Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Diseño de la red GPON de ETAPA EP Mediante Algoritmos de Optimización

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor:

Cristian Vinicio González Mogrovejo

Director:

Mgst. Iván Andrés Mendoza Vázquez

CUENCA – ECUADOR

2020

RESUMEN

DISEÑO DE LA RED GPON DE ETAPA EP MEDIANTE ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN

Este trabajo presenta la determinación de la ruta óptima desde el armario hacia las cajas de distribución para una red GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) mediante la implementación de un algoritmo de optimización. La empresa pública ETAPA EP basa su diseño de redes en la utilización del software ArcGIS siendo este un sistema que permite la manipulación de información geográfica. El proyecto hace uso de información proporcionada por la empresa para en un inicio ser analizada mediante el software y posteriormente ser utilizada en el desarrollo y aplicación de un algoritmo de optimización mediante la plataforma Matlab.

Palabras clave: GPON, Dijkstra, Optimización, ArcGIS, ETAPA EP

Iván Andrés Mendoza Vázquez

Director de Tesis

Daniel Esteban Iturralde Piedra

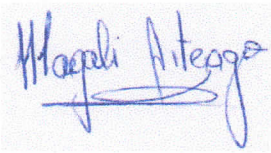
Director de Escuela

Cristian Vinicio González Mogrovejo

Autor

Abstract-This work indicates the determination of the optimal route from cabinet to distribution boxes for a GPON network (Gigabit-capable Passive Optical Network) through the implementation of an optimization algorithm. The public company ETAPA EP (as per its Spanish acronym) underpins their networks design on the use of ArcGIS software, which is a system that allows the handling of geographic information. The Project uses information provided by the company to be initially analyzed by the software, and later used in the development and application of an optimization algorithm by using the MATLAB platform.

Translated by



Cristian Vinicio González Mogrovejo

Diseño de la Red GPON de ETAPA EP Mediante Algoritmos de Optimización.

Cristian Vinicio González Mogrovejo
Escuela de Ingeniería Electrónica
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
cristiangonzalez93@es.uazuay.edu.ec

***Resumen*—Este trabajo presenta la determinación de la ruta óptima desde el armario hacia las cajas de distribución para una red GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) mediante la implementación de un algoritmo de optimización. La empresa pública ETAPA EP basa su diseño de redes en la utilización del software ArcGIS siendo este un sistema que permite la manipulación de información geográfica. El proyecto hace uso de información proporcionada por la empresa para en un inicio ser analizada mediante el software y posteriormente ser utilizada en el desarrollo y aplicación de un algoritmo de optimización mediante la plataforma Matlab.**

***Index Terms*—GPON, Dijkstra, Optimización, ArcGIS, ETAPA EP**

I. Introducción

Muchos de los diseños de redes GPON que se realizan en la actualidad en diferentes empresas de telecomunicaciones como una fase previa a la implementación, son elaborados manualmente, es decir, no cuentan con un sistema automático que mediante un análisis de datos previos permita el establecimiento del mejor diseño de red GPON para un cierto sector o zona ya sea urbana o rural. La optimización de rutas permite enfocar los diseños de redes de una manera que se mejoren aspectos como son los costos y tiempos de implementación.

En la actualidad la empresa ETAPA EP la cual es una empresa de carácter público que ofrece servicios de telecomunicaciones, agua potable y saneamiento a través de una gestión económica, social y ambientalmente responsable [1], hace uso del software ArcGIS para los trazados de sus redes de telecomunicaciones; sin embargo, no hace uso de herramientas que permitan la optimización de rutas.

ArcGIS es un sistema utilizado en áreas en las que se requiera manipulación de información geográfica. Este permite la creación y uso de mapas, compilar información geográfica, analizar datos mapeados además de poder compartir esta información. Con esta herramienta se pueden gestionar datos geográficos los mismos que son almacenados en una base de datos [2]. Lo que se pretende con este trabajo es hacer uso de las propias herramientas que ofrece el software antes mencionado para perfeccionar el diseño de redes mediante la determinación de la ruta óptima para un concreto sector de la ciudad.

Este artículo esta organizado de la siguiente manera: La sección II está dedicada al análisis del estado del arte, en la sección III se desarrolla la teoría que fundamenta el presente trabajo, la sección IV establece la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto, la sección V muestra los resultados y finalmente la sección VI está dedicada a las conclusiones basadas en los resultados obtenidos.

II. Estado del Arte

El trabajo en [3] tiene como objetivo implementar un diseño de optimización de topologías en redes GPON basado en densidades de población usando el algoritmo de clustering k-means; a través del cual se generó un gráfico que relaciona la densidad de población y la topología óptima para abaratar costos en fibra óptica, en una implementación teórica de una red GPON usando splitters de distribución y de acceso.

En [4], un diseño de redes ópticas pasivas usando algoritmos genéticos fue propuesto, verificado, implementado. Este trabajo basa su ejecución en un algoritmo genético el cual es usado como una herramienta para la búsqueda de la topología y colocación de splitters en redes ópticas pasivas.

En [5], los autores describen los altos costos que implica la implementación de redes GPON. Para resolver estos problemas los autores proponen un diseño óptimo de redes GPON/FTTH usando programación lineal entera mixta. Este estudio se basa en la utilización de la programación lineal entera mixta para demostrar como esta técnica puede ser aplicada para automatizar los diseños FTTH, reduciendo así costos para las empresas de telecomunicaciones.

El objetivo principal del proyecto en [6] es el de proveer métodos para hacer frente a los cambios de red además de las crecientes demandas a través del uso de la planificación heurística. Este proyecto llamado optimización estratégica para la migración de redes de acceso usando metaheurística basa su estudio en la optimización de un proceso de migración a través de un largo periodo de tiempo mediante la segmentación de grandes escenarios urbanos dentro de clusters.

En [7], la optimización de rutas de transporte público con algoritmos genéticos es presentado. Este trabajo plantea como

objetivo la utilización de algoritmos genéticos para encontrar una solución óptima a las rutas de transporte urbano de una ciudad imaginaria, en donde la implementación del algoritmo genético se lleva a cabo en un lenguaje de programación con soporte para representar grafos, vectores, matrices y lógicamente algoritmos genéticos.

III. Marco teórico

El algoritmo de Dijkstra es un algoritmo que permite encontrar el camino más corto desde un punto o nodo de un grafo hacia el resto de nodos. Fue concebido por el científico informático Edsger W. Dijkstra en el año de 1956 y publicado tres años mas tarde. [8], [9].
Esta publicación llamada "A Note on Two problems in Connexion with Graphs" donde dados n puntos o nodos los cuales algunos o todos de ellos están conectados mediante ramas cuya distancia es conocida, plantea la resolución de dos problemas mediante la implementación de un algoritmo de optimización. El primero de estos problemas consiste en la construcción de un árbol con la longitud total mínima entre los n nodos, siendo un árbol un grafo con uno y solamente un camino entre cada dos nodos. Mientras que el segundo problema consiste en encontrar el camino de longitud total mínima entre dos nodos denominados como P y Q [10].

Si bien el algoritmo de Dijkstra es un algoritmo desarrollado ya hace muchos años sigue siendo utilizado en la actualidad de manera frecuente debido a la facilidad de su implementación y a los buenos resultados que este genera.

Algunos temas desarrollados en los últimos años mediante la aplicación de este algoritmo consisten en proyectos relacionados a: redes definidas por software (SDN) donde no solo se consideran los pesos de borde sino que también los pesos de los nodos para un gráfico derivado de una topología SDN [11]. Selección de mejores rutas la cual a través del algoritmo de Dijkstra determina el tiempo de viaje más rápido hacia el hospital mas cercano mediante el almacenamiento y procesado de datos de los hospitales que se encuentren cerca [12]. Planificación de rutas de trasporte público donde el algoritmo de Dijkstra es modificado mediante la implementación de un sistema de penalización que permitirá considerar la cantidad de transferencias y distancias de caminado para así establecer una planificación de rutas de transporte público ya que normalmente el algoritmo de Dijkstra es mayormente usado en encontrar únicamente el camino más corto [13]. Técnicas de transmisión de eficiencia energética en donde se utiliza el algoritmo de Dijkstra para disminuir el consumo de energía en redes de sensores wireless (WSN) mediante la aplicación de una técnica de transmisión llamada multi-hop [14]. Planificación de rutas óptimas de vehículos guiados automáticamente en donde el algoritmo de Dijkstra es utilizado para minimizar el consumo de energía y el decremento del tiempo de operación de un vehículo guiado automáticamente (AGV) [15] .

En la Fig.1 se muestra la estructura secuencial del algoritmo de Dijkstra mediante un diagrama de flujo.

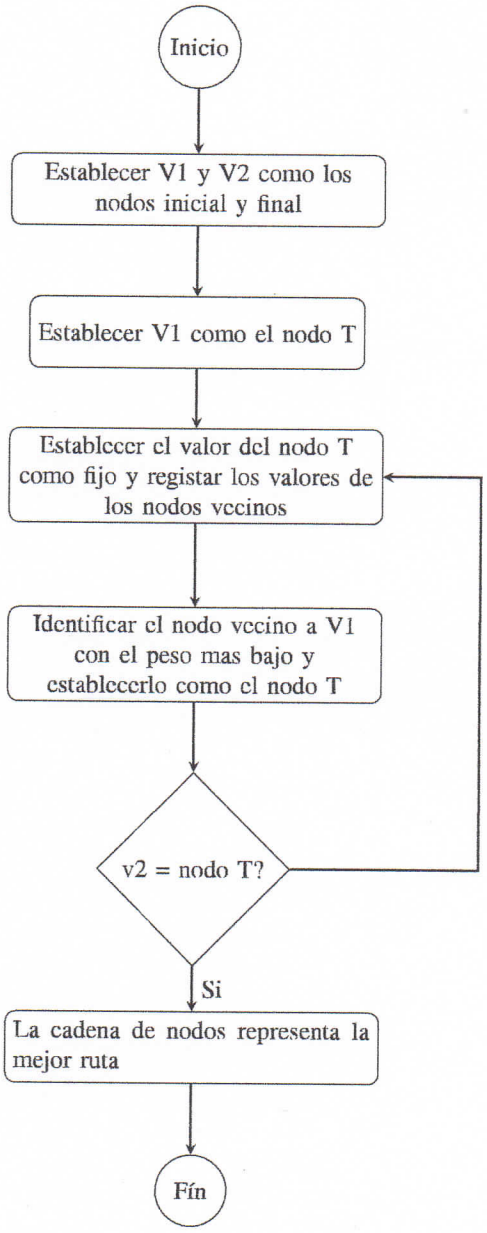


Figura 1. Estructura secuencial del algoritmo de Dijkstra mediante un diagrama de flujo

IV. Metodología

Para determinar la ruta óptima desde un nodo o punto hacia los demás es necesario el uso de la herramienta de información geográfica ArcGIS la cual permite recopilar, organizar y analizar información. Se cuenta con información proporcionada por la empresa ETAPA EP. Esta información

sirve como base para el desarrollo del proyecto en mención, sin embargo el algoritmo puede ser utilizado en otro tipo de casos con datos diferentes.

Se parte de la cobertura actual de GPON que posee la empresa dentro la ciudad. Fig. 2. Esto con el objetivo de determinar las zonas o grupos que aún carecen de una red de internet mediante fibra.

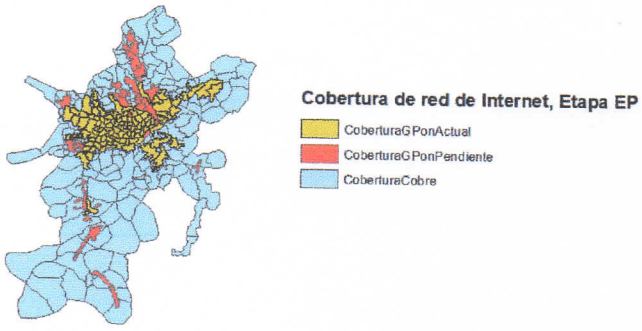


Figura 2. Cobertura de red de internet de Etapa EP para la ciudad de Cuenca

Para el siguiente análisis se establece una proyección en base a los planes de internet que poseen los clientes de Etapa EP y que todavía se encuentran recibiendo servicio mediante la red de cobre. Este análisis consiste en identificar a los clientes potenciales que en base al plan de internet actual que poseen mediante de la red de cobre sean clientes probables para mudarse a un plan mediante fibra. Una vez realizado este análisis, en la Fig. 3 se muestra a los clientes probables para mudarse a una red de fibra, mediante una identificación por colores en base al plan de internet actual que poseen con la empresa Etapa EP.

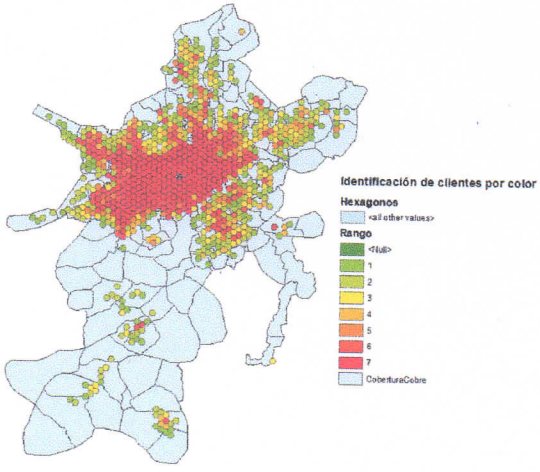


Figura 3. Identificación de clientes en base al plan de internet que poseen

De la Fig. 3 es necesario eliminar los clientes que ya poseen internet mediante fibra por parte de la empresa, como se indicó en la Fig. 2. Esto permite la obtención de los clientes finales con los que se trabajará para establecer el diseño de red de fibra óptica en las diferentes zonas rurales de la ciudad. Fig 4.

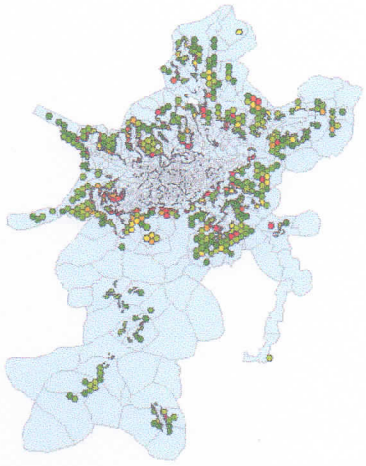


Figura 4. Clientes finales para inicio de análisis

Una vez determinados los clientes que no poseen una red de internet por fibra se establecen grupos en función de la cajas de cobre que posee actualmente la empresa, teniendo en cuenta que un armario de fibra puede abastecer a grupo de unas 40 a 45 cajas GPON. Haciendo esta consideración mediante el software ArcGIS se establece un total de 30 grupos de cajas GPON que requiren una red de internet mediante fibra. Fig. 5.

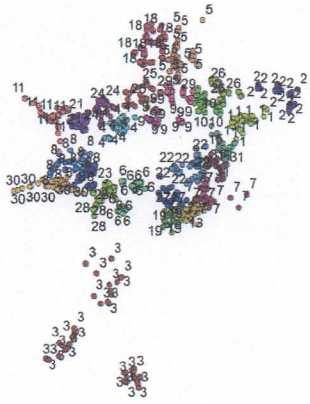


Figura 5. Grupos de cajas GPON

Para el siguiente análisis se considera un grupo cualesquiera de cajas GPON de los treinta ya antes mencionados. Esto permitirá iniciar con el análisis para la determinación de la ruta óptima desde el armario de distribución hacia las diferentes cajas GPON mediante la utilización de herramientas del programa ArcGIS y de la implementación del algoritmo de optimización de Dijkstra a través de Matlab, el cual es un entorno de cómputo númerico con un lenguaje de programación propietario que permite la manipulación de matrices, gráfico de funciones y datos, implementación de algoritmos además de la interacción con programas escritos en otros lenguajes [16]. El grupo de cajas que se utlizará es el correspondiente al grupo de cajas número 21. Fig. 6.

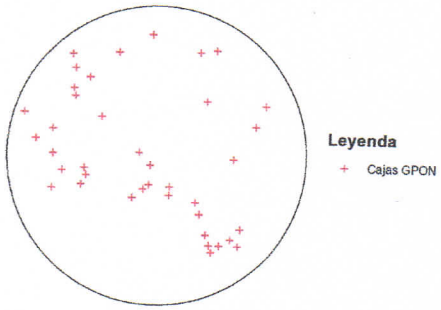


Figura 6. Grupo 21 de cajas GPON

Para la determinación de la ruta óptima es necesario contar con la información referente a las vías pertenecientes al sector del cual se quiere analizar. Estos datos pueden ser obtenidos mediante el OpenStreetMap Toolbox. Esta herramienta puede ser añadida al programa ArcGIS y permite la descarga de la información referente a las vías en tres tipos de capas: puntos, líneas y polígonos; siendo la capa de líneas la que se utilizará para el respectivo análisis. Mediante la intersección entre la capa de líneas y el grupo de cajas GPON se obtiene la nueva capa que contendrá tanto a las cajas como a las vías. Fig. 7.

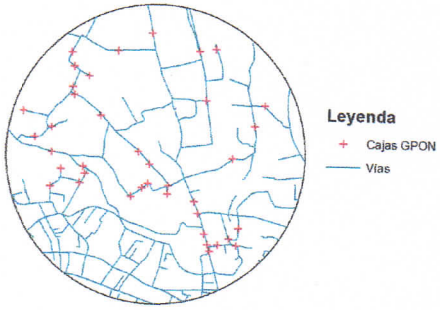


Figura 7. Cajas GPON y vías

Mediante herramientas de trazado y de gestión de datos se relacionan las cajas GPON con las vías y se establecen puntos en cada intersección de las diferentes calles a los cuales se les denominará nodos. Fig. 8. Esto permitirá obtener toda la información necesaria para la implementación del algoritmo de Dijkstra.

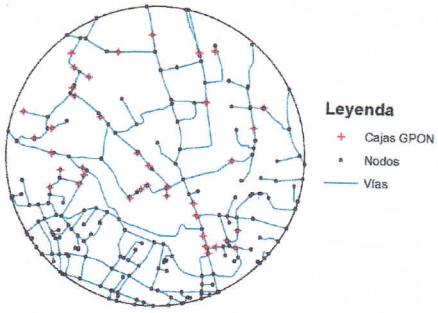


Figura 8. Cajas GPON, vías y nodos

La información obtenida de la Fig. 8 consiste en las longitudes de las calles y las posiciones de todos los puntos dentro del sistemas de coordenadas geográficas la cual servirá como base para el establecimiento de la matriz de adyacencia. Siendo la matriz de adyacencia de un grafo una matriz cuadrada simétrica con entradas 0 y 1, cuya diagonal principal se compone de ceros [17]. Hay que tener en cuenta que una calle será la distancia entre dos nodos adyacentes.

ArcGIS permite la obtención de esta información mediante un archivo excel. Estos datos representan la ubicación de cada una de las cajas y nodos además de la distancia entre nodos adyacentes. Con estos datos se procede a la implementación del algoritmo mediante la utilización del software MATLAB.

Lo primero que se necesita determinar en Matlab es el grafo, siendo este un conjunto de puntos llamados vértices junto con una colección de líneas llamadas aristas a los cuales por objeto de desarrollo del proyecto se denominará como nodos a los vértices y vías a las aristas, donde cada una de estas vías une un par de nodos o un nodo consigo mismo [18]. En nuestro caso el grafo a determinar consiste en la representación de la Fig. 8, para esto se realizarán y ejecutarán difentes códigos en Matlab que permitirán llegar a la determinación de la ruta óptima.

A partir de la información obntenida en ArcGIS se ubica a cada nodo dentro de Matlab y se establecen las correlaciones entre los mismos para determinar la matriz de adyacencia que se compondrá de los diferentes pesos que a su vez representan a las longitudes de las vías.

Una vez determinada la matriz de adyacencia se procede a graficar mediante el comando gplot el cual mostrará el

gráfico con todos los nodos y sus respectivas adyacencias sin embargo, es necesario además contar con la ubicación y representación de las cajas de distribución; para esto se grafican de igual manera dentro del grafo ya que se tiene la información de la ubicación geográfica de las mismas. Fig. 9.

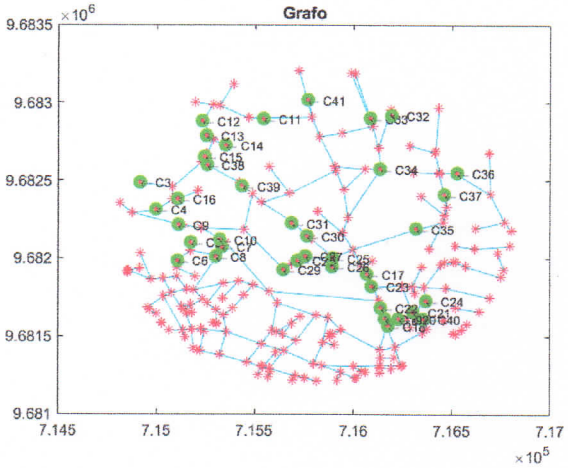


Figura 9. Grafo

Luego de esto se procede a encontrar los diferentes costos y rutas considerando la ubicación del armario en cada caja de distribución, es decir si se tienen 40 cajas se tendran 40 rutas posibles representas por diferentes láminas, ejemplos de estas se muestran en las figuras, Fig. 10, 11, 12. Esta información referente a los costos y rutas varía dependiendo de la ubicación del armario por lo que será almacenada en celdas para ser utilizada en la búsqueda de la mejor ruta.

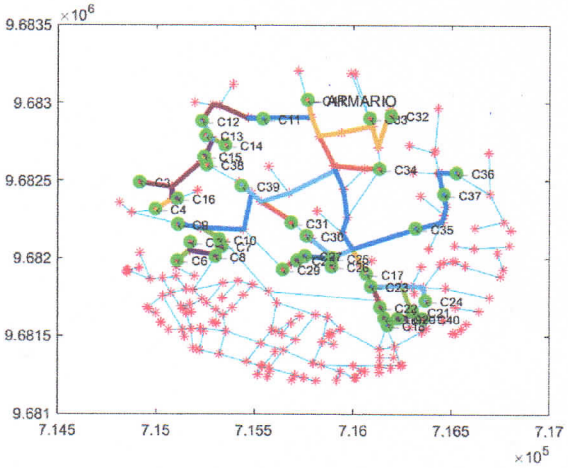


Figura 10. Lámina 1

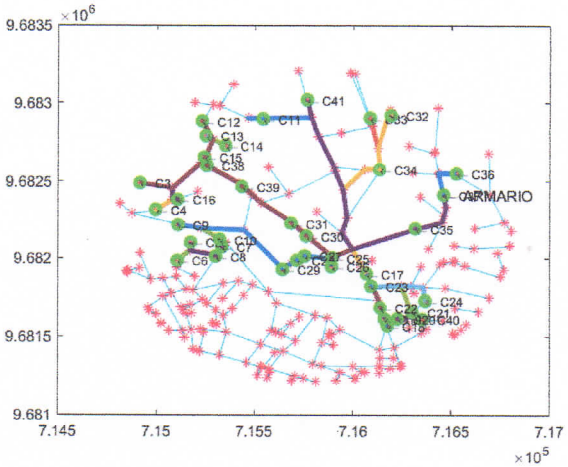


Figura 11. Lámina 2

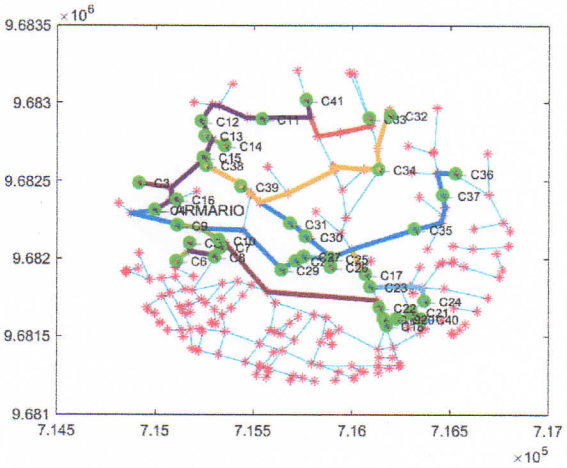


Figura 12. Lámina 3

Una vez determinadas las diferentes rutas se procede a encontrar la mejor de ellas, es decir la ruta óptima, mediante el análisis de la información almacenada en cada celda referente a cada una de las láminas mencionadas anteriormente, además se determina el coste total correspondiente a todas las rutas generadas. Estas soluciones se muestran en el apartado V. En Algoritmo 1, se indica el procedimiento a seguir para el desarrollo del algoritmo de optimización.

Algoritmo 1 Algoritmo para optimización de la red GPON

1: Leer la matriz A. {Archivo en Excel obtenido de ArcGIS}
2: De la matriz A obtener las coordenadas de cada nodo para graficar
3: Encontrar las correlaciones entre los nodos y nombrar a los mismos
4: Crear la matriz de adyacencia con las correlaciones entre nodos
5: Agregar los pesos a la matriz de adyacencia {Pesos = distancias de las vías}
6: Poner la diagonal de la matriz de adyacencia en cero.
7: De la matriz A obtener la ubicación de las cajas de distribución
8: Graficar matriz de adyacencia, cajas {Obtención del grafo}
9: Aplicar el algoritmo de Dijkstra en cada caja de distribución para determinar la ruta y coste hacia las demás
10: Almacenar la información referente a las rutas y costes en celdas
11: Determinar la mejor ubicación para el armario de distribución en base a ruta más corta obtenida
=0

V. Resultados

Con la información obtenida a través del análisis realizado en Matlab se determina que el mejor lugar para ubicar el armario de distribución para el grupo de cajas número 21 considerando la ruta más corta, es decir la ruta óptima es en la caja número 25 como se muestra en la Fig. 13. Si se ubica el armario en esta caja se tendría la menor distancia hacia las demás la cual consiste en 32,137 km mientras que en el peor de de los casos si el armario de distribución se ubicara en la caja número 36 se obtendría una distancia total de 64,625 km lo que implica una diferencia de alrededor de 32 km. En Tabla I, se muestra los costes correspondientes a todas las rutas, como se puede observar todas las distancias son diferentes.

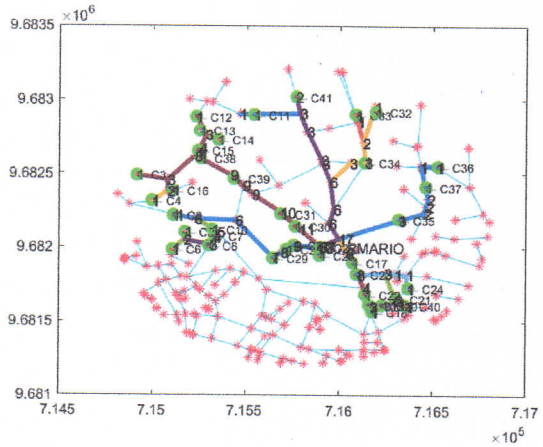


Figura 13. Mejor lugar para ubicar el armario

Tabla I
Costes correspondientes a las diferentes rutas generadas

Coste total	Caja inicial
32,137 km	**Caja 25**
33,894 km	Caja 31
34,231 km	Caja 26
34,751 km	Caja 30
34,847 km	Caja 27
35,712 km	Caja 29
36,044 km	Caja 39
36,361 km	Caja 28
37,146 km	Caja 17
37,335 km	Caja 23
40,068 km	Caja 22
40,879 km	Caja 38
41,850 km	Caja 15
42,439 km	Caja 19
42,902 km	Caja 9
42,910 km	Caja 10
43,387 km	Caja 7
43,482 km	Caja 18
44,235 km	Caja 35
45,062 km	Caja 8
45,326 km	Caja 13
45,808 km	Caja 34
46,213 km	Caja 21
46,412 km	Caja 14
46,986 km	Caja 20
47,994 km	Caja 16
48,032 km	Caja 24
48,180 km	Caja 12
48,529 km	Caja 40
48,712 km	Caja 4
51,147 km	Caja 3
51,453 km	Caja 41
51,620 km	Caja 5
52,624 km	Caja 6
54,325 km	Caja 11
54,852 km	Caja 33
55,880 km	Caja 37
64,136 km	Caja 32
64,625 km	**Caja 36**

VI. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se concluye que es posible determinar la ruta óptima para un diseño de red GPON mediante la utilización del software Matlab con datos procedentes de ArcGIS. Al determinar la ruta óptima se cuenta con la distancia real para saber la cantidad exacta de cable que es necesaria para la implementación de la red de fibra. Se tiene un análisis real y preciso del diseño de red sin tener necesidad de salir al campo, además se ratifica que la mala ubicación del armario de distribución generaría un mayor costo en materiales además de un mayor tiempo de implementación.

REFERENCIAS

[1] Etapa, "Misión, visión y objetivos: Misión corporativa," 2020. [Online]. Available: https://www.etapa.net.ec/Información/Quienes-somos/Misión-visión-y-objetivos

[2] S. Casterson, *Arcgis Introduction: An Easy Guide for Beginners*, ser. 1. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=flTkCwAAQBAJ

[3] Guillermo Zeballos Amable and Jaime Felipe Vela Moscoso, "Design topologies optimization in gpon networks based on population densities using k-means clustering algorithm," in *2019 International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP)*, March 2019.

[4] Tany V. y Villalba, Sandro M. Rossi, Marcos P. Mokarzel, Marcos R. Salvador, Hélvecio M. Almeida Neto, Amilcar C. Cesar, Murilo A. Romero, and Mônica de L. Rocha, "Design of passive optical networks using genetic algorithm," in *2009 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, Nov 2010.

[5] Anis Ouali and Kin Fai Poon, "Optimal design of gpon/fith networks using mixed integer linear programming," in *2011 16th European Conference on Networks and Optical Communications*, July 2011.

[6] Stefan Türk, Johannes Noack, Rico Radeke, and Ralf Lehnert, "Strategic migration optimization of urban access networks using meta-heuristics," in *2014 26th International Teletraffic Congress (ITC)*, Sept 2014.

[7] Magdalena Genovard Abad. "Optimización de rutas de trasporte público con algoritmos genéticos." in *Universitat Oberta de Catalunya*, Diciembre 2016.

[8] A. G. Serrano. *Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones.* Alfaomega Grupo Editor, Octubre 2016, vol. Segunda edición.

[9] WikipediaContributors, "Dijkstra's algorithm," April 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstras algorithm

[10] E. W. Dijkstra, *A Note on Two Problems in Connexion with Graphs.* Numerische Mathematik 1, 1959. [Online]. Available: http://www.cs.yale.edu/homes/lans/readings/routing/dijkstra-routing-1959.pdf

[11] Jehn-Ruey Jiang, Hsin-Wen Huang, Ji-Hau Liao, and Szu-Yuan Chen, "Extending dijkstra's shortest path algorithm for software defined networking," in *The 16th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium*, Sept 2014.

[12] Risald, Antonio E. Mirino, and Suyoto, "Best routes selection using dijkstra and floyd-warshall algorithm," in *2017 11th International Conference on Information Communication Technology and System (ICTS)*, Oct 2017.

[13] Alican Bozyiğit, Gazihan Alankuş, and Efendi Nasiboğlu, "Public transport route planning: Modified dijkstra's algorithm." in *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, Oct 2017.

[14] Maha Abderrahim, Hela Hakim, Hatem Boujemaa, and Farid Touati, "Energy-efficient transmission technique based on dijkstra algorithm for decreasing energy consumption in wsns," in *2019 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, March 2019.

[15] Sungkwan Kim, Hojun Jin, Minah Seo, and Dongsoo Har, "Optimal path planning of automated guided vehicle using dijkstra algorithm under dynamic conditions," in *2019 7th International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications (RiTA)*, Nov 2019.

[16] WikipediaContributors, "Matlab," April 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=MATLABoldid=952806740

[17] J. Matousek and J. Nesetril, *Invitación a la matemática discreta.* Reverte Editorial Sa, 2008. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=ycms-m99nzoC

[18] A. Rodríguez, F. Martín, F. Couso, M. González, G. Vera, and C. Martín, *Teoría de grafos. Ejercicios y problemas resueltos.* Ediciones Paraninfo, S.A., 2014. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=QxdNBQAAQBAJ