20.5	G.652	800	1435	2869	-11

5 Análisis de Resultados

La infraestructura de red se diseñó mediante el software Matlab, en donde se obtiene rutas de distancias más cortas por medio del algoritmo de Dijkstra. Dichas rutas de mínima distancia comunican las centrales de generación que se encuentran conectadas al SNI del Ecuador, estas rutas se encuentran conectadas por las diferentes regiones del país. Con el objetivo de comunicar directamente las centrales de generación lo cual es fundamental en él envío de datos e información que constantemente tiene que transmitirse para la prevención de fallas e interrupciones en el servicio eléctrico. Se utilizan las longitudes y latitudes de las diferentes centrales para georreferenciarlas, por lo tanto, la distancia entre ellas dependerá únicamente de su ubicación. Para el diseño colocamos en el OPGW los tipos de fibra seleccionados, ubicado en la parte superior de las torres de transmisión eléctrica. Los tipos de fibra a utilizar son G.652 y G.655, y estas se las implementara según la distancia que existe entre centrales. Estas distancias permiten seleccionar el tipo de fibra a utilizar y su respectiva dispersión cromática, también se calcula la capacidad del canal y su ancho de banda en las rutas diseñadas, con todo esto se puede determinar si la potencia de transmisión entra en el rango de la potencia de recepción mínima.

Para el documento [1], toma las siguientes distancias para corta y larga distancia en los tipos de fibras G.652 y G.655. Se realiza una comparación con los datos obtenidos en las **tablas 7, 8 y 9**.

Tabla 7. Comparación de distancias máximas de transmisión

	Distancia	Potencia de transmisión		Distancia
Corta Distancia	40 km	0 dBm	-5 dBm	22 km
Larga Distancia	90 km	3 dBm	5 dBm	58 km

Corta Distancia	80 km	0 dBm	0 dBm	80 km
Larga Distancia	98 km	5 dBm	7 dBm	105 km

Tabla 8. Comparación de ancho de banda de la fibra

	Ancho de banda	Distancia		Ancho de banda
Corta Distancia	735 Mhz	40 km	22 km	1336 Mhz
Larga Distancia	300 Mhz	98 km	105 km	280 Mhz

Tabla 9. Comparación capacidad del canal

	Capacidad	Ancho de banda		Capacidad
Corta Distancia	1440 Mbps	735 Mhz	1336 Mhz	2672 Mbps
Larga Distancia	600 Mbps	300 Mhz	280 Mhz	560 Mbps

Se observa la optimización de la distancia de recorrido de la línea de transmisión Sopladora – Hidrosanbartolo donde se llega a usar la siguiente fibra óptica descrita en la **tabla 10**.

Tabla 10. Optimización L/T Sopladora - Hidrosanbartolo

Optimización L/T Sopladora - Hidrosanbartolo	
Distancia actual [km]	19
Distancia optimizada [km]	16.74
Tipo de fibra	G.652
Dispersión Cromática [ps/nm]	800
Ancho de banda [MHz]	735
Capacidad [Mbps]	1471
Potencias [dBm]	-16

Por medio de los datos obtenidos y calculados por la nueva propuesta de fibras ópticas a instalar podemos concluir que estas pueden ser utilizadas a menores y a mayor distancia de transmisión, ampliando el ancho de banda para cortas distancias y se reduce un poco para largas distancias, pero con más kilómetros por recorrer. El mayor beneficio podemos observarlo en la capacidad del canal donde esta aumenta considerablemente tanto para corta como para larga distancia en donde la velocidad de envío de información aumenta para el

beneficio de las comunicaciones entre centrales de generación.

Figura 6. Red nacional de fibra óptica CELEC E.P (CELEC E.P,2012) [1].



Figura 7. Red nacional propuesta de fibra óptica óptima.



6 Conclusiones

La red de transmisión e infraestructura entre las centrales de generación Sopladora – Hidrosanbartolo al poseer una distancia de 19 [km] recorrido y su topología, el terreno de esta es inestable debido a los constantes

movimientos de tierra que existe en el sector por el que recorre su línea de transmisión. Podemos optimizar una ruta mínima con el algoritmo Dijkstra optimizándolo a una distancia de 16,74 [km] además de instalar un nuevo tipo de fibra óptica que cumpla con las

características de la nueva red de comunicaciones.

La generación es optimizada por el algoritmo de rutas más cortas (Dijkstra), las distancias tomadas entre centrales la distancia máxima depende de la potencia del transmisor, atenuación, sensibilidad del receptor y dispersión cromática. Por lo tanto, se cambia la ganancia del amplificador óptico se realiza un ajuste de compensación con la condición de mayor distancia que proporcione el canal óptico, proporcionando así datos fiables tanto como de capacidad y ancho de canal, se llegó a la conclusión de que mientras sea más corta la distancia mayor será la capacidad de ancho y viceversa el ancho será menor mientras la distancia sea más larga y por ende la capacidad del canal óptico se reduce también.

7 Referencias

- [1] Ruiz Maldonado Milton Gonzalo, “DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO INALÁMBRICO-FIBRA PARA TRANSMISIÓN DE DATOS DE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGÍA EN REDES SMART GRID,” 2016. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11293/PUCE%20TESIS%20MILTON%20RUIZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] Ruiz Milton and Inga Esteban, “Despliegue óptimo de redes ópticas para comunicaciones en redes eléctricas inteligentes,” *Periodicidad: Semestral*, vol. 15, no. 2, Aug. 2019, Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/idd-tecnologico/article/view/2249/3546>
- [3] D. Alexander and C. Torres, “OPTIMIZACION DE LAS COMUNICACIONES PARA SUBESTACIONES Y CENTRALES DE GENERACION APLICANDO WAVELET AUTOR,” 2015. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8092>
- [4] Agosto Duarte Mercedes Lucia and Guerrero Culqui Sebastián Fabricio, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO EDUCATIVO DE FIBRA ÓPTICA PARA DESARROLO DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES ÓPTICAS,” 2020. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19459>
- [5] Jara Saltos Juan Diego, “APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PLANEACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA PON, APLICADO A LA CIUDAD DE GUALACEO-PROVINCIA DEL AZUAY,” 2017. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14892>
- [6] Astudillo Rivera Juan José and Ramírez Obando Edgar Yamid, “MANUAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN DWDM (DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING),” 2014. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7119>
- [7] Peñaloza Gallardo Kléber Adrián and Inga Lojano Gerardo Marcelo, “PLANTEAMIENTO DE NORMATIVAS Y DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA

- CREAR UN MODELO DE DISEÑO DE LA RED INTERNA DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES CON FIBRA ÓPTICA APLICADA A SOLUCIONES HABITACIONALES DE LA CIUDAD DE CUENCA PARA LA EMPRESA ETAPA,” 2014. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6564>
- [8] Suarez Armijos Javier Naufredo, “ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS, FUNCIONAMIENTO VENTAJAS Y TÉCNICAS UTILIZADAS EN LOS OPTIMIZADORES WAN,” 2012. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2146>
- [9] Carrion Torres Walter Oswaldo and Cevallos Cuenca Diego Fernando, “Estudio y diseño de la red de fibra óptica para el transporte de aplicación triple play en el trayecto Cuenca - Girón - Pasaje,” 2011. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1081>
- [10] Rodríguez San Lucas Erick Fabricio, “Diseño de una red FTTH GPON de empresa TELERAPID S.A. para la ciudad de Quito en el barrio La Luz,” 2022. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23069>
- [11] Aguilera Agudo Christian Jpsué, “SIMULACIÓN DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS CON TOPOLOGÍA MULTI-HOP, PARA EL ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA SEÑAL A TRAVÉS DEL ALGORITMO DE DIJKSTRA, UTILIZANDO EL SOFTWARE MATLAB,” 2019. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17255>
- [12] Muñoz Torres Jorge Fabricio and Lata Rivera Paúl Sebastián, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL,” 2017. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14815>
- [13] D. Verma, D. Messon, M. Rastogi, and A. Singh, “Comparative study of various approaches of dijkstra algorithm,” in *Proceedings - IEEE 2021 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems, ICC CIS 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Feb. 2021, pp. 328–336. doi: 10.1109/ICCCIS51004.2021.9397200.
- [14] Vargas Carlos, “Estándares Fibras ópticas monomodo y multimodo,” Aug. 31, 2020. <https://sisutelco.com/estandares-fibras-opticas/> (accessed Jul. 04, 2023).
- [15] Telecommunication standardization sector of ITU, “ITU-T Characteristics of a single-mode optical fibre and cable,” 2016. [Online]. Available: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11>
- [16] Telecommunication standardization sector of ITU, “ITU-T Characteristics of a non-zero

- dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable,” 2009. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.655/es>
- [17] Telecommunication standardization sector of ITU, “Characteristics of a 50/125 μm multimode graded index optical fibre cable for the optical access network,” 2018. [Online]. Available: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11>
- [18] Guzmán Yermanos Jairo A., “Tendido de fibra óptica y otros tipos de red,” Jan. 03, 2022. <https://blog.internexa.com/es/isp/fibra-optica-y-los-diferentes-tipos-de-tendidos-de-red> (accessed Jul. 04, 2023).
- [19] SectorElectricidad, “Tecnologías de Fibra óptica en las instalaciones eléctricas,” Jun. 13, 2021. <https://www.sectorelectricidad.com/34456/tecnologias-de-fibra-optica-en-las-instalaciones-electricas/> (accessed Jul. 04, 2023).

7.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 11: Matriz de estado del arte.

DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED PARA COMUNICAR CENTRALES DE GENERACIÓN BASADO EN LA DISTANCIA MÁS CORTA																					
ITEM	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA				
			CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Comunicaciones por medio de fibra óptica	Componentes de una red de fibra óptica	Estándares de fibra óptica tipo monomodo y multimodo	Tecnologías de fibra óptica para redes	Diseño de red de fibra óptica	Caracterización de la fibra óptica OPCW	Análisis de una nueva red de comunicaciones	Optimizar la ruta más corta	Distancia entre centrales de generación	Distancias máximas de transmisión	Velocidad de transmisión	Tecnologías de fibra óptica	Georreferencia de centrales de	Algoritmo de Dijkstra	Diseño de red de comunicaciones	Dimensionamiento de enlaces de fibra óptica	Diseño óptimo de red de comunicaciones	Dimensionamiento óptimo de red de comunicaciones
1	2016	DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO INALÁMBRICO-FIBRA PARA TRANSMISIÓN DE DATOS DE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGÍA EN REDES SMART GRID	12	☒	☒		☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒
2	2019	Despliegue óptimo de redes ópticas para comunicaciones en redes eléctricas inteligentes	3	☒	☒		☒	☒			☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
3	2015	OPTIMIZACION DE LAS COMUNICACIONES PARA SUBESTACIONES Y CENTRALES DE GENERACION APLICANDO WAVELET AUTOR	1			☒	☒			☒								☒			
4	2020	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO EDUCATIVO DE FIBRA ÓPTICA PARA DESARROLLO DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES ÓPTICAS	1	☒	☒		☒					☒			☒			☒			
5	2017	APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PLANEACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA PON, APLICADO A LA CIUDAD DE GUALACEO-PROVINCIA DEL AZUAY	1		☒		☒			☒			☒	☒						☒	

6	2014	MANUAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN DWDM (DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)	1			☒	☒		☒						☒		☒				
7	2014	PLANTEAMIENTO DE NORMATIVAS Y DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA CREAR UN MODELO DE DISEÑO DE LA RED INTERNA DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES CON FIBRA ÓPTICA APLICADA A SOLUCIONES HABITACIONALES DE LA CIUDAD DE CUENCA PARA LA EMPRESA ETAPA	1	☒		☒	☒	☒					☒				☒			☒	
8	2012	ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS, FUNCIONAMIENTO VENTAJAS Y TÉCNICAS UTILIZADAS EN LOS OPTIMIZADORES WAN	1		☒		☒		☒				☒				☒			☒	
9	2011	Estudio y diseño de la red de fibra óptica para el transporte de aplicación triple play en el trayecto Cuenca - Girón - Pasaje	1			☒	☒	☒	☒				☒				☒			☒	
10	2022	Diseño de una red FTTH GPON de empresa TELERAPID S.A. para la ciudad de Quito en el barrio La Luz	1	☒	☒		☒	☒	☒				☒					☒		☒	
11	2019	SIMULACIÓN DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS CON TOPOLOGÍA MULTI-HOP, PARA EL ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA SEÑAL A TRAVÉS DEL ALGORITMO DE DIJKSTRA, UTILIZANDO EL SOFTWARE MATLAB	1			☒	☒	☒					☒	☒							
12	2017	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL	1	☒	☒		☒		☒				☒	☒						☒	
13	2021	Comparative study of various approaches of dijkstra algorithm	1		☒		☒	☒	☒				☒				☒	☒		☒	☒
14	2020	Estándares Fibras ópticas monomodo y multimodo	5			☒	☒	☒	☒	☒				☒	☒					☒	
15	2016	ITU-T Characteristics of a single-mode optical fibre and cable	5		☒				☒				☒							☒	
16	2009	ITU-T Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable	1			☒	☒		☒				☒				☒			☒	
17	2018	Characteristics of a 50/125 µm multimode graded index optical fibre cable for the optical access network	1			☒	☒		☒				☒				☒			☒	

18	2022	Tendido de fibra óptica y otros tipos de red	2			✘	✘		✘						✘			✘				
19	2021	Tecnologías de Fibra óptica en las instalaciones eléctricas	2			✘	✘		✘						✘			✘			✘	
20	2018	Optical transport network physical layer interfaces	2			✘	✘		✘						✘			✘			✘	
CANTIDAD:				6	9	11	19	8	15	3	2	7	3	14	6	3	11	4	2	12	8	3

7.2 Resumen de Indicadores

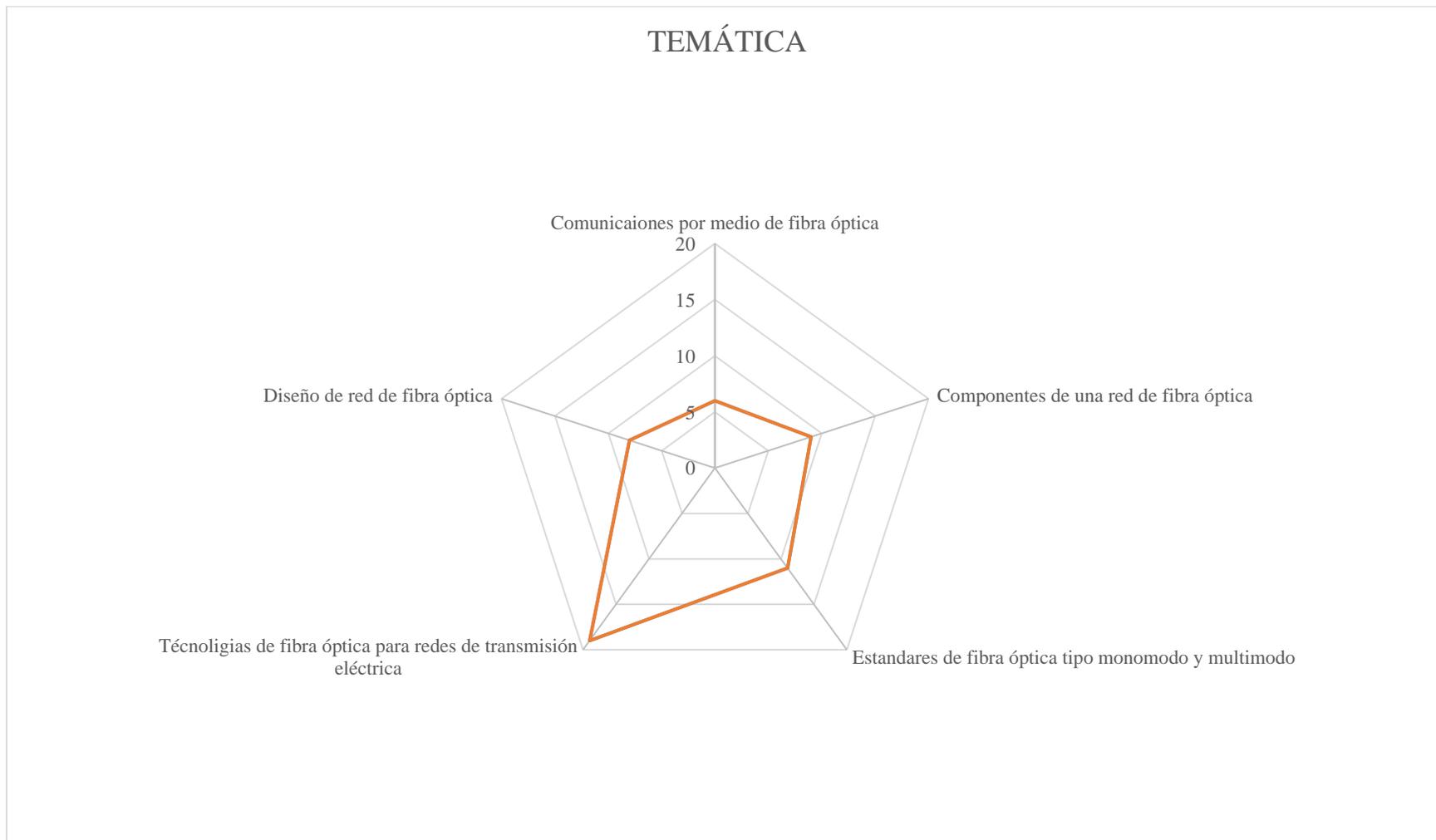


Figura 8. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte

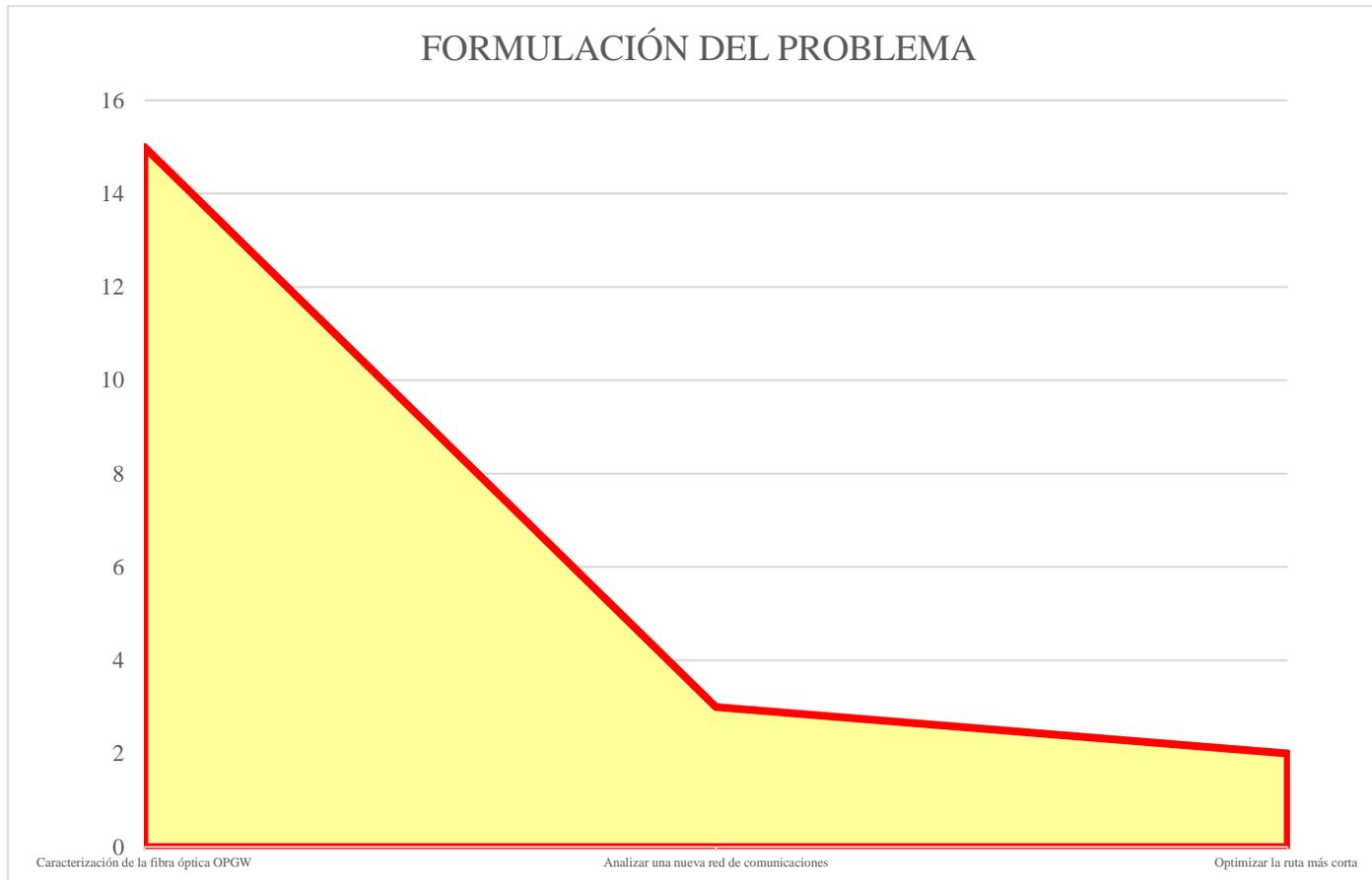


Figura 9. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

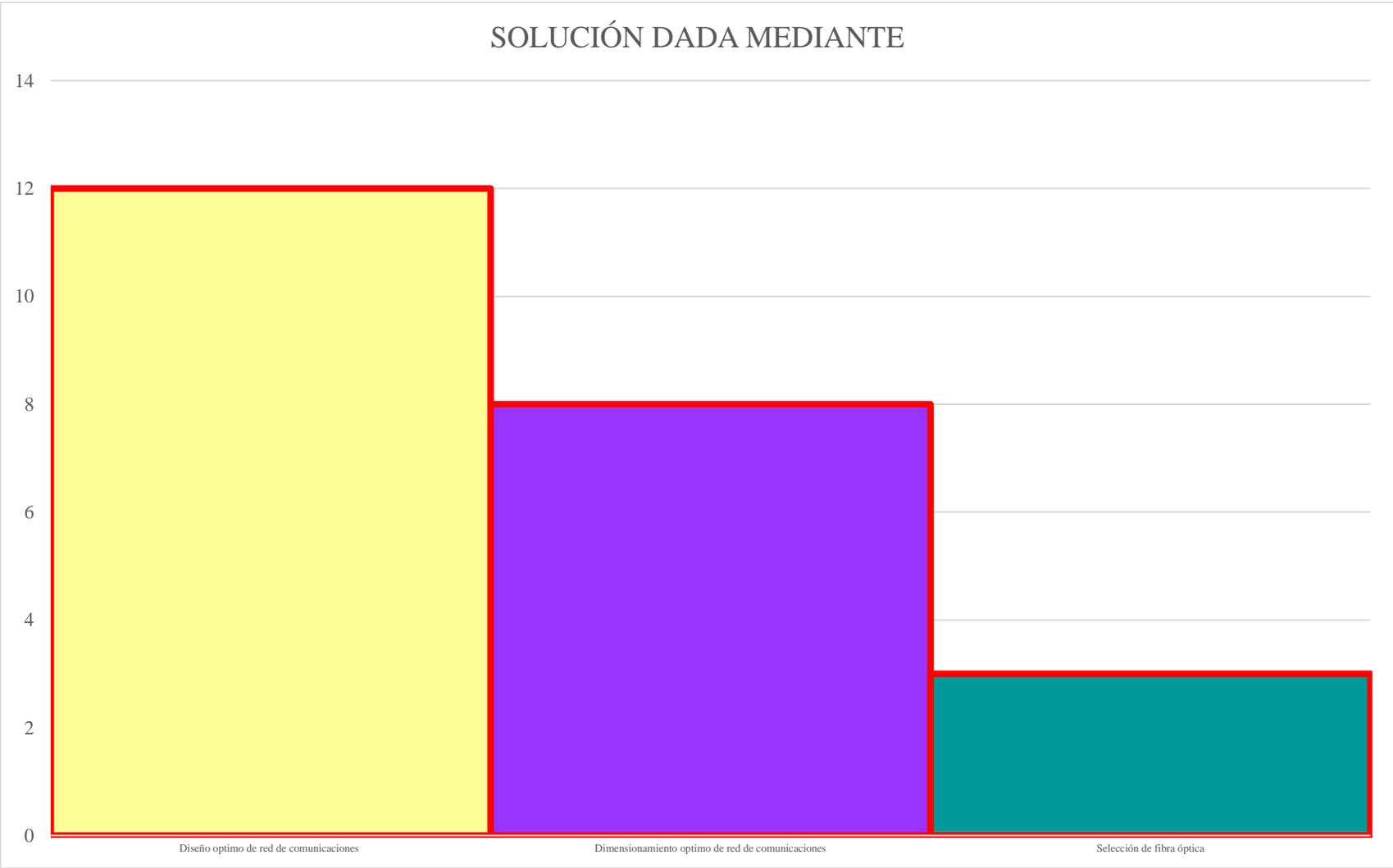


Figura 10. Indicador de solución - Estado del arte.

8 Anexos

Tabla 12. Centrales de generación SNI año 2018.

Empresa	Central	Provincia	Cantón	Sistema	Tipo de Central	Latitud	Longitud
CELEC-Coca Codo Sinclair	Coca Codo Sinclair	Napo	El Chaco	S.N.I.	Hidráulica	-0.198810761	-77.68380403
CELEC-Hidropaute	Paute	Azuay	Sevilla de Oro	S.N.I.	Hidráulica	-2.59485752	-78.56824273
CELEC-Hidropaute	Sopladora	Azuay	Sevilla de Oro	S.N.I.	Hidráulica	-2.593378101	-78.44629815
CELEC-Enerjubones	Minas San Francisco	Azuay	Pucara	S.N.I.	Hidráulica	-3.312588819	-79.58382613
CELEC-Hidronación	Marcel Laniado	Guayas	El Empalme	S.N.I.	Hidráulica	-0.927154159	-79.75448939
CELEC-Hidroagoyán	San Francisco	Tungurahua	Baños de Agua Santa	S.N.I.	Hidráulica	-1.395710966	-78.4157995
CELEC-Gensur	Delsitanisagua	Zamora Chinchipe	Zamora	S.N.I.	Hidráulica	-4.033120331	-78.98260847
CELEC-Hidropaute	Mazar	Azuay	Sevilla de Oro	S.N.I.	Hidráulica	-2.59316293	-78.56572176
CELEC-Hidroagoyán	Agoyán	Tungurahua	Baños de Agua Santa	S.N.I.	Hidráulica	-1.398008986	-78.38185874
CELEC-Electroguayas	Gonzalo Zevallos (Vapor)	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	-2.1954851	-79.95377798
CELEC-Electroguayas	Trinitaria	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	-2.250547767	-79.90848492
CELEC-Termogas Machala	Termogas Machala I	El Oro	El Guabo	S.N.I.	Térmica	-3.115264525	-79.8779658
CELEC-Termomanabí	Jaramijó	Manabí	Jaramijó	S.N.I.	Térmica	-0.976017854	-80.63852545
CELEC-Termoesmeraldas	Esmeraldas I	Esmeraldas	Esmeraldas	S.N.I.	Térmica	0.92681263	-79.68730828
Termoguayas Generation S.A.	Termoguayas	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	-2.263635473	-79.86172943
CELEC-Termogas Machala	Termogas Machala II	El Oro	El Guabo	S.N.I.	Térmica	-3.115918016	-79.87828766
Intervisa Trade	Victoria II	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	-2.168751818	-79.9049395
CELEC-Electroguayas	Enrique García	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	-2.052063972	-79.94735643
CELEC-Termoesmeraldas	Esmeraldas II	Esmeraldas	Esmeraldas	S.N.I.	Térmica	0.926651719	-79.68707224
CELEC-Termopichincha	Quevedo II	Los Ríos	Quevedo	S.N.I.	Térmica	-1.048773629	-79.48998904
CELEC-Hidroagoyán	Pucará	Tungurahua	Píllaro	S.N.I.	Hidráulica	-1.07604539	-78.45654781
CELEC-Electroguayas	Santa Elena II	Santa Elena	Santa Elena	S.N.I.	Térmica	-2.241467695	-80.84678656
CELEC-Coca Codo Sinclair	Manduriacu	Imbabura	Cotacachi	S.N.I.	Hidráulica	0.217034272	-78.91059726
CNEL-Guayaquil	Álvaro Tinajero	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	-2.198053931	-79.9506463
CELEC-Termopichincha	Santa Rosa	Pichincha	Mejía	S.N.I.	Térmica	-0.363739679	-78.54002607

Hidrosanbartolo	Hidrosanbartolo	Morona Santiago	Santiago	S.N.I.	Hidráulica	-2.723969998	-78.37179973
Hidroalto	Due	Sucumbíos	Gonzalo Pizarro	S.N.I.	Hidráulica	0.014892231	-77.4320097
Hidronormandía	Normandía	Morona Santiago	Morona	S.N.I.	Hidráulica	-2.225862622	-78.27069068
CELEC-Termopichincha	Guangopolo 2	Pichincha	Distrito Metropolitano de Quito	S.N.I.	Térmica	-0.2705915	-78.45142009
CELEC-Termopichincha	Jivino III	Sucumbíos	Shushufindi	S.N.I.	Térmica	-0.184059585	-76.83323743
CELEC-Hidronación	Baba	Los Ríos	Buena Fe	S.N.I.	Hidráulica	-0.673453359	-79.47081163
CELEC-Electroguayas	Santa Elena III	Santa Elena	Santa Elena	S.N.I.	Térmica	-2.24112312	-80.8467741
E.E. Quito	Cumbayá	Pichincha	Distrito Metropolitano de Quito	S.N.I.	Hidráulica	-0.196982753	-78.42928025
CELEC-Termomanabí	Miraflores	Manabí	Manta	S.N.I.	Térmica	-0.958553113	-80.72207967
ElitEnergy	Pusuno	Napo	Tena	S.N.I.	Hidráulica	-0.995480917	-77.61868549
Hidroabanico	Abanico	Morona Santiago	Morona	S.N.I.	Hidráulica	-2.262602466	-78.17537139
Generoca	Generoca	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	-2.184771772	-80.04787753
E.E. Quito	Gualberto Hernández	Pichincha	Distrito Metropolitano de Quito	S.N.I.	Térmica	-0.271639742	-78.45175012
E.E. Quito	Nayón	Pichincha	Distrito Metropolitano de Quito	S.N.I.	Hidráulica	-0.1637145	-78.4127502
Ecuagesa	Topo	Tungurahua	Baños de Agua Santa	S.N.I.	Hidráulica	-1.373798396	-78.21495327
UNACEM	Selva Alegre	Imbabura	Otavaló	S.N.I.	Térmica	0.239655423	-78.3133225
Elecaastro	Saucay	Azuay	Cuenca	S.N.I.	Hidráulica	-2.754922482	-79.0131942
CELEC-Termopichincha	Guangopolo	Pichincha	Distrito Metropolitano de Quito	S.N.I.	Térmica	-0.270559314	-78.45142813
E.E. Quito	Guangopolo	Pichincha	Distrito Metropolitano de Quito	S.N.I.	Hidráulica	-0.258848672	-78.45274367
CNEL-Guayaquil	Aníbal Santos (Vapor)	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	-2.187378333	-79.95375607
CELEC-Termomanabí	Manta II	Manabí	Manta	S.N.I.	Térmica	-0.961452842	-80.67965501
Elecaastro	El Descanso	Cañar	Azogues	S.N.I.	Térmica	-2.838259735	-78.87540013
E.E. Sur	Catamayo	Loja	Catamayo	S.N.I.	Térmica	-3.97739412	-79.37213264
CELEC-Gensur	Villonaco	Loja	Loja	S.N.I.	Eólica	-4.000981994	-79.2592105
Elecaastro	Saymirín	Azuay	Cuenca	S.N.I.	Hidráulica	-2.800301933	-79.00755471
Enermax	Calope	Cotopaxi	La Maná	S.N.I.	Hidráulica	-0.9943	-79.2389
IPNEGAL	Ipnegal	Pichincha	Distrito Metropolitano de Quito	S.N.I.	Hidráulica	0.1572419	-78.68258401

E.E. Riobamba	Alao	Chimborazo	Riobamba	S.N.I.	Hidráulica	-1.811416951	-78.59699868
CELEC-Termopichincha	Jivino II	Sucumbíos	Shushufindi	S.N.I.	Térmica	-0.184101941	-76.83323058
HidroVictoria	Victoria	Napo	Quijos	S.N.I.	Hidráulica	-0.409021214	-78.03315736
CELEC-Termoesmeraldas	La Propicia	Esmeraldas	Esmeraldas	S.N.I.	Térmica	0.926574242	-79.68773548
Hidrotambo	Hidrotambo	Bolívar	Chillanes	S.N.I.	Hidráulica	-1.956396437	-79.20953446
CELEC-Termopichincha	Celso Castellanos	Sucumbíos	Lago Agrio	S.N.I.	Térmica	0.108641619	-76.90777246
CELEC-Hidroazogues	Alazán	Cañar	Azogues	S.N.I.	Hidráulica	-2.573669713	-78.65697654
Ecoluz	Papallacta	Napo	Quijos	S.N.I.	Hidráulica	-0.376472514	-78.1449001
Gasgreen	El Inga	Pichincha	Distrito Metropolitano de Quito	S.N.I.	Biogás	-0.306407817	-78.341271
CELEC-Termopichincha	Jivino I	Sucumbíos	Shushufindi	S.N.I.	Térmica	-0.184097553	-76.833237
E.E. Quito	Pasochoa	Pichincha	Mejía	S.N.I.	Hidráulica	-0.428732899	-78.47830484
CELEC-Termomanabí	Pedernales	Manabí	Pedernales	S.N.I.	Térmica	0.067657653	-80.05190168
E.E. Riobamba	Río Blanco	Chimborazo	Riobamba	S.N.I.	Hidráulica	-1.66164277	-78.54000076
E.E. Ambato	Península	Tungurahua	Ambato	S.N.I.	Hidráulica	-1.240266909	-78.60312337
Ecoluz	Loreto	Napo	Quijos	S.N.I.	Hidráulica	-0.708402798	-77.33135769
E.E. Quito	Los Chillos	Pichincha	Rumiñahui	S.N.I.	Hidráulica	-0.37354748	-78.42047951
Brineforcorp	Brineforcorp	Manabí	San Vicente	S.N.I.	Fotovoltaica	-0.510038628	-80.42569623
Surenergy	Surenergy	Loja	Catamayo	S.N.I.	Fotovoltaica	-4.117224307	-79.30224532
Electrisol	Electrisol	Pichincha	Pedro Moncayo	S.N.I.	Fotovoltaica	-0.02795884	-78.23286133
Valsolar	Paragachi	Imbabura	Pimampiro	S.N.I.	Fotovoltaica	0.416534928	-77.94157133
Sansau	Sansau	Guayas	Urbina Jado	S.N.I.	Fotovoltaica	-1.908317756	-79.712489
Wildtecsa	Wildtecsa	Guayas	Urbina Jado	S.N.I.	Fotovoltaica	-1.90829363	-79.712489
E.E. Norte	Buenos Aires	Imbabura	San Miguel de Urququí	S.N.I.	Hidráulica	0.621442058	-78.31949904
Lojaenergy	Lojaenergy	Loja	Catamayo	S.N.I.	Fotovoltaica	-3.920354603	-79.41844562
Enersol	Enersol	Manabí	Jaramijó	S.N.I.	Fotovoltaica	-0.96673157	-80.6471472
Hidrotavalo	Otavalo II	Imbabura	Otavalo	S.N.I.	Hidráulica	0.266807571	-78.26737005
SERMAA EP	Atuntaqui	Imbabura	Antonio Ante	S.N.I.	Hidráulica	0.348285956	-78.23264586
Consejo Provincial De Tungurahua	Tiliví	Tungurahua	Ambato	S.N.I.	Hidráulica	-1.243825073	-78.73682502